

внутреннее пространство платформы для размещения аккумуляторных батарей, управляющей электроники, датчиков и приводов. При этом масса корпусных деталей, изготовленных из PLA или нейлона, может быть в 3–4 раза ниже по сравнению с аналогичными деталями из алюминиевых сплавов [3].

Перспективным направлением является применение аддитивных технологий для изготовления корпусов роботов с интегрированными каналами системы охлаждения, полостями для прокладки проводки и элементами крепления плат расширения. Подобная конструктивная интеграция возможна только при использовании аддитивного производства и требует тщательного планирования топологии изделия на этапе проектирования.

Следует также отметить перспективы применения металлической 3D-печати (SLM – Selective Laser Melting, DMLS – Direct Metal Laser Sintering) для изготовления нагруженных деталей роботизированных систем. Хотя данные технологии пока остаются относительно дорогостоящими, их применение оправдано при создании прототипов деталей с высокими требованиями к механическим свойствам: зубчатых колёс, осей, несущих кронштейнов. Металлическая 3D-печать позволяет реализовать оптимизированные топологически структуры с минимальной массой при заданной жёсткости конструкции [2].

Заключение. Аддитивные технологии обеспечивают существенное ускорение процесса разработки роботизированных устройств за счёт сокращения сроков и стоимости изготовления прототипов. Методы FDM, SLA и SLS дополняют друг друга, образуя инструментарий, позволяющий решать широкий круг задач – от изготовления корпусных элементов с пониженными требованиями к точности до получения функциональных деталей со сложной геометрией. Итерационный характер аддитивного прототипирования позволяет в разы сократить время от идеи до действующего прототипа. Дальнейшее развитие данного направления связано с расширением номенклатуры применяемых материалов, повышением точности оборудования и интеграцией аддитивных технологий в автоматизированные производственные цепочки.

Список литературы

1. Lipson, H. *Fabricated: The New World of 3D Printing* / H. Lipson, M. Kurman. – Indianapolis : John Wiley & Sons, 2013. – 320 p.
2. Gibson, I. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing* / I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker. – New York : Springer, 2015. – 498 p.
3. Siciliano, B. *Robotics: Modelling, Planning and Control* / B. Siciliano, L. Sciacovico, L. Villani, G. Oriolo. – London : Springer, 2010. – 632 p.
4. Quigley, M. *ROS: an open-source Robot Operating System* / M. Quigley [et al.] // *ICRA Workshop on Open Source Software*. – 2009. – Vol. 3, No. 3.2. – P. 5.
5. Ngo, T. D. *Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges* / T. D. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K. T. Q. Nguyen, D. Hui // *Composites Part B: Engineering*. – 2018. – Vol. 143. – P. 172–196.

UDC 621.7.04:621.865

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE CREATION OF PROTOTYPES OF ROBOTIC DEVICES

Yahya-zada A. S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vyshinskiy N. V. – Cand. of Sci., Professor, Professor of the department of ECG

Annotation. The article considers the application of additive technologies for the prototyping of robotic devices. The main 3D printing methods used in robotics are analysed: FDM, SLA and SLS. The advantages and limitations of this approach for the design of mechanical assemblies and functional parts are demonstrated.

Keywords: additive technologies, 3D printing, prototyping, robotic devices, FDM, SLA

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ DASSAULT SYSTEMES SOLIDWORKS ДЛЯ ИСЛЕДОВАНИЯ АЭРОДИНАМИКИ АВТОМОБИЛЯ

Худер Л.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Столер В. А. – к.т.н., доцент, профессор кафедры ИКТ

Аннотация. Статья посвящена изучению возможностей проведения аэродинамических исследований в программном комплексе Dassault Systemes SOLIDWORKS, анализу трёхмерной модели автомобиля, настройке параметров численного расчёта и оценке изменения скорости и направления ветра при контакте с элементами конструкции.

Ключевые слова: автомобиль, трёхмерная модель, аэродинамика, распределение скорости потока, направление воздушного потока, параметры расчёта, Dassault Systemes SOLIDWORKS

Введение. В условиях современного развития автомобилестроения аэродинамическая оптимизация конструкции транспортных средств приобретает всё большее значение. Характер распределения воздушных потоков влияет на устойчивость, энергоэффективность и динамические характеристики автомобиля, что делает проведение аэродинамических исследований неотъемлемой частью процесса проектирования [1].

Традиционные экспериментальные методы анализа очень затратны, что особенно актуально на ранних этапах разработки. В связи с этим возрастает роль программных средств численного моделирования, позволяющих исследовать поведение воздушной среды и оценивать влияние геометрии конструкции без создания физических прототипов.

Основная часть. Для проведения исследования аэродинамики использован модуль Flow Simulation программного комплекса Dassault Systemes SOLIDWORKS. В качестве объекта анализа выбрана трёхмерная модель болида Формулы 1, так как модель такого автомобиля обладает сложной конструкцией кузова и имеет аэродинамические элементы, такие как переднее и заднее антикрылья, боковые обтекатели и диффузор [2]. Эти элементы существенно влияют на распределение воздушных потоков и формирование аэродинамических сил, что делает болид подходящим примером для демонстрации возможностей численного моделирования.

Перед запуском расчёта выполнена настройка параметров среды, включая скорость и направление воздушного потока, температуру и плотность воздуха (рисунок 1).

Настройка этих параметров позволяет моделировать различные условия обтекания, включая как спокойное движение, так и взаимодействие с боковыми потоками. Такой подход обеспечивает возможность анализа чувствительности конструкции к изменениям внешних условий и выявления зон потенциального аэродинамического эффекта [3].

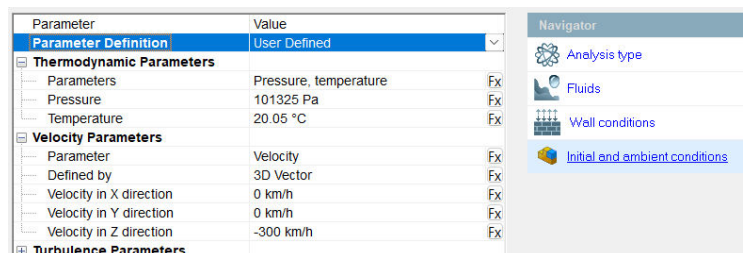


Рисунок 1 – Окно Настройки параметров среды

В процессе численного расчёта были получены распределения основных аэродинамических характеристик: скорость потока, давление, плотность воздуха и температура. Результаты визуализируются с помощью линий потока и цветовой карты, отражающей изменения параметров потока вокруг болида [4]. На визуализациях легко выделяются зоны ускорения и замедления воздушного потока, участки формирования завихрений и локальные изменения давления, что позволяет оценивать влияние каждого элемента конструкции на общую аэродинамическую эффективность (рисунок 2).

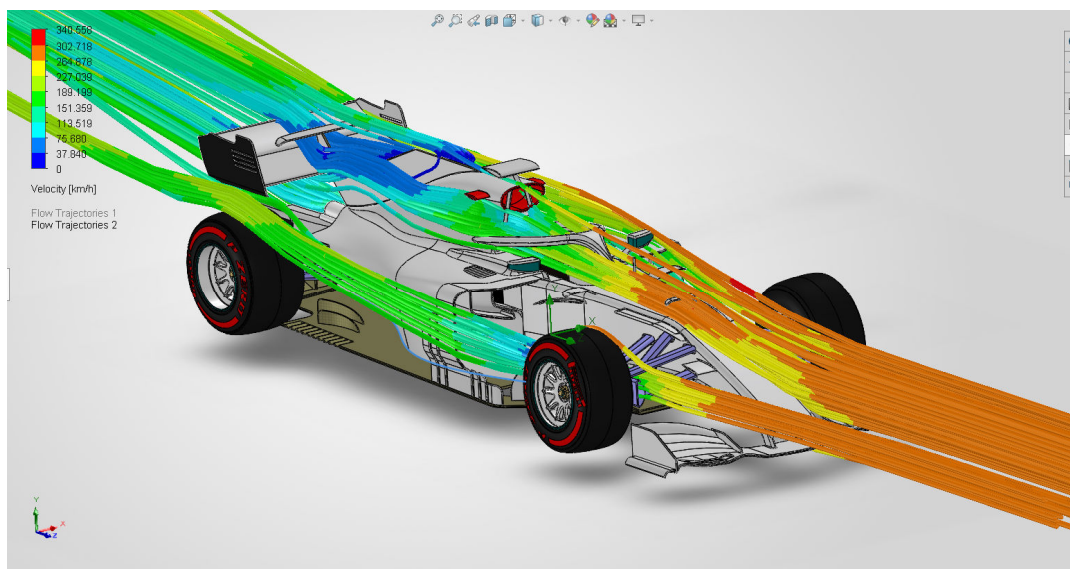


Рисунок 2 – Взаимодействие потока воздуха с 3D моделью

Для более детального анализа распределения давления вокруг болида применены сечения (cut plots), позволяющие визуализировать изменение давления воздуха на различных плоскостях модели (рисунок 3). Такая визуализация позволяет выявлять зоны локального повышения и понижения давления, а также оценивать влияние элементов конструкции на формирование аэродинамических сил.

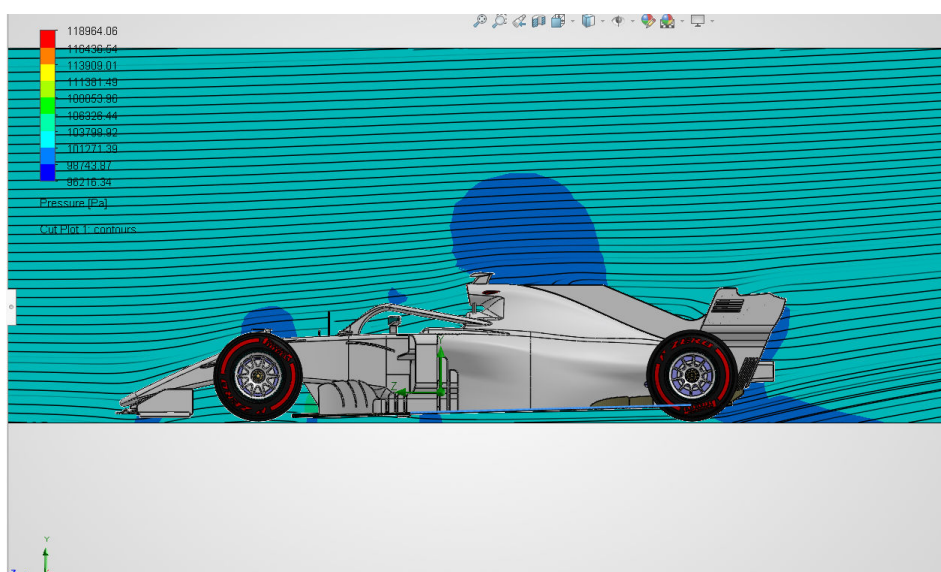


Рисунок 3 – Визуализация распределения давления вокруг 3D модели с помощью инструмента сечения

На сечениях хорошо прослеживаются участки концентрации давления около переднего и заднего антикрыльев, диффузора, а также в верхней части, где располагается воздухозаборник, что даёт более точное представление о взаимодействии воздушного потока с элементами кузова.

Использование Flow Simulation также предоставляет возможность проводить пошаговый анализ изменения параметров аэродинамики при модификации формы элементов кузова. Это позволяет на ранних стадиях проектирования выявлять проблемные участки конструкции, снижать риск возникновения аэродинамических дефектов и сокращать временные и материальные затраты по сравнению с традиционными экспериментальными методами, такими как изготовление физических моделей и испытания в аэродинамических трубах.

Применение численного моделирования наглядно демонстрирует, как программные инструменты могут использоваться для анализа аэродинамических процессов, оценки влияния геометрических особенностей и подготовки инженерных решений без необходимости проведения дорогостоящих физических экспериментов [5]. Такой подход обеспечивает более быстрый цикл проектирования и позволяет сосредоточить ресурсы на оптимизации конструкции и проверке наиболее критичных элементов.

Заключение. Выполнен анализ возможностей численного моделирования аэродинамических процессов с использованием модуля Flow Simulation программного комплекса Dassault Systemes SOLIDWORKS на примере сложной модели автомобиля. Установлено, что программная среда позволяет получать распределения скорости потока, давления, плотности и температуры воздуха, а также визуализировать изменение направления воздушных потоков при взаимодействии с элементами конструкции.

Определено, что применение методов вычислительной гидродинамики на ранних этапах проектирования обеспечивает выявление зон неблагоприятного распределения потока и позволяет проводить предварительную оценку аэродинамической эффективности без изготовления физических прототипов.

Показана целесообразность использования программного моделирования для сокращения временных и материальных затрат при проведении аэродинамических исследований. Полученные результаты подтверждают эффективность применения численных методов.

Список литературы

1. *Aerodynamics of road vehicles* / Wolf-Heinrich Hucho. – Springer, 2013. – Pp. 15–35
2. *The Science of Formula 1 Design* / A. Smith. – Haynes Publishing, 2019. – Pp. 45–62.3.
3. *Dassault Systèmes. SOLIDWORKS Flow Simulation 2025 Help Documentation* / Dassault Systèmes. – 2025. – Pp. 1–50.
4. *Computational Fluid Dynamics with Visualizations* / J.D. Anderson. – McGraw-Hill, 2011. – Pp. 100–125.
5. *SAE Technical Paper. CFD in Automotive Engineering: Applications and Limitations* / SAE. – 2018. – Paper 2018-01-1234. – Pp. 1–12.

UDC 004.921

USING DASSAULT SYSTEMES SOLIDWORKS TO CONDUCT AERODYNAMIC RESEARCH USING A COMPLEX 3D CAR MODEL

Khouder L.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Stoler V. A. – Cand. of Sci., associate professor, professor of the department of ECG.

Annotation. This article explores the possibilities of conducting aerodynamic studies in the Dassault Systemes SOLIDWORKS software package, analyzing a three-dimensional model of a vehicle, setting up numerical calculation parameters, and assessing changes in wind speed and direction upon contact with structural elements.

Keywords: Automobile, 3D model, aerodynamics, flow velocity distribution, airflow direction, calculation parameters, Dassault Systemes SOLIDWORKS

АНАЛИЗ И СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ НЕИГРОВЫХ ПЕРСОНАЖЕЙ В ВИДЕОИГРАХ

Яхья-заде С.С.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Столер В. А. – к.т.н., доцент, профессор кафедры ИКТ

Аннотация. В статье рассматриваются основные методы моделирования поведения неигровых персонажей (NPC) в видеоиграх: конечные автоматы, деревья поведения, планировщики и подходы на основе машинного обучения. Проводится их сравнительный анализ по критериям производительности, гибкости и реализуемости. Предложены рекомендации по выбору метода в зависимости от типа игрового проекта.

Ключевые слова: неигровые персонажи, искусственный интеллект в играх, конечные автоматы, деревья поведения, машинное обучение, поведенческое моделирование

Введение. Неигровые персонажи NPC (Non-Player Characters) являются неотъемлемой частью современных видеоигр. Их поведение во многом определяет игровой опыт: достаточно реалистичное и непредсказуемое поведение персонажей создаёт ощущение живого мира, тогда как примитивные реакции снижают погружение. С ростом вычислительных мощностей и усложнением игровых сценариев требования к системам искусственного интеллекта NPC существенно возросли. Разработчики вынуждены искать баланс между вычислительной эффективностью, реалистичностью поведения и сложностью реализации. Кроме того, развитие игровых технологий и рост ожиданий игроков требуют создания всё более сложных моделей поведения, способных имитировать элементы человеческого принятия решений.

Задача моделирования поведения NPC сводится к формальному описанию правил, по которым персонаж воспринимает игровую среду и выбирает дальнейшие действия. Выбор подходящего метода влияет не только на качество поведения, но и на общую производительность игры, трудоёмкость разработки и поддержки игровой логики. Существующие подходы значительно варьируются по уровню сложности – от детерминированных конечных автоматов до адаптивных нейронных сетей.

Цель данной работы – провести систематический сравнительный анализ наиболее распространённых методов моделирования поведения NPC, выявить их достоинства и недостатки, а также определить области наиболее эффективного применения каждого подхода в зависимости от масштаба и жанра игрового проекта.

Основная часть. Конечные автоматы FSM (Finite State Machines) – один из старейших и наиболее широко применяемых методов моделирования поведения NPC. Принцип работы FSM основан на разбиении всего поведения персонажа на конечное число состояний (например: «патрулирование», «преследование», «атака», «отступление»), между которыми осуществляются переходы при выполнении определённых условий [1].

Главным достоинством FSM является простота реализации и высокая производительность: вычислительная стоимость обновления состояния агента минимальна. Кроме того, поведение NPC легко предсказуемо и прозрачно с точки зрения разработчика, что существенно упрощает отладку. Тем не менее, по мере усложнения логики FSM превращается в труднопрогнозируемое «спагетти состояний»: количество переходов растёт квадратично относительно числа состояний.

Для смягчения этой проблемы используются иерархические конечные автоматы (HFSM), где состояния могут содержать подсостояния, что позволяет структурировать поведение по уровням абстракции. HFSM широко применяются в играх жанра RTS и шутерах от первого лица, где требуется поддержка как высокоуровневых стратегических, так и низкоуровневых тактических состояний [2].

Деревья поведения (Behavior Trees, BT) получили широкое распространение в игровой индустрии благодаря их модульности и читаемости. Структура BT представляет собой дерево, узлы которого делятся на управляющие (Sequence, Selector, Parallel) и листовые (Action, Condition). Обход дерева осуществляется сверху вниз, и каждый узел возвращает одно из трёх значений: Success, Failure или Running [3].

По сравнению с FSM деревья поведения значительно проще масштабировать: новые поведения добавляются как новые ветки без необходимости пересматривать существующую логику. Ключевым архитектурным дополнением к BT является «чёрная доска» (Blackboard) – общее хранилище данных, к которому обращаются отдельные узлы дерева. Это позволяет реализовывать сложную разделяемую логику без избыточного дублирования данных. BT активно применяются в AAA-проектах: Halo 2, Spore, серии Uncharted и многих других.

Недостатком является несколько более высокая вычислительная стоимость по сравнению с FSM, а также риск возникновения логических ошибок в глубоко вложенных деревьях. Для оптимизации нередко применяется кэширование результатов выполнения узлов между кадрами, что позволяет избежать повторного обхода неизменившихся ветвей.

Планировщики задач GOAP (Goal-Oriented Action Planning) – подход, при котором агент самостоятельно планирует последовательность действий для достижения поставленной цели, используя алгоритм A* (эвристический алгоритм поиска) в пространстве состояний мира. Каждое действие описывается условиями и эффектами, что позволяет планировщику динамически строить цепочки действий, ранее не предусмотренные разработчиком явно [4]. GOAP обеспечивает высокую гибкость и адаптивность: NPC способен реагировать на неожиданные изменения ситуации, формируя нестандартные решения из доступного набора примитивных действий. Примером успешной реализации служит игра F.E.A.R. (Monolith Productions, 2005), где GOAP обеспечил впечатляющее тактическое поведение противников, которое воспринималось игроками как высокоинтеллектуальное даже при относительно небольшом наборе доступных действий.

Вычислительная стоимость планирования может быть значительной при большом числе одновременно активных агентов и длинных цепочках действий. На практике применяются ограничения глубины поиска и предварительное разбиение целей на подзадачи для снижения нагрузки на планировщик.

С развитием нейронных сетей и методов обучения с подкреплением (Reinforcement Learning, RL) в игровой индустрии всё активнее исследуются подходы к созданию NPC на основе машинного обучения. Агент обучается посредством взаимодействия с игровой средой, получая скалярное вознаграждение или штраф за свои действия, и постепенно вырабатывает оптимальную политику поведения [5].

Наиболее известными демонстрациями возможностей RL в играх являются AlphaGo (DeepMind), AlphaStar (StarCraft II) и проект OpenAI Five (Dota 2), где агенты достигли сверхчеловеческого уровня мастерства. В коммерческих видеоиграх применение RL ограничено непредсказуемостью обученного поведения, сложностью интерпретации и отладки, а также высокими требованиями к вычислительным ресурсам в процессе обучения. Тем не менее, активное развитие специализированных библиотек и игровых движков постепенно упрощает интеграцию методов машинного обучения в реальные игровые проекты.

Перспективным направлением является использование имитационного обучения (Imitation Learning), при котором агент обучается на записанных данных поведения человека-игрока. Данный подход позволяет получить более предсказуемое поведение NPC, сохраняя при этом часть адаптивности, присущей методам RL [6].

На основании рассмотренных подходов проведём их сравнение по ключевым критериям: производительности, гибкости, масштабируемости и сложности реализации.

Конечные автоматы демонстрируют наивысшую производительность при наименьшей гибкости; деревья поведения обеспечивают хороший баланс между производительностью и масштабируемостью. GOAP обеспечивает высокую адаптивность ценой дополнительных вычислительных затрат. Методы на основе машинного обучения превосходят остальные по потенциальной гибкости, однако остаются наименее предсказуемыми и наиболее ресурсоёмкими при обучении.

Выбор метода моделирования поведения NPC должен определяться исходя из особенностей конкретного игрового проекта. Для простых игр с ограниченными ресурсами (мобильные платформы, инди-игры) рекомендуется применение FSM или иерархических FSM ввиду их низкой вычислительной стоимости и простоты реализации. Для крупных проектов с богатым игровым миром оптимальным выбором являются деревья поведения, возможно дополненные элементами GOAP.

На практике наиболее распространённым решением является гибридный подход: деревья поведения используются как основная управляющая структура, тогда как отдельные листовые узлы могут задействовать GOAP для локального планирования или нейронные сети для специализированных задач – навигации в сложном пространстве, оценки уровня угрозы либо имитации человекоподобного стиля игры. Кроме того, современные игровые проекты всё чаще используют комбинированные архитектуры искусственного интеллекта, в которых различные методы моделирования поведения NPC дополняют друг друга. Такая архитектура сочетает предсказуемость и производительность с гибкостью более сложных методов [3, 4].

Методы машинного обучения целесообразно рассматривать в качестве экспериментальных дополнений, особенно в проектах с процедурной генерацией контента и адаптивным балансом сложности. С развитием инструментальной базы и ростом производительности аппаратного обеспечения ожидается более широкое внедрение RL и имитационного обучения в коммерческих играх в ближайшее десятилетие.

Заключение. В работе проведён сравнительный анализ четырёх основных методов моделирования поведения неигровых персонажей в видеоиграх: конечных автоматов, деревьев поведения, GOAP-планировщиков и методов на основе машинного обучения. Показано, что каждый из подходов обладает специфическими достоинствами и ограничениями, определяющими сферу его применения. Наиболее универсальным и практически применимым в современных проектах является подход на основе деревьев поведения, который может быть расширен элементами планирования для повышения адаптивности NPC. Интеграция методов машинного обучения остаётся актуальной задачей дальнейших исследований в области игрового искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Millington, I. *Artificial Intelligence for Games* / I. Millington, J. Funge. – 2nd ed. – Burlington : Morgan Kaufmann Publishers, 2009. – 896 p.
2. Buckland, M. *Programming Game AI by Example* / M. Buckland. – Plano : Wordware Publishing, 2005. – 520 p.
3. Colledanchise, M. *Behavior Trees in Robotics and AI: An Introduction* / M. Colledanchise, P. Ögren. – Boca Raton : CRC Press, 2018. – 222 p.
4. Orkin, J. *Three States and a Plan: The A.I. of F.E.A.R.* / J. Orkin // *Game Developers Conference Proceedings*. – 2006. – P. 1–9.
5. Sutton, R.S. *Reinforcement Learning: An Introduction* / R. S. Sutton, A. G. Barto. – 2nd ed. – Cambridge : MIT Press, 2018. – 552 p.
6. Шишков, А. В. Методы обучения с подкреплением в системах игрового ИИ / А. В. Шишков // *Информационные технологии и системы*. – 2022. – № 4. – С. 45–53.

UDC 004.8:004.94

ANALYSIS AND COMPARATIVE STUDY OF METHODS FOR MODELING NON-PLAYER CHARACTER BEHAVIOR IN VIDEO GAMES

Yahya-zada S. S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Stoler V. A. – Cand. of Sci., associate professor, professor of the department of ECG.

Annotation. The article examines the main methods for modeling non-player character (NPC) behavior in video games: finite state machines, behavior trees, planners, and machine learning-based approaches. A comparative analysis is conducted based on the criteria of performance, flexibility, and implementability. Recommendations are provided for choosing a method depending on the type of game project.

Keywords: non-player characters, artificial intelligence in games, finite state machines, behavior trees, machine learning, behavioral modeling

КОГНИТИВНЫЕ СТИЛИ УЧАЩИХСЯ СТАРШИХ КЛАССОВ И СТУДЕНТОВ И ИХ УЧЁТ В ДИЗАЙН-ВИЗУАЛИЗАЦИИ АБСТРАКТНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ КОНЦЕПЦИЙ

Сыс Е.Д.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Гиль С.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ИКТ

Аннотация. В статье рассматривается проблема учёта когнитивных стилей учащихся при изучении абстрактных математических понятий. Анализируются подходы Г. Виткина, Р. Райдинга, Р. Фелдера и Л. Сильвермана. Обосновывается необходимость применения дизайн-визуализации как средства адаптации учебного материала к индивидуальным особенностям восприятия. Показано, что визуальные модели способствуют снижению когнитивной нагрузки и формированию интуитивного понимания сложных концепций математического анализа.

Ключевые слова: когнитивные стили, учебные стили, дизайн-визуализация, математический анализ, визуализация в обучении, абстрактные понятия

Введение. Современное образование сталкивается с проблемой эффективного объяснения абстрактных математических понятий учащимся различных когнитивных типов. Особенно остро эта проблема проявляется при переходе от школьной математики к университетским дисциплинам, таким как математический анализ. Для старшеклассников и студентов первых курсов характерна высокая когнитивная нагрузка, связанная с освоением формальных символических систем, абстрактных моделей и доказательных рассуждений.

Одним из факторов, влияющих на успешность освоения таких дисциплин, являются когнитивные стили учащихся, то есть устойчивые индивидуальные особенности переработки информации. Учет этих особенностей становится важным условием разработки эффективных образовательных средств, в том числе методов визуализации математических концепций.

Основная часть. Когнитивный стиль представляет собой индивидуальный способ восприятия, анализа и структурирования информации. В отличие от уровня интеллекта, когнитивный стиль не характеризует способности человека, а отражает предпочтительные стратегии обработки информации. В образовательной среде он проявляется в том, как учащийся воспринимает объяснения, анализирует задачи и усваивает новые понятия.

Одной из ранних и наиболее известных классификаций когнитивных стилей является концепция Германа Виткина, который выделил поле-зависимый и поле-независимый типы мышления. Поле-зависимые учащиеся ориентируются на внешний контекст и воспринимают информацию целостно, тогда как поле-независимые склонны анализировать структуру объекта и выделять отдельные элементы. В обучении математике поле-независимые учащиеся чаще легче справляются с формальными доказательствами и аналитическими задачами, тогда как поле-зависимые учащиеся лучше воспринимают материал при наличии наглядных примеров и визуальных моделей [1].

Другой подход к изучению когнитивных стилей предложил Ричард Райдинг, который выделил два основных измерения: «целостность – аналитичность» и «вербальность – образность». В отличие от подходов, таких как модель Г. Виткина, которая фокусируется на восприятии контекста, модель Р. Райдинга интегрирует аспекты организации и представления информации. Она особенно полезна в образовательном контексте, поскольку помогает адаптировать методы преподавания к индивидуальным предпочтениям учащихся, снижая когнитивную нагрузку и повышая эффективность усвоения материала. В математическом образовании это различие критично, так как оно объясняет, почему некоторые ученики лучше

справляются с абстрактными символами и текстом, а другие нуждаются в визуальных моделях для понимания концепций вроде пределов или интегралов.

В рамках первого измерения – «целостность – аналитичность» – учащиеся могут воспринимать информацию либо как единое целое (целостный стиль), фокусируясь на общей картине и взаимосвязях, либо как систему отдельных элементов (аналитический стиль), предпочитая разбивать сложные структуры на компоненты для детального анализа. Целостные учащиеся склонны к синтезу идей и быстрым обобщениям, но могут упускать детали, в то время как аналитические – к тщательному разбору частей, что помогает в выявлении закономерностей, но иногда затрудняет видение общей структуры. Это измерение перекликается с концепциями Г. Виткина, но акцентирует внимание на стратегиях организации информации, а не только на восприятии.

Второе измерение – «вербальность – образность» – связано с предпочтительным способом представления и кодирования информации: через словесные описания, символы и текст (вербальный стиль) или через визуальные образы, графики и пространственные модели (образный стиль). Вербальные учащиеся эффективнее работают с абстрактными понятиями, выраженными в формулах, определениях и логических последовательностях, тогда как образные предпочитают ментальные картинки, диаграммы и визуальные метафоры, которые помогают конкретизировать абстракции [2].

Два измерения ортогональны, то есть независимы друг от друга, и индивид может комбинировать черты из разных полюсов. Это приводит к четырем основным комбинациям стилей: целостно-вербальный, целостно-образный, аналитично-вербальный и аналитично-образный. Например, целостно-образный может предпочитать обзорные визуальные карты, в то время как целостно-образный – детальный текстовый анализ. Некоторые индивиды занимают промежуточную позицию, проявляя гибкость.

Значительное распространение в образовательной практике получила модель стилей обучения, разработанная Ричардом Фелдером и Линдой Сильверман. Она выделяет несколько пар когнитивных предпочтений: визуальный и вербальный стиль, сенсорный и интуитивный, активный и рефлексивный, последовательный и глобальный. Эти измерения так же являются ортогональными.

Измерение «Визуальное – Вербальное». Оно касается предпочтительных каналов ввода информации. Визуальные обучающиеся оптимально усваивают материал через зрительные стимулы: графики, диаграммы, схемы, пространственные модели и видео, что облегчает формирование ментальных образов абстрактных понятий. Вербальные обучающиеся предпочитают лингвистические формы: текстовые описания, устные объяснения, формулы и нарративы, что делает их сильными в чтении доказательств и обсуждениях.

Измерение «Сенсорное – Интуитивное». Сенсорный и интуитивный стили фокусируются на восприятии информации. Сенсорные обучающиеся ориентированы на конкретные, эмпирические данные: они предпочитают факты, практические примеры, экспериментальные данные и пошаговые процедуры, что делает их сильными в решении стандартных задач, но слабыми в абстрактных теориях. Интуитивные обучающиеся, напротив, фокусируются на абстрактных концепциях, теориях и инновациях: они наслаждаются открытием связей, гипотезами и творческим мышлением, но могут игнорировать детали, приводя к ошибкам в рутинных расчетах.

Измерение «Активное – Рефлексивное». Это измерение фокусируется на способах переработки новой информации. Активные обучающиеся предпочитают внешнюю обработку: они лучше усваивают материал через практические действия, обсуждения в группах, эксперименты или применение концепций на практике. Такие индивиды мотивированы социальным взаимодействием и часто преуспевают в кооперативном обучении, но могут испытывать трудности с пассивным восприятием (например, в лекционных форматах). Напротив, рефлексивные обучающиеся ориентированы на внутреннюю обработку: они предпочитают размышления в одиночестве, анализ идей перед их применением, что позволяет глубже интегрировать знания, но может замедлить процесс в динамичных ситуациях.

Измерение «Последовательное – Глобальное». Последнее измерение отражает стратегии структурирования знаний. Последовательные обучающиеся предпочитают линейный, пошаговый подход: они строят понимание через последовательные этапы, логические цепочки и детальный анализ, что идеально для алгоритмических задач, но может затруднять видение общей картины. Глобальные обучающиеся ориентированы на целостное восприятие: они стремятся сначала осмыслить общую структуру, связи и контекст, после чего заполняют детали, что способствует креативным выводам, но может привести к фрустрации в строго последовательных курсах [3].

Модель учебных стилей Р. Фелдера и Л. Сильверман представляет собой многомерную систему, описывающую различные способы восприятия, обработки и структурирования учебной информации. Рассматриваемые в рамках данной модели измерения позволяют более детально анализировать индивидуальные особенности когнитивной переработки информации учащимися.

Важным преимуществом данной модели является её гибкость. Каждый учащийся может проявлять разные стратегии восприятия информации в зависимости от содержания учебного материала и образовательной среды. Тем не менее у большинства обучающихся формируются устойчивые предпочтения, которые оказывают заметное влияние на эффективность усвоения знаний.

Особенно выраженными различия когнитивных стилей становятся в период перехода от школьного обучения к университетскому. Старшеклассники и студенты первых курсов находятся на этапе формирования абстрактного мышления, однако уровень развития этих навыков может существенно различаться.

В школьной математике преобладают алгоритмические задачи и конкретные примеры, тогда как университетские дисциплины, такие как математический анализ, требуют более высокого уровня абстракции и способности оперировать формальными символическими системами. Например, в математическом анализе такие понятия, как предел функции, бесконечно малая величина или интеграл, требуют формирования сложных ментальных моделей. Если преподавание ограничивается только формальными определениями и символическими преобразованиями, значительная часть учащихся испытывает трудности в формировании интуитивного понимания этих понятий.

В этом контексте важную роль начинает играть дизайн-подход к визуализации учебного материала. Под дизайн-визуализацией понимается целенаправленное проектирование графических и визуальных средств представления информации с учётом особенностей восприятия пользователя. В образовательной среде такой подход предполагает использование схем, инфографики, концептуальных карт, динамических графиков и других визуальных моделей, которые помогают учащимся формировать представления о структуре математических понятий.

Применение дизайн-визуализации позволяет адаптировать объяснение абстрактных концепций к различным когнитивным стилям. Для визуально ориентированных учащихся эффективны графические представления функций, геометрические интерпретации производной и интеграла, а также схемы взаимосвязей между математическими понятиями. Для учащихся с аналитическим стилем мышления полезны структурированные схемы доказательств и алгоритмов решения задач. Для глобальных учащихся важны визуальные модели, демонстрирующие общую структуру математической теории, тогда как последовательным учащимся помогают пошаговые графические объяснения процессов.

Особую роль дизайн-визуализация играет при изучении ключевых тем математического анализа. Например, понятие предела функции может быть представлено не только формальным ε - δ -определением, но и через графические модели приближения значений функции к определённой точке. Производная может визуализироваться как изменение наклона касательной к графику функции, а интеграл – как накопление площади под графиком.

Такие визуальные интерпретации позволяют связать абстрактные символические выражения с наглядными представлениями.

Таким образом, учет когнитивных стилей учащихся становится важным методологическим принципом при разработке образовательных материалов по математике. Использование дизайн-подхода к визуализации позволяет повысить доступность абстрактных математических концепций и снизить когнитивную нагрузку на учащихся, особенно на этапе перехода от школьного к университетскому уровню обучения.

Применение дизайн-подхода позволяет трансформировать «сухие» формальные определения в адаптивные визуальные модели. Использование графических интерпретаций, таких как изменение наклона касательной для визуализации производной или накопление площади для объяснения интеграла, помогает связать символические выражения с наглядными образами. Это не только снижает когнитивную нагрузку в период адаптации к вузовской программе, но и открывает перспективы для создания гибких цифровых образовательных инструментов, способных подстраиваться под уникальный профиль восприятия каждого обучающегося. Развитие методов дизайн-визуализации открывает перспективы для создания более гибких образовательных инструментов, способных учитывать индивидуальные особенности восприятия информации и повышать эффективность обучения сложным математическим дисциплинам.

Заключение. Проведенный анализ подтверждает, что учет индивидуальных когнитивных стилей является критически важным методологическим принципом при проектировании образовательной среды для старшеклассников и студентов. Дихотомии «целостность – аналитичность», «вербальность – образность» и «поле-зависимость – поле-независимость» определяют то, насколько успешно учащийся сможет сформировать ментальную модель абстрактного понятия.

Список литературы

1. Холодная, М. А. Когнитивные стили. О природе индивидуального ума / М. А. Холодная. [Москва]: [Прогресс], [2002]. (Уточните город, издательство и год для вашего издания).
2. Riding, R. *Cognitive Styles and Learning Strategies: Understanding Style Differences in Learning and Behaviour* / R. Riding, S. Rayner. [London]: David Fulton Publishers, 1998.
3. Felder, R. M. *Learning Styles and Strategies* / R. M. Felder, B. A. Soloman. [Электронный ресурс]. North Carolina State University, 1993. Режим доступа: <https://engr.ncsu.edu/wp-content/uploads/drive/1WPAfj3j5o5OuJMiHorJ-lv6fON1C8kCN/styles.pdf>. Дата доступа: 07.03.2026.
4. Березина П. С. Сравнительный анализ когнитивных и учебных стилей и их реализации в обучении // Вопросы методики преподавания в вузе. 2023. Т. 12. № 2. С. 114-122. DOI: 10.57769/2227-8591.12.2.08

UDC 37.091.3

COGNITIVE STYLES OF STUDENTS AND THEIR ACCOUNTING IN THE DESIGN-VISUALIZATION OF ANNOTATION MATHEMATICAL CONCEPTS

Sys E.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Gil S.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ECG

Annotation. The article discusses the problem of taking into account students' cognitive styles when studying Annotation mathematical concepts. The approaches of G. Vitkin, R. Riding, R. Felder, and L. Silverman are analyzed. The necessity of using design visualization as a means of adapting educational material to individual perception features is substantiated. It is shown that visual models help to reduce cognitive load and form intuitive understanding of complex concepts of mathematical analysis.

Keywords: cognitive styles, learning styles, design visualization, mathematical analysis, visualization in learning, Annotation concepts

УДК 004.932.4

АЛГОРИТМ ПРЕДОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ СЛАБОТЕКСТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Платонова В.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Гиль С.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ИКТ

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы фотограмметрической реконструкции объектов с гомогенными и слабо текстурированными поверхностями. Отмечается, что недостаточная информативность изображений приводит к снижению точности сопоставления характерных точек и ухудшению качества построения трёхмерных моделей. Выполнен анализ научных работ, посвящённых применению методов предобработки изображений для повышения эффективности фотограмметрических алгоритмов. Обоснована необходимость разработки алгоритма предобработки изображений, направленного на улучшение контрастных характеристик и повышение информативности исходных данных.

Ключевые слова: фотограмметрия, компьютерная графика, трёхмерная реконструкция, обработка изображений, археологические объекты

Введение. Современные методы цифровой фотограмметрии активно применяются для создания трёхмерных моделей объектов культурного наследия и археологических артефактов. Использование фотограмметрических технологий позволяет получать высокоточные цифровые копии объектов без физического воздействия на них, что особенно важно при работе с уникальными и хрупкими историческими объектами [1].

Фотограмметрическая реконструкция основана на анализе набора изображений, полученных с различных точек съёмки, и последующем вычислении пространственного положения характерных точек объекта [2]. Однако эффективность таких методов во многом зависит от качества исходных изображений и наличия выраженной текстуры поверхности. Одной из существенных проблем фотограмметрии является реконструкция объектов, имеющих гомогенные или слабо текстурированные поверхности. К таким объектам относятся каменные, керамические или металлические археологические артефакты, поверхность которых не содержит достаточного количества контрастных элементов [3]. В подобных условиях алгоритмы поиска и сопоставления ключевых точек работают менее эффективно, что приводит к уменьшению точности реконструкции и появлению ошибок при построении трёхмерной модели.

Основная часть. В научной литературе отмечается, что одним из способов повышения точности фотограмметрической обработки является применение методов предварительной обработки изображений. Предобработка может включать повышение контрастности, подавление шумов, коррекцию освещённости и другие операции, направленные на увеличение информативности изображений [4]. По данным ряда исследований, улучшение визуальных характеристик изображений позволяет повысить устойчивость алгоритмов обнаружения характерных точек и увеличить количество корректных соответствий между изображениями [5]. Это, в свою очередь, положительно влияет на точность построения пространственной модели объекта. Обобщённая схема процесса фотограмметрической реконструкции с учётом этапа предварительной обработки изображений представлена на рисунке 1.

Особое значение методы предобработки имеют при документировании археологических объектов. Цифровая фиксация состояния артефактов позволяет сохранять их геометрические характеристики, проводить последующий анализ и использовать полученные модели в научных исследованиях и музейной практике [6].

Несмотря на существующие исследования в данной области, проблема повышения эффективности фотограмметрической реконструкции для объектов со слабо выраженной текстурой остаётся актуальной. В настоящее время отсутствуют универсальные подходы, позволяющие обеспечить стабильную работу фотограмметрических алгоритмов [7].



Рисунок

1 – Общая схема фотограмметрической реконструкции с использованием предобработки изображений

В связи с этим возникает необходимость разработки специализированного алгоритма предобработки изображений, который позволит повысить информативность исходных данных и улучшить качество фотограмметрической реконструкции. Обобщённая схема предлагаемого алгоритма предобработки изображений представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема алгоритма предобработки изображений для повышения эффективности фотограмметрической реконструкции

Дальнейшее повышение эффективности фотограмметрической обработки может быть достигнуто за счёт применения специализированных алгоритмов предварительной обработки изображений. Предлагаемый алгоритм ориентирован на анализ визуальных характеристик изображений и их последующую коррекцию с целью повышения информативности исходных данных. На начальном этапе выполняется анализ основных характеристик изображения, включая распределение яркости, уровень контрастности и выраженность текстурных элементов. Проведение такого анализа позволяет определить степень пригодности исходных изображений для последующей фотограмметрической обработки и выявить возможные проблемы, связанные с недостаточной выраженностью локальных признаков [4].

В случае выявления низкой информативности изображений осуществляется этап предварительной обработки, направленный на улучшение их визуальных характеристик. Основная задача данного этапа: повышение различимости локальных структур изображения, что способствует более устойчивому обнаружению характерных точек и повышению точности их сопоставления между различными ракурсами съёмки [5]. Этап включает комплекс операций, обеспечивающих повышение качества исходных изображений и улучшение условий для последующего обнаружения характерных точек. Прежде всего выполняется коррекция яркостных характеристик изображения, направленная на выравнивание распределения яркости и повышения различимости элементов сцены. Это позволяет уменьшить влияние неравномерного освещения, которое возникает при съёмке археологических объектов в полевых условиях.

Следующим этапом является повышение контрастности изображения, что способствует более чёткому выделению границ и локальных особенностей поверхности. Улучшение контрастности повышает различимость мелких деталей и способствует увеличению количества потенциальных характерных точек. Кроме того, на этапе предварительной обработки может выполняться подавление шумов и устранение мелких искажений изображения. Наличие шумов и артефактов может негативно влиять на работу алгоритмов обнаружения и сопоставления признаков, поэтому их снижение является важным условием повышения устойчивости фотограмметрической обработки. Дополнительно может осуществляться коррекция освещённости изображения, позволяющая повысить выраженность текстурных элементов поверхности. Это особенно важно при работе с гомогенными и слабо текстурированными поверхностями, для которых характерно слабое различие между соседними областями изображения. В результате выполнения указанных операций повышается информативность исходных данных, что способствует более устойчивому обнаружению характерных точек и повышает эффективность последующей фотограмметрической реконструкции.

После выполнения этапа предобработки проводится повторная оценка характеристик изображений. Если полученные параметры удовлетворяют требованиям фотограмметрической обработки, изображения предаются в систему реконструкции для последующего построения пространственной модели объекта. В противном случае может выполняться дополнительная корректировка параметров обработки, что позволяет адаптировать алгоритм к особенностям исходных данных. Предложенный подход обеспечивает гибкость обработки и позволяет учитывать специфику изображений объектов со слабо выраженной текстурой. Это особенно важно при документировании археологических артефактов, поверхность которых зачастую характеризуется однородной структурой и недостаточным количеством выраженных визуальных признаков [6]. Повышение информативности изображения на этапе предобработки способствует увеличению количества обнаруживаемых характерных точек и, как следствие, повышению устойчивости фотограмметрической реконструкции.

Заключение. Анализ научной литературы показал, что точность фотограмметрической реконструкции существенно зависит от качества исходных данных изображений и текстурных характеристик поверхности объекта. Для объектов с гомогенными и слабо текстурированными поверхностями эффективность традиционных методов снижается, что требует применения дополнительных методов обработки изображений. Разработка алгоритма предобработки изображений, направленного на повышение контрастности и информативности данных, является перспективным направлением исследований и может способствовать улучшению качества трёхмерной реконструкции археологических объектов.

Список литературы

1. Лобанов, А. Н. Фотограмметрия. – М.: Недра, 2015.
2. Селиверстов, А. В. Основы цифровой фотограмметрии. – М.: МИИГАиК, 2018.
3. Кузнецов, А. Г. Применение фотограмметрии при документировании археологических объектов // Геодезия и картография. – 2020. – №4. – С. 45-51.
4. Гонсалес, Р., Вудс, Р. Цифровая обработка изображений / пер. с англ. – М.: Техносфера, 2019.
5. Чернявский, И. А. Методы повышения качества изображений для задач компьютерного зрения // Компьютерная оптика. – 2021. – Т.45, №3. – С. 412-420
6. Бобров, А. В. Применение 3D-моделирования в археологических исследованиях // Археология Евразийских степей. – 2019. – №2. – С. 112-118.
7. Сорокин, С. В. Алгоритмы выделения характерных точек в задачах компьютерного зрения // Программные системы и вычислительные методы. – 2022. – №1. – С. 37-44.

UDC 004.932.4

IMAGE PREPROCESSING ALGORITHM TO INCREASE THE EFFICIENCY OF PHOTOGRAMMETRIC RECONSTRUCTION OF LOW-TEXTURED SURFACES

Platonava V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Gil S.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ECG

Annotation. this article examines the challenges of photogrammetric reconstruction of objects with homogeneous and poorly textured surfaces. It is noted that insufficient image information leads to reduced accuracy of feature point matching and deterioration in the quality of 3D model construction. An analysis of scientific papers devoted to the use of image preprocessing methods to improve the efficiency of photogrammetric algorithms is provided. The need to develop an image preprocessing algorithm aimed at improving contrast characteristics and increasing the information content of the source data is substantiated.

Keywords: photogrammetry, computer graphics, 3D reconstruction, image processing, archaeological objects

Подворный В.М., Блажевич Е.И.

Научный руководитель: Гиль С.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ИКТ

Ключевые слова: 3D-моделирование, анимация, сравнительный анализ, текстурирование

Основная часть. Анализ различий в программном обеспечении проанализируем на примере создания деревянного рубанка. Модель достаточная для этой задачи, так как состоит из 5-ти деталей и включает в себя 2 материала. Создание рубанка произведём по одному референсу, чертежу (рисунок 1).

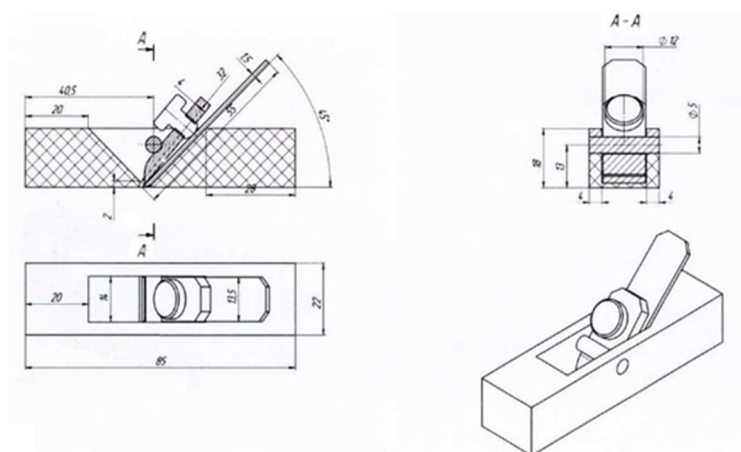


Рисунок 1 – Сборочный чертёж рубанка

- 1 Создание деревянной основы рубанка (колодки).
- 2 Создание лезвия рубанка (ножа).
- 3 Создание клина и болта.
- 4 Создание перегородки для клина (выполняет роль щёк в рубанке).
- 5 Текстурирование всех деталей.
- 6 Анимация «взрывного вида».

Для выполнения первого этапа в Blender 3D использовались инструменты создания объекта (Add), изменение размеров (Dimensions), выдавливание объекта другим (Boolean). В конце первого этапа выполнялись измерения (Measure) для проверки построений. Как видно из рисунка 2, в Blender 3D сложно получить точные результаты в размерах фигуры, так как это ПО ориентировано для решения других задач [2].

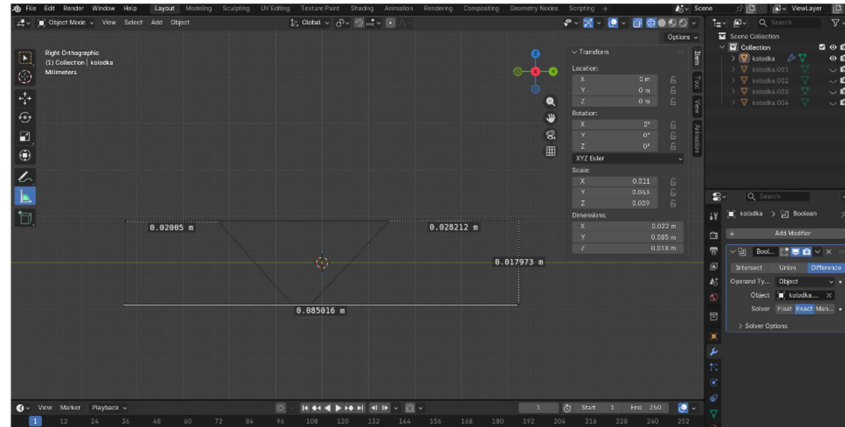


Рисунок 2 –

основы рубанка

3D-модель деревянной

Для выполнения первого этапа в Autodesk Inventor (Рисунок 3) использовались команды создания эскиза замкнутого контура: отрезок, окружность, прямоугольник и в дальнейшем команда выдавливание. В Autodesk Inventor можно получить точные результаты в размерах фигуры, так как это более инженерно-ориентированное ПО.

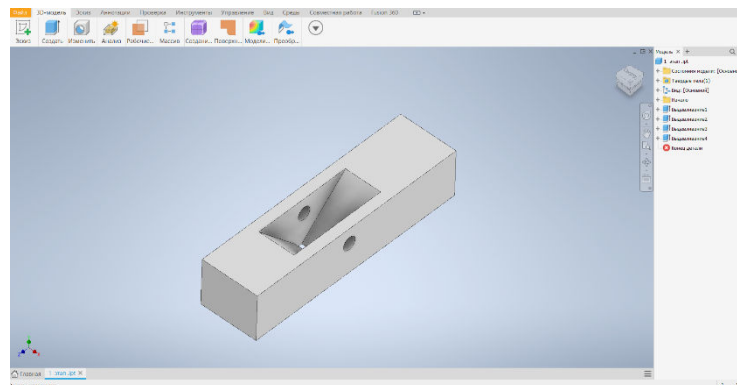


Рисунок 3 – 3D-модель

рубанка

деревянной основы

Для выполнения второго этапа в Blender 3D использовались инструменты создания объекта (Add), изменение размеров (Dimensions), передвижение конкретных рёбер в режиме редактирования (Edit mode). При симметрии объекта можно выполнить только половину его и использовать модификатор отзеркаливания (Mirror) [3]. Это считается оптимальным вариантом, так как требует меньше действий и даёт идеальную симметрию. На втором этапе в Autodesk Inventor использовались команды: отрезок, выдавливание и зеркальное отображение.

Для создания клина на третьем этапе в Blender 3D использовались все те же элементы, которые были задействованы ранее при реализации второго этапа, это легко объяснимо подобием фигур, но для создания болта необходимо было добавить фигуру цилиндра (Cylinder) и вытягивать (Extend) её в режиме редактирования. В Autodesk Inventor на третьем этапе использовались команды: отрезок, окружность, фаски, вращение и выдавливание.

Четвёртый этап в Blender 3D аналогичен третьему, добавляется цилиндр и приводится к заданным размерам. В Autodesk Inventor на четвёртом этапе использовались команды окружность и выдавливание.

Текстурирование всех деталей сборочного узла – пятый этап. Для создания процедурных текстур в Blender 3D использована вкладка Shading и редактор «узлов текстур» (Nodes). На скриншотах (рисунок 4) можно увидеть, как выглядят коды для материалов дерева и металла.

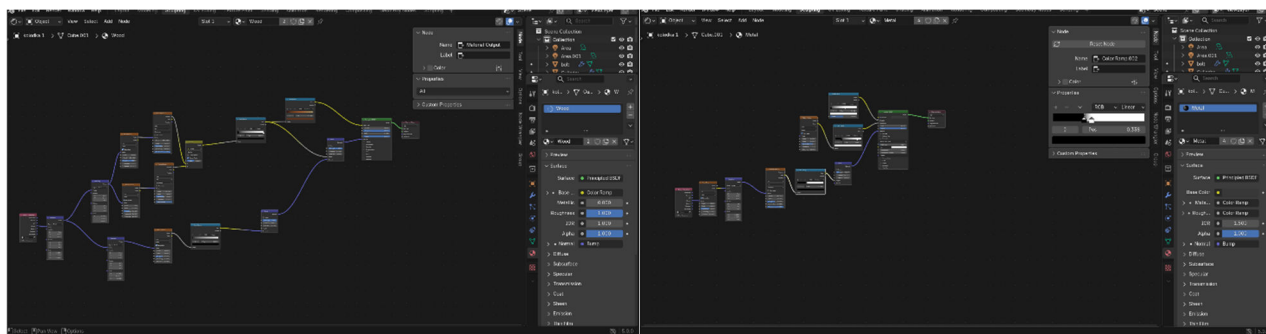


Рисунок 4 – Скриншоты с кодами материалов соответственно дерева и металла в Blender 3D

Присвоение материала и текстуры в Autodesk Inventor осуществлялось на основе редактора текстур. В данном ПО отсутствуют реалистичные текстуры и представлен минимальный объём визуального оформления.

Анимация – шестой этап. В Blender 3D для создания анимации используется распространённая концепция ключевых точек (Keyframes), а также необходимо применять окно временной полосы (Timeline). Объект выставляем в заданную позицию на нужном кадре и нажимаем ПКМ на координаты детали и выбираем опцию Insert Keyframe. Аналогичные действия выполняем со всеми перемещающимися объектами, затем рендерим покадрово созданную анимацию, соединяем все кадры в одно видео во встроенном видеоредакторе Blender 3D.

В Autodesk Inventor для создания анимации использовались: инструмент сдвига 3D-компонентов сборочного узла и покадровый план. Для простоты создания анимации настройку осуществляем таким образом, чтобы анимация проигрывается линейно [4].

Заключение. Выполнен сравнительный анализ программного обеспечения Blender 3D и Autodesk Inventor на примере создания 3D-модели деревянного рубанка. Установлено, что Autodesk Inventor обеспечивает высокую точность размеров и лучше подходит для инженерного проектирования, тогда как Blender 3D предоставляет широкие возможности для работы с текстурами, свободного моделирования и создания анимации. Продемонстрировано практически, что выбор инструмента 3D-моделирования определяется характером поставленных задач: для точного инженерного проектирования предпочтительнее Autodesk Inventor, а для художественного моделирования, анимации и визуализации – Blender 3D. Результаты могут быть использованы при выборе ПО в учебном процессе и на производстве.

Список литературы

1. Vaughan, W. *Digital Modeling* / William Vaughan. – New Riders, 2012. – 432 p. – ISBN 978-0-321-70055-4.
2. Flavell, L. *Beginning Blender: Open Source 3D Modeling, Animation, and Game Design* / Lance Flavell. – Apress, 2010. – 291 p.
3. *Blender Documentation* / Blender Foundation. – [Electronic resource]. – URL: <https://docs.blender.org>.
4. Колосов, М.Ю. *Моделирование в среде Autodesk Inventor* / М.Ю. Колосов. – Москва: ДМК Пресс, 2015. – 320 с.

UDC 004.02

COMPARISON OF SOFTWARE FOR 3D-MODELING AND ANIMATION

Podvorny V.M., Blazhevich Y.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Gil S.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ECG

Annotation. Differences in software for creating, texturing, and animating 3D-models were experimentally investigated. It was established that Autodesk Inventor performs better in tasks requiring precise dimensions and engineering accuracy, while Blender 3D excels in free-form modeling, creating models for animation, video games, and sculpting.

Keywords: 3D modeling, animation, comparative analysis, texturing

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРЁХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Прокопчик К.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Кучура О.Н. – ст. преподаватель кафедры ИКТ

Аннотация. Проведено исследование возможностей использования инструментов искусственного интеллекта для визуализации 3D-объектов при обучении студентов инженерной графике. Анализировались системы *Gemini*, *ChatGPT*, *Copilot*, *Kimi*, *TRIPO 3D* и *Zoo*. Установлено, что наличие визуального референса повышает точность генерации на 20–30%, специализированные CAD-ориентированные системы дают наилучшие результаты.

Ключевые слова: искусственный интеллект, инженерная графика, 3D-визуализация, образовательные технологии, геометрическое моделирование, нейросетевые генераторы

Введение. Актуальность развития методов визуализации трёхмерных объектов в образовательном процессе обусловлена необходимостью повышения наглядности при обучении студентов инженерной графике. Традиционные методы построения проекций сложных геометрических композиций требуют значительных временных затрат, что затрудняет восприятие пространственных отношений [1].

Современные генеративные модели ИИ открывают возможность оперативного получения визуальных репрезентаций по текстовым описаниям или референсным изображениям. Однако для педагогического применения критически важна геометрическая достоверность результатов [2].

Цель исследования – оценка возможностей ИИ-инструментов для создания наглядных пособий при обучении построению пересечений поверхностей и сравнительный анализ эффективности различных форматов запросов.

Основная часть. В качестве эталонной модели была создана композиция в системе *Autodesk AutoCAD 2024*, выбранная из типичных задач курса «Основы компьютерной графики», требующая понимания взаимного пересечения поверхностей второго порядка [3].

В качестве визуального референса использовался чертеж из методички (рисунок 1).

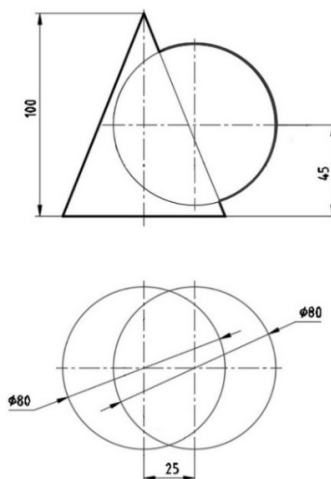


Рисунок 1 – Чертеж из методички, использованный в качестве референса

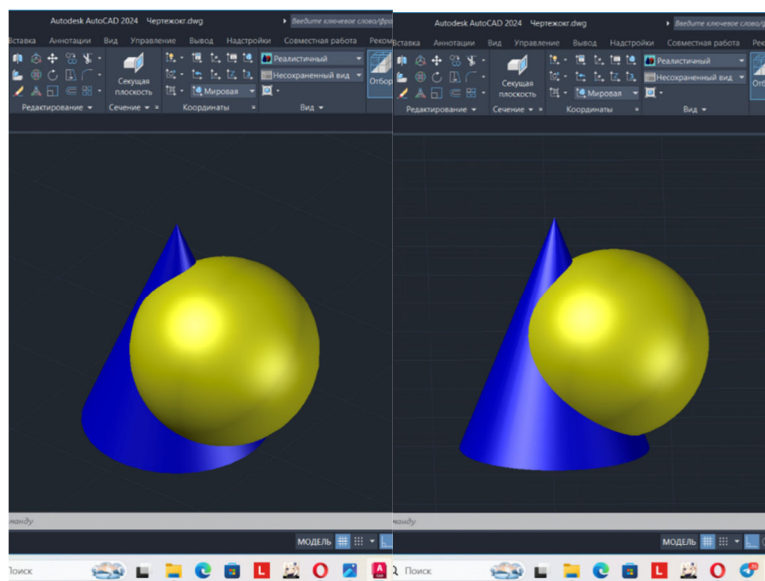


Рисунок 2 – Эталонная модель в AutoCAD 2024, использованная для сравнения

Исследовались следующие системы с различными режимами запросов:

- *Gemini* – в двух режимах: чисто текстовый запрос; референсное чертёж без текстового описания;
- *Kimi* – в двух режимах: чисто текстовый запрос; чертёж без текстового описания;
- *ChatGPT (DALL-E)* – комбинированный запрос (текстовое описание и чертёж);
- *Microsoft Copilot* – комбинированный запрос (текстовое описание и чертёж);
- *TRIPO 3D* – комбинированный запрос (текстовое описание и чертёж);
- *Zoo (KittyCAD)* – комбинированный запрос (текстовое описание и чертёж).

Оценка проводилась по шести критериям: пропорции конуса, размер сферы относительно конуса, горизонтальное смещение сферы, вертикальное расположение сферы, корректность линии пересечения поверхностей, глубина врезания сферы в конус.

Анализ результатов генерации выявил существенные различия в зависимости от формата запроса и специализации системы (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительная оценка точности ИИ-систем

Система	Формат запроса	Общая точность, %	Ключевые отклонения
<i>AutoCAD 2024</i>	–	100	–
<i>Zoo (KittyCAD)</i>	текстовый запрос	90	цветовая схема
<i>Kimi</i>	чертёж	88–92	видимая полигональная сетка
<i>Gemini</i>	чертёж	75–80	завышенная высота центра сферы
<i>ChatGPT (DALL-E)</i>	комбинированный	75	уменьшенный размер сферы, отсутствие врезки
<i>TRIPO 3D</i>	комбинированный	70	искажённые пропорции конуса и шара
<i>Copilot</i>	комбинированный	55–60	нарушены все размерные параметры
<i>Gemini</i>	текст	55–65	отсутствие пересечения поверхностей
<i>Kimi</i>	текст	65	заниженное расположение сферы

Наиболее точные результаты показали системы с визуальным референсом и специализированные *CAD*-инструменты. Комбинированные запросы не обеспечивают преимуществ перед чисто визуальным референсом.

При использовании текстового запроса системы демонстрировали неспособность передать геометрию пересечения: сфера изображалась лежащей на поверхности, а не врезанной в конус. При предоставлении чертежа точность возрастает на 20–30%.

Сравнение результатов *Gemini* и *Kimi* в двух режимах демонстрирует критическую важность визуальной составляющей. При текстовом запросе обе системы показали

неспособность передать геометрию пересечения: сфера изображалась лежащей на поверхности конуса, пропорции искажались. При предоставлении чертежа точность возрастает на 20–30% – системы корректно интерпретируют пространственные пропорции, относительные размеры и характер взаимодействия поверхностей (рисунок 2).

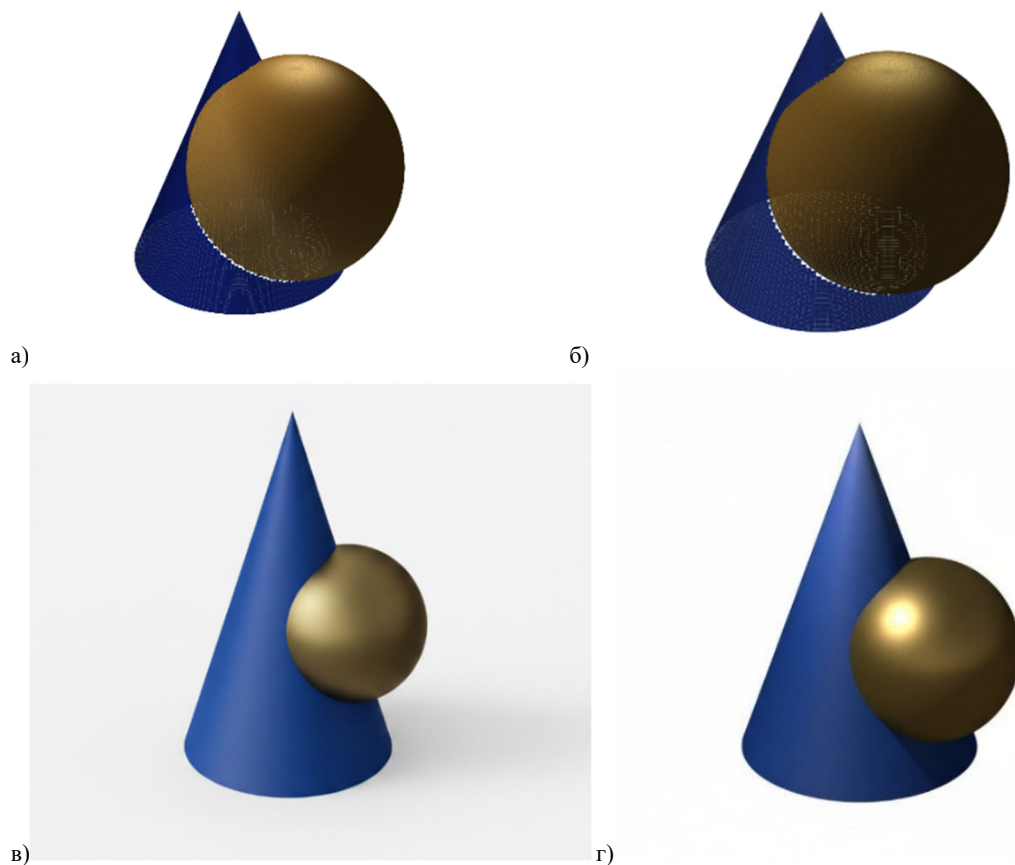
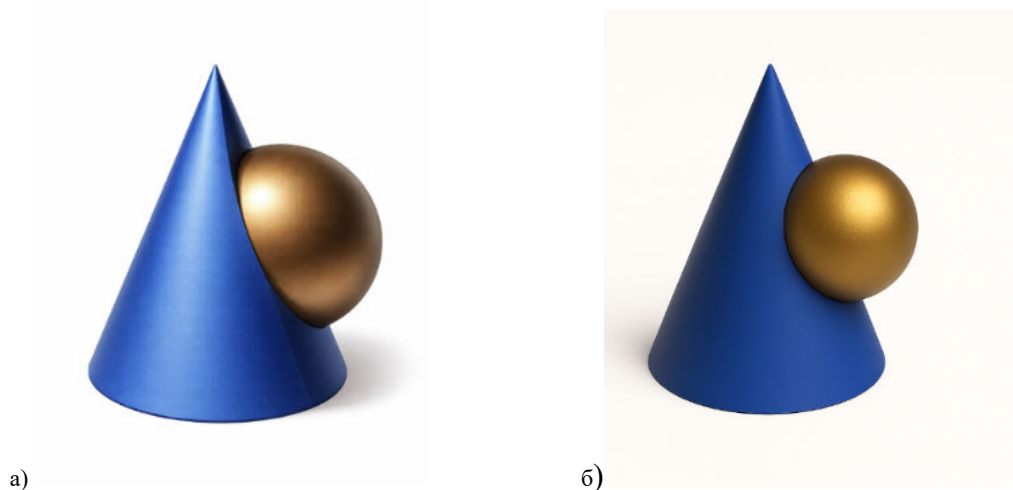


Рисунок 3 – Результаты генерации *Kimi*: (а) – по текстовому запросу, (б) – по чертежу, *Gemini*: (в) – по текстовому запросу, (г) – по чертежу

Системы с комбинированными запросами (*ChatGPT*, *Copilot*, *TRIPO 3D*) показывают средние результаты. Наличие текстового описания наряду с изображением не улучшает, а в ряде случаев ухудшает интерпретацию геометрии из-за конфликта между абстрактным описанием и конкретной геометрией чертежа (рисунок 4).



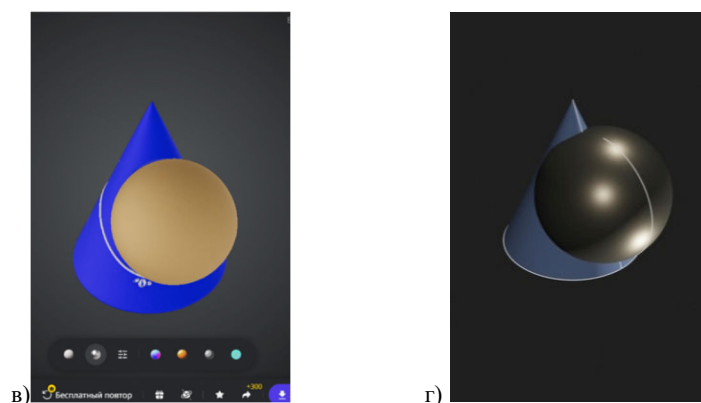


Рисунок 4 – Результаты систем с комбинированными запросами: (а) – ChatGPT, (б) – Copilot, (в) – TRIPO 3D, (г) – Zoo (KittyCAD)

Заключение. Установлено, что ИИ-инструменты при правильном выборе формата запроса обеспечивают достаточную для педагогических целей точность. Максимальная точность (88–92%) достижима при использовании визуального референса без текстового описания. Специализированные CAD-системы демонстрируют высокую точность (90%) независимо от формата запроса.

Практическая значимость заключается в возможности оперативного создания наглядных пособий для обучения построению пересечений поверхностей.

Список литературы

1. Королев, Д.А. Основы компьютерной графики : учебное пособие / Д.А. Королев. – СПб. : Лань, 2026. – 212 с.
2. Лазарев, С.И. Основы компьютерной графики : учебник / С.И. Лазарев, С.А. Вязовов, С.В. Ковалев [и др.]. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2019. – 83 с.
3. Омелькович, Е. В. Основы компьютерной графики. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Е. В. Омелькович, Т. А. Марамыгина, О. Н. Кучура, С. В. Гиль. – Минск : БГУИР, 2025. – 146 с. : ил. – ISBN 978-985-543-781-0.

UDC 371.3 /004.9

OPPORTUNITIES FOR USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR 3D-OBJECT VISUALIZATION IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Prokopchik K.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kuchura O.N. – Senior Lecturer at the Department of ECG

Annotation. The study examines the capabilities of modern artificial intelligence tools for 3D object visualization to enhance the clarity of engineering graphics education. Systems Gemini, ChatGPT, Copilot, Kimi, TRIPO 3D and Zoo were analyzed when reproducing a parametric 3D composition. It was found that visual reference increases generation accuracy by 20–30%, while specialized CAD-oriented systems show the best results.

Keywords: artificial intelligence, engineering graphics, 3D visualization, educational technologies, geometric modeling

ПРОЕКТ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СБОРКИ УЗЛА ИЗДЕЛИЯ В 3DS MAX

Филипова А. Д.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Омелькович Е. В. – магистр педагогических наук, ст. преподаватель кафедры ИКТ

Аннотация. Разработана трёхмерная модель узла двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и анимация его работы в среде Autodesk 3Ds Max. Актуальность данного проекта обусловлена недостатком наглядной анимации принципа работы поршневой группы для изучения базового строения элементов двигателя. В условиях высокой стоимости анимированных 3D-моделей не каждое учреждение образования способно приобрести наглядные цифровые проекты. Проанализированы предложенные в открытом доступе файлы, собрана статистика запросов пользователей о недостатке материала для обучения. Визуализация работы системы ДВС на примере созданной модели способствует более детальному изучению его строения и принципа действия, что может существенно облегчить и ускорить процесс обучения.

Ключевые слова: 3Ds Max, 3D-моделирование, анимация, двигатель, визуализация, ДВС

Введение. В современном машиностроении и образовании как в учреждениях образования, так и в автошколах, существует потребность в наглядных средствах демонстрации работы механических узлов. Трёхмерная визуализация позволяет лучше понять принцип действия сложных механизмов в сравнении с традиционными методами. Чертежи и двухмерные схемы не передают динамику движения деталей, что затрудняет восприятие процесса работы узла, особенно для обучающихся, которые не встречались с работой реального объекта. Целью данной работы является создание трёхмерной модели узла двигателя и анимации процесса его работы в среде Autodesk 3Ds Max. Для выполнения цели поставлены задачи моделирования геометрии корпуса двигателя, а также поршней, создания анимации работы поршня без текстур и сложных световых элементов для простого восприятия модели. Такой подход помогает заинтересовать большее количество людей к изучению машиностроения.

Основная часть. Актуальность проекта заключается в возросшей необходимости интерактивных и визуально насыщенных инструментов для обучения и понимания принципов работы автотранспорта. Традиционные методы обучения, такие как чертежи и статичные рисунки, часто не могут дать полного представления о пространственной структуре и взаимодействии сложных технических узлов. Изучение устройства двигателя внутреннего сгорания является обязательной частью программ автошкол и университетов, но при этом реальные модели слишком большие и дорогие, что не всегда доступно.

Разработка трехмерной модели и анимации процесса сборки узла ДВС позволяет решить эту проблему, предоставив студентам и учащимся возможность более детально и визуально изучить конструкцию, взаимодействие деталей и принцип работы механизма в виртуальной среде. Кроме того, использование современных цифровых технологий, таких как 3D-моделирование и анимация, делает процесс обучения более современным, увлекательным и эффективным по сравнению с классическими лекциями.

Для качественной реализации проекта были выполнены следующие задачи:

1 Аналитический обзор и разработка концепции: изучение устройства классического двигателя внутреннего сгорания, его составных частей и принципов работы; определение ключевых элементов для моделирования, таких как основной корпус и поршень; проектирование сценария анимации, который наглядно демонстрирует последовательность сборки узла и движение деталей при работе двигателя.

2 Техническая реализация 3D-модели и анимации: выбор инструментов для создания высокополигональных, детализированных моделей и последующей анимации.

3 Моделирование: для создания геометрически точных и реалистичных моделей поршня, корпуса и всех сопутствующих деталей была выбрана программа 3ds Max. Этот программный пакет обладает мощным инструментарием для полигонального моделирования и создания сложных технических форм.

4 Анимация: на основе созданного сценария в 3ds Max была разработана покадровая анимация, демонстрирующая процесс сборки узла и последующую симуляцию работы кривошипно-шатунного механизма.

5 Оценка эффективности применения: внедрение разработанной визуализации в учебный процесс и оценка её влияния на качество усвоения материала. Проведение опросов среди студентов и преподавателей для выявления изменений в уровне понимания конструкции ДВС, сложности восприятия информации и интересе к предмету.

На первом этапе работы над проектом были созданы основные модели проекта. На рисунках 1 и 2 представлены модели поршня и корпуса.



Рисунок 1 – Модель поршня

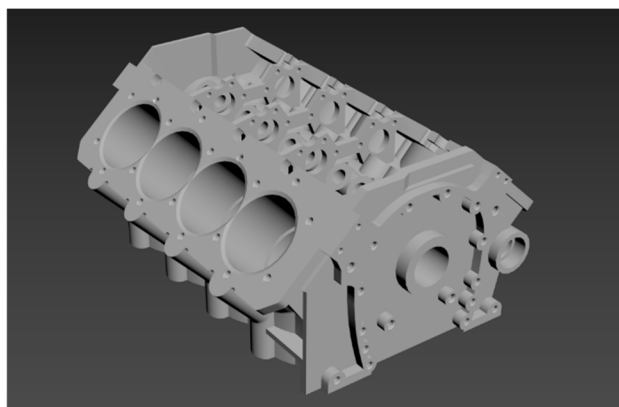


Рисунок 2 – Модель корпуса

После завершения моделирования всех компонентов был выполнен этап сборки сцены, после которого создавалась покадровая анимация. На рисунке 3 представлены ключевые кадры анимации одного поршня двигателя.

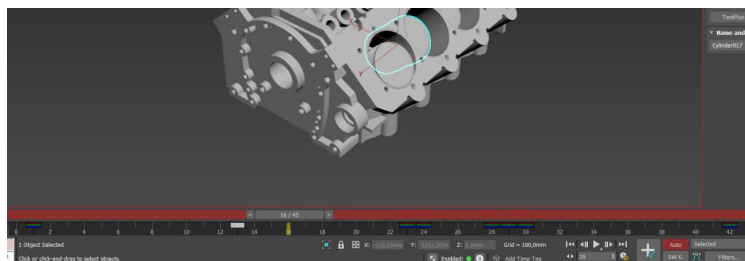


Рисунок 3 – Ключевые кадры анимации сборки

На рисунке 4 можно увидеть отдельные кадры анимации сборного узла (кадры №№ 3, 11, 24, 38), где представлены ключевые точки работы поршней в модели.

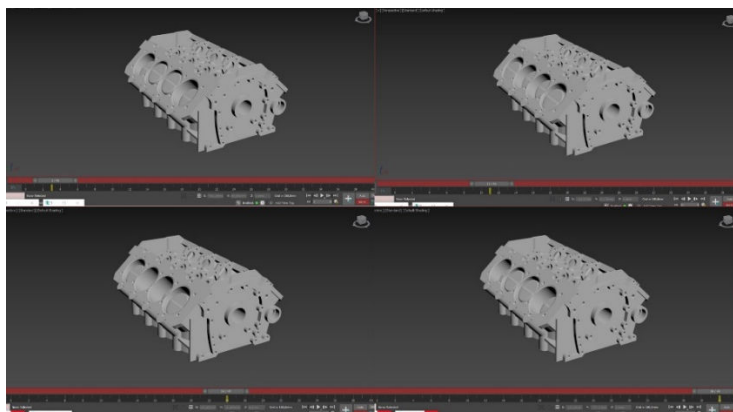


Рисунок 4 – Покадровая анимация

Анимация сборки узла была представлена потребителям. Результаты устного опроса подтвердили успешность проекта – работа получила положительные отзывы и высокие оценки.

Заключение. Проект успешно достиг своей основной цели – создание детализированной 3D-модели и анимации процесса сборки узла ДВС для использования в образовательных целях. В ходе работы были успешно применены современные инструменты трехмерной графики и анимации в среде 3ds Max.

Результатом проекта явился готовый учебный продукт, который может быть использован в автошколах, университетах и колледжах для изучения устройства автомобиля. Потенциальные преимущества внедрения данной разработки в учебный процесс:

- 1 Повышение наглядности процесса обучения.
- 2 Увеличение вовлеченности и интереса обучающихся.
- 3 Доступность и многократность использования электронного продукта.

Список литературы

1. Ложкина, А.Е. Проектирование в среде 3DS MAX : пособие / Е.А. Ложкина, В.С. Ложкин. – Новосибирск : НГТУ, 2019. – 180 с.
2. Виртуальная среда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/dev-home/environments/>. – Дата доступа: 19.02.2026

UDC 004.81

PROJECT MODELING AND VISUALIZATION THE ASSEMBLY PROCESS OF THE PRODUCT ASSEMBLY IN 3DS MAX

Filipova A. D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Omelkovich E. V. – Master of Sci., Senior Lecturer at the Department of ECG

Annotation. A three-dimensional model of an internal combustion engine (ICE) assembly and an animation of its operation have been developed using Autodesk 3ds Max. The relevance of this project stems from the lack of illustrative animations demonstrating the operating principle of the piston group for educational purposes in studying the basic structure of engine components. Given the high cost of animated 3D models, not every educational institution can afford to acquire such visual digital projects. An analysis of publicly available files was conducted, and user request statistics were compiled, indicating a shortage of educational materials on this topic. The visualization of the ICE system's operation through the created model facilitates a more detailed study of its structure and working principle, which can significantly simplify and accelerate the learning process.

Keywords: 3Ds Max, 3D modeling, animation, engine, visualization

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ ДЛЯ НЕЗРЯЧИХ ЛЮДЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШРИФТА БРАЙЛЯ

Ариукевич А.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Зайцев И.А. – магистр, ст. преподаватель кафедры ИКТ

Аннотация. Освещена проблема недоступности инженерного образования и профессиональной деятельности для людей с нарушением зрения. Предложено создание тактильных чертежей как замена графическим, а также прописаны и обоснованы основные требования к их нанесению, такие как шрифт, масштаб, инструмент и материал.

Ключевые слова: шрифт Брайля, тактильный чертеж, символ, штрих, масштаб

Введение. Инженерное образование традиционно строится на визуальном восприятии материала. Чертеж является основным средством передачи данных о технике, ее деталях, форме, размерах. В связи с полной или частичной потерей зрения, люди теряют возможность в полной мере работать с ними, так как методы, основанные на словесном воспроизведении информации в данной сфере являются крайне неэффективными, в отличие от других сфер [2]. Это не дает людям с ограниченными возможностями (ОВЗ) по зрению обучаться по инженерным специальностям, а уже состоявшиеся специалисты, потерявшие зрение в результате травм или других обстоятельств, теряют вместе с ним и возможность работать по специальности, что приводит к возможной потере ценных кадров.

Основная часть. При разработке адаптивных чертежей необходимо решить задачи:

- разработать систему условных обозначений для различных типов линий;
- интегрировать шрифт Брайля в нанесение слов и цифр на чертеж;
- определить оптимальную технологию изготовления чертежей.

Для понимания чертежа большое значение имеет то, какая линия используется в рисовке того или иного элемента. Хотя в ГОСТах не прописаны четкие требования (есть интервалы допустимых значений) к линиям на чертеже, обычный человек улавливает различие между, к примеру, толстой и тонкой линией в сравнении. Однако, в отличие от зрячего человека, люди с ОВЗ при контакте с линией получают точную информацию только о ее наличии, но не о ее свойствах (тонкая, жирная, пунктирная или штрихпунктирная), так как их гораздо сложнее уловить руками. Поэтому необходимо ввести строгие обозначения для тактильных чертежей, которые будут сильно различаться между собой и иметь прописанные нормативы по длине и ширине штрихов.

При определении оптимального диаметра линий, следует отталкиваться от того, что грифель для шрифта Брайля имеет один стандартный диаметр – 1,5 мм [3]. Также следует учесть, что линии не могут накладываться одна на одну, как при стандартном чертеже.

Из этого следует, что основная сплошная толстая линия и разомкнутая будут по 3 мм. Исходя из этой толщины, сплошная тонкая линия, используемая для сносок, будет иметь диаметр 1,5 мм, также как и сплошная волнистая и пунктирная, что в два раза тоньше основной сплошной линии.

Далее необходимо обозначить интервалы между штрихами при различных типах линий. В шрифте Брайля установлены четкие стандарты для расстояний между словами, символами и точками в символе. Они равняются 6 мм, 3,5 мм и 2,5 мм соответственно [3]. Данные расстояния обусловлены физиологией осязания. Именно столько необходимо, чтобы нервные окончания подушечек пальцев зафиксировали переход между символами. Также, если уменьшить расстояния, то точки могут смешаться в одно целое и стать нечитаемыми. Это необходимо учитывать для установления необходимых расстояний.

На чертеже минимальное расстояние между штрихами находится между коротким и длинным штрихами штрихпунктирной линии. Исходя из удобства чтения, установим его равным 2,5 мм. Немного больше по размеру должно быть расстояние между штрихами пунктирной линии. Установим его равным 3,5 мм. Далее определим длину самих штрихов. В

начертательной геометрии она может сильно варьироваться в зависимости от длины данной линии. Однако для незрячих людей данные способ нанесения может быть проблематичным для восприятия. Таким образом установим фиксированную длину. Для самого длинного штриха – разомкнутой линии, установим размер 20 мм, далее у штрихпунктирной – 15 мм и 4 мм (для длинного и короткого штрихов соответственно), для пунктирной – 7 мм.

В связи с тем, что рисовка линий на тактильном чертеже в среднем толще в 3,5 раза, чем на обычном графическом, необходимо также учитывать масштаб чертежа. Исходя из ГОСТа 2.302-68 [5], масштаб увеличения может быть 2,5:1, далее 4:1. Более подходящим для наших размеров является 4:1, что обеспечит наиболее точное соблюдение всех пропорций. Также это поможет избежать неразборчивой прорисовки мелких деталей, которая может возникнуть из-за утолщения линий.

Далее необходимо решить, как интегрировать шрифт Брайля в нанесение подписей, условных обозначений и размеров. Для этого рассмотрим написание букв и цифр шрифтом Брайля. Один символ занимает ячейку размером 4х6,5 мм [3]. Стандартный, написанный чертежным шрифтом, графический символ – 1,5х3,5 мм [1]. Так как размер чертежа увеличивается в 4 раза по сравнению с обычным, то такой размер символов позволит писать без сокращений и вреда пониманию чертежа.

Современные методы нанесения надписей шрифтам Брайля включают в себя ручное письмо, печать на 3D и лазерных принтерах. В зависимости от размера чертежа, бюджета и других возможностей предприятия могут применены любой из этих способов. Однако следует учесть, что если нанесение производится вручную, то выбор бумаги и грифеля должен быть соответствующим. Бумага должна быть плотностью минимум 160 г/м² (для сравнения, офисная бумага 80 г/м²) во избежание деформации чертежа [4].

Заключение. Создание тактильных чертежей является необходимостью для интеграции незрячих людей в инженерную сферу. Поскольку прямое копирование визуальных стандартов непригодно для осязания, был предложен ряд нормативов, основанный на физиологии чувствительности пальцев. Установленный масштаб 4:1 позволит избежать потери информативности при нанесении. Внедрение данных решений позволит сохранить ценные кадры и откроет возможности инженерного образования для людей с ОВЗ.

Список литературы

1. Выполнение чертежей деталей : метод. пособие по курсу «Начертательная геометрия и инженерная графика» / М. В. Мисько [и др.]. – Минск : БГУИР, 2009. – 54 с.
2. ГОСТ Р 58512–2019. Рельефно-графические изображения для слепых. Технические характеристики. – М. : Стандартинформ, 2019. – 8 с.
3. ГОСТ Р 56832–2020. Шрифт Брайля. Требования и размеры. – М. : Стандартинформ, 2020. – 12 с.
4. Макин, В. З. Исследование процесса нанесения шрифта Брайля методом вакуумного формирования / В. З. Макин, Т. Г. Дудок // Научные труды Украинской академии печати. – 2018. – № 2. – С. 45–52.
5. ГОСТ 2.302–68. Единая система конструкторской документации. Масштабы. – Взамен ГОСТ 3451–59 ; введ. 1971–01–01 ; послед. изм. 2006–09–01. – М. : Стандартинформ, 2007. – 3 с.

UDC 62:376.32

DEVELOPMENT OF ADAPTIVE DRAWINGS FOR BLIND PEOPLE USING BRAILLE

Artsukevich A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Zaitsev I.A. – Master of Sci., Senior Lecturer at the Department of ECG

Annotation. The problem of the inaccessibility of engineering education and professional activity for people with visual impairments is highlighted. The creation of tactile drawings is proposed as a replacement for graphic ones, and the basic requirements for their production, such as font, scale, tool, and material, are outlined and justified.

Keywords: Braille, tactile drawing, symbol, stroke, scale

ОБРАТНЫЙ ИНЖИНИРИНГ ПРОСТОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ДЕТАЛИ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТ ФИЗИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ДО 3D-МОДЕЛИ

Суконкин В.В., Островский В.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Кошман В. Д. — магистр, ст. преподаватель кафедры ИКТ

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию процесса обратного инжиниринга (реверс-инжиниринга) на примере простой механической детали — от физического объекта к созданию ее цифровой 3D-модели. Актуальность данного метода обусловлена необходимостью восстановления деталей, производство которых прекращено, при отсутствии технической документации.

Ключевые слова: обратный инжиниринг, реверс-инжиниринг, 3D-модель, механическая деталь

Введение. В современном машиностроении возникает ситуация, когда оборудование продолжает эксплуатироваться, однако необходимые запасные части уже не производятся. При выходе из строя простой механической детали и невозможности приобрести оригинальный элемент, практическим решением становится применение обратного инжиниринга — построение цифровой модели по существующему физическому образцу.

Основная часть. Процедура обратного инжиниринга механической детали [1] представляет собой последовательность взаимосвязанных этапов, каждый из которых влияет на точность конечного результата.

На подготовительной стадии деталь очищают от загрязнений, выполняют внешний осмотр и фиксируют видимые дефекты (трещины, сколы, следы износа). Одновременно определяются базовые поверхности, используемые в дальнейшем как измерительные базы.

Этап получения геометрической информации может реализовываться двумя способами: прямыми измерениями механическими средствами или трёхмерным сканированием.

При использовании традиционных измерительных инструментов применяются штангенциркуль, микрометр и нутромер. Штангенциркуль обеспечивает точность порядка 0,05 мм при измерении наружных и внутренних размеров, тогда как микрометр позволяет повысить точность до 0,01 мм. Преимуществом метода является его доступность, однако он затруднителен для деталей сложной формы.

Более технологичным подходом выступает 3D-сканирование, при котором формируется облако точек, содержащее большое количество координат поверхности детали. Современные сканирующие системы обеспечивают точность порядка 0,02–0,04 мм и позволяют корректно оцифровывать сложные геометрические элементы: зубчатые профили, радиусные поверхности и фаски.

После получения исходных данных детали они импортируются в специализированную CAD-систему, где формируется твердотельная модель. Далее проводится верификация — сопоставление цифровой модели с исходной деталью для оценки точности воспроизведения геометрии.

Для наглядности целесообразно рассмотреть уникальные детали, которые могут быть сняты с производства и отсутствовать в каталогах. Примером служит шестерня привода масляного насоса автомобиля ГАЗ-24 ранних выпусков. Для таких изделий, в частности для этой детали (рисунок 2), зачастую отсутствуют чертежи и аналоги, что делает обратный инжиниринг единственным способом восстановления.

В процессе воссоздания определяются основные геометрические параметры: наружные диаметры, размеры посадочных отверстий, ширина зубчатого венца [2]. Для зубчатых колёс

дополнительно вычисляются скрытые характеристики – модуль зацепления, угол профиля и коэффициент смещения. Они определяются на основе измерений и теоретических зависимостей (так как есть параметры, которые приборами не померяешь напрямую: модуль зацепления, угол профиля зуба, коэффициент смещения и т.д.).

При построении CAD-модели важно не копировать изношенную поверхность, а восстановить номинальный профиль зуба. Практика показывает, что при корректном выполнении работ среднее отклонение модели может составлять 0,03–0,05 мм [3], что является достаточным для эксплуатации и соответствует восьмой степени точности (рисунок 1):

С. 6 ГОСТ 13506—81			Электронная версия								
Степень точности	Обозначение	Модуль m , мм	Длина рейки L , мм								
			До 12	Св. 12 до 20	Св. 20 до 32	Св. 32 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 200	Св. 200 до 315	Св. 315 до 630*
			мкм								
5	F_i'	От 0,1 до < 1,0	$F_i' = F_p + f_i$ (см. примечание 2)								
	F_p	От 0,1 до < 1,0	10	11	12	14	16	19	22	25	32
	F_{pv}	От 0,1 до < 1,0	± 7	± 10	± 11	± 12	± 14	± 16	± 19	± 22	± 25
6	F_i'	От 0,1 до < 1,0	$F_i' = F_p + f_i$ (см. примечание 2)								
	F_p	От 0,1 до < 1,0	16	17	19	22	25	30	36	40	50
	F_{pv}	От 0,1 до < 1,0	± 11	± 16	± 17	± 19	± 22	± 25	± 30	± 35	± 40
7	F_i'	От 0,1 до < 1,0	$F_i' = F_p + f_i$ (см. примечание 2)								
	F_p	От 0,1 до < 1,0	22	24	26	30	35	42	50	56	70
	F_{pv}	От 0,1 до < 1,0	± 18	± 20	± 22	± 25	± 30	± 35	± 40	± 46	± 56
8	F_i'	От 0,1 до < 1,0	$F_i' = F_p + f_i$ (см. примечание 2)								
	F_p	От 0,1 до < 1,0	32	34	38	42	50	60	70	80	100
	F_{pv}	От 0,1 до < 1,0	± 25	± 28	± 30	± 36	± 40	± 50	± 58	± 66	± 80

Рисунок 1 – Таблица степеней точности зубчатых колёс

В процессе выполнения работы мы создали 3D-модель детали на основе её реального образца. Сначала мы очистили деталь и внимательно её осмотрели (рисунок 2, а), после чего выполнили необходимые измерения с помощью штангенциркуля и микрометра. Основное внимание мы уделяли ключевым размерам, от которых зависит точность будущей модели.

Далее полученные размеры мы перенесли в CAD-программу и поэтапно построили твердотельную 3D-модель детали (рисунок 2, б). При моделировании мы использовали как измеренные значения, так и расчётные параметры, чтобы восстановить правильную геометрию детали. В конце мы сравнили модель с исходной деталью и убедились, что точность моделирования достаточна для дальнейшего изготовления.

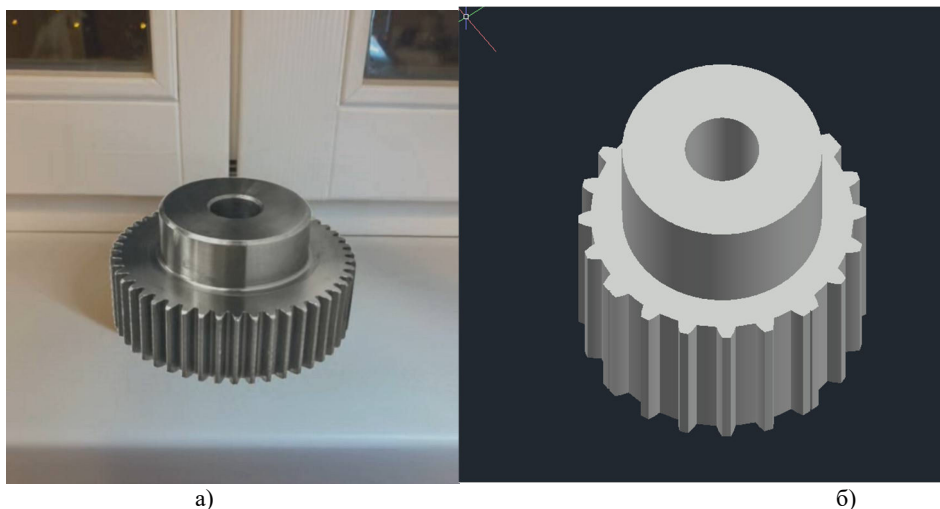


Рисунок 2 – Физический образец шестерни привода масляного насоса автомобиля ГАЗ-24 ранних выпусков (а) и 3D-модель детали, созданная методом обратного инжиниринга (б)

Созданная в процессе обратного инжиниринга 3D-модель физического образца детали является универсальной цифровой основой для её последующего воспроизводства различными технологическими методами. В зависимости от требуемых характеристик, материала и серийности, модель может быть адаптирована под конкретное производство. Например, для изготовления точной копии из металла возможно применение механической обработки на станках с числовым программным управлением (ЧПУ), что обеспечивает высокую точность геометрических параметров. На этапе проверки собираемости и кинематики узла эффективно используется 3D-печать из пластика (FDM или фотополимерная печать), позволяющая быстро получить прототип для контрольной сборки. Для получения готового металлического изделия сложной формы, которую невозможно или экономически нецелесообразно обрабатывать на станках, применяется аддитивное производство из металла. Таким образом, технология обратного инжиниринга позволяет воспроизводить детали, утратившие серийное производство, с точностью, достаточной для их практического применения.

Заключение. В ходе работы рассмотрен процесс обратного инжиниринга простой механической детали: шестерня привода масляного насоса автомобиля ГАЗ-24 ранних выпусков, и показаны этапы преобразования физического образца в цифровую 3D-модель.

Установлено, что обратный инжиниринг представляет собой многостадийную процедуру, включающую подготовку объекта, получение геометрических данных, их обработку и построение CAD-модели. Наиболее распространёнными способами получения размеров являются прямые измерения (точность 0,01–0,05 мм) и 3D-сканирование (до 0,02 мм), выбор которых определяется сложностью детали и требуемой точностью.

Исследование показало, что наибольшую практическую ценность обратный инжиниринг имеет именно для изделий, снятых с производства и не имеющих документации. На примере зубчатой детали продемонстрировано, что корректное восстановление теоретической геометрии обеспечивает возможность последующего изготовления и эксплуатации изделия. Следовательно, обратный инжиниринг можно рассматривать как эффективный инструмент решения проблемы дефицита запасных частей для устаревшего и уникального оборудования. Применение данной технологии позволяет поддерживать работоспособность техники без обращения к производителю, что имеет существенное практическое значение для промышленности, автосервисов и частных пользователей.

Список литературы

1. Карфидов, А. О. Обратный инжиниринг деталей машин и элементов конструкций. Лабораторные работы по 3D-сканированию и реверсивному инжинирингу (N 4671) : учебное пособие / А. О. Карфидов, М. Г. Наумова, И. Г. Морозова, И. А. Емельянов ; НИТУ МИСИС. – Москва : МИСИС, 2025. – 61 с. – URL: http://lib.msk.misis.ru/elib/view.php?id_abs=987784300 (дата обращения: 01.03.2026).
2. Кувшинов, Н. С. Инженерная и компьютерная графика: учебник / Н. С. Кувшинов, Т. Н. Скоцкая. – Москва: ИНФРА-М, 2016. – 318 с.
3. ГОСТ 13506-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые реечные мелко модульные. Допуски. – Москва: Издательство стандартов, 1981. – 31 с.

UDC 621.7/.9:004

REVERSE ENGINEERING OF A SIMPLE MECHANICAL PART: FROM PHYSICAL OBJECT TO 3D MODEL

Sukonkin V.V., Ostrovsky V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Koshman V. D. — Master of Science, Senior Lecturer at the Department of ECG

Annotation. This study examines the reverse engineering process using a simple mechanical component as an example — the transformation of a physical object into a digital 3D-model. The relevance of this method is due to the need to restore parts whose production has been discontinued in the absence of technical documentation.

Keywords: reverse engineering, 3D-model, mechanical part

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ И ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛОВОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЧАСТНОГО ДОМА

Зиангиров А.Ф.

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация*

Научный руководитель: Зинуров В.Э. – к.т.н., и.о. зав кафедрой ИГ

Аннотация. Рассмотрена возможность применения стационарного высокотемпературного теплового накопителя энергии в системе водяного отопления частного дома, расположенного в негазифицированном регионе. Выполнена укрупнённая оценка суточной тепловой потребности здания, требуемой энергоёмкости накопителя и мощности его ночной зарядки. Представлена схема экспериментальной установки для исследования теплофизических характеристик теплоаккумулирующих материалов. На основе полученных параметров рассмотрено параметрическое моделирование конструкции теплового накопителя в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D. Показано, что применение тепловых накопителей позволяет переносить значительную часть электропотребления на ночной период и снижать пиковые нагрузки на энергосистему.

Ключевые слова: тепловой накопитель энергии, электроотопление, теплоаккумулирующие материалы, параметрическое моделирование, КОМПАС-3D

Введение. Повышение эффективности использования электрической энергии в системах отопления является одной из актуальных задач современной энергетики. В условиях роста тарифов на энергоресурсы и увеличения доли электроотопления в жилом секторе особое значение приобретает задача сглаживания суточных графиков потребления электроэнергии [4].

Одним из эффективных способов решения данной задачи является использование систем аккумулирования тепловой энергии. Тепловые накопители позволяют запасать энергию в периоды минимальной нагрузки энергосистемы, например в ночные часы, и использовать её в дневное время для обеспечения отопления зданий [5].

В последние годы значительное внимание уделяется разработке высокотемпературных тепловых накопителей, в которых тепло аккумулируется в твёрдотельных материалах при температурах до 800–900 °С. Такие устройства обладают высокой удельной энергоёмкостью и могут иметь меньшие габариты по сравнению с традиционными водяными аккумуляторами тепла [1].

Разработка подобных систем требует проведения как теплотехнических расчётов, так и инженерного проектирования конструкции. В современных условиях важную роль играет применение систем автоматизированного проектирования, позволяющих создавать параметрические модели оборудования и анализировать различные варианты компоновки [7].

Целью настоящей работы является укрупнённая оценка параметров высокотемпературного теплового накопителя энергии для системы отопления частного дома площадью 100 м², а также анализ конструкции экспериментальной установки и рассмотрение параметрического моделирования накопителя в системе КОМПАС-3D.

Основная часть. В качестве расчётного объекта принят жилой дом площадью 100 м² с традиционной водяной системой отопления. Для укрупнённой инженерной оценки удельная тепловая нагрузка здания принята равной 80 Вт/м², что соответствует значениям, характерным для утеплённых жилых зданий средней полосы России [6].

Расчётная тепловая мощность системы отопления определяется выражением (1):

$$Q = q \cdot S, \quad (1)$$

806

где q – удельная тепловая нагрузка здания, Вт/м²;

S – площадь здания, м².

Для рассматриваемого дома:

$$Q = 80 \cdot 100 = 8000 \text{ Вт.}$$

Таким образом, максимальная тепловая мощность системы отопления составляет около 8 кВт.

Практический опыт эксплуатации систем отопления показывает, что средняя тепловая нагрузка здания в течение суток обычно составляет около 65–70 % от расчётной величины [6]. В этом случае средняя мощность системы отопления может быть принята равной приблизительно 5,5 кВт.

Суточная потребность здания в тепловой энергии определяется по формуле 2:

$$E = P \cdot t, \quad (2)$$

где P – средняя тепловая мощность системы отопления;

t – продолжительность расчётного периода.

При $t = 24$ ч получаем:

$$E = 5,5 \cdot 24 = 132 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

При расчёте параметров теплового накопителя необходимо учитывать теплопотери и потери передачи теплоты от аккумулирующего блока к теплоносителю, а также эффективность теплоизоляции конструкции накопителя [3]. Если принять общий коэффициент полезного использования запасённой теплоты равным 0,85, то требуемый запас энергии внутри накопителя составит:

$$E_{\text{нак}} = \frac{132}{0,85} \approx 155 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Следовательно, энергоёмкость высокотемпературного теплового накопителя для рассматриваемого здания должна составлять порядка 150–160 кВт·ч.

При использовании двухтарифной системы электроснабжения зарядка накопителя может осуществляться преимущественно в ночные часы. Если продолжительность ночного периода принять равной 8 ч, то требуемая мощность электрических нагревателей определяется как:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{155}{8} \approx 19 \text{ кВт.}$$

Таким образом, установленная мощность нагревательных элементов может составлять около 20–22 кВт.

Для исследования тепловых процессов и теплофизических характеристик теплоаккумулирующих материалов используется экспериментальная установка теплового накопителя, схема которой представлена на рисунке 1.

В экспериментальной установке нагрев осуществляется электрическим нагревательным элементом в виде фехральной спирали, размещённой внутри керамической трубки.

Пространство вокруг нагревателя заполнено корундовым порошком, выполняющим функцию теплоаккумулирующего материала.

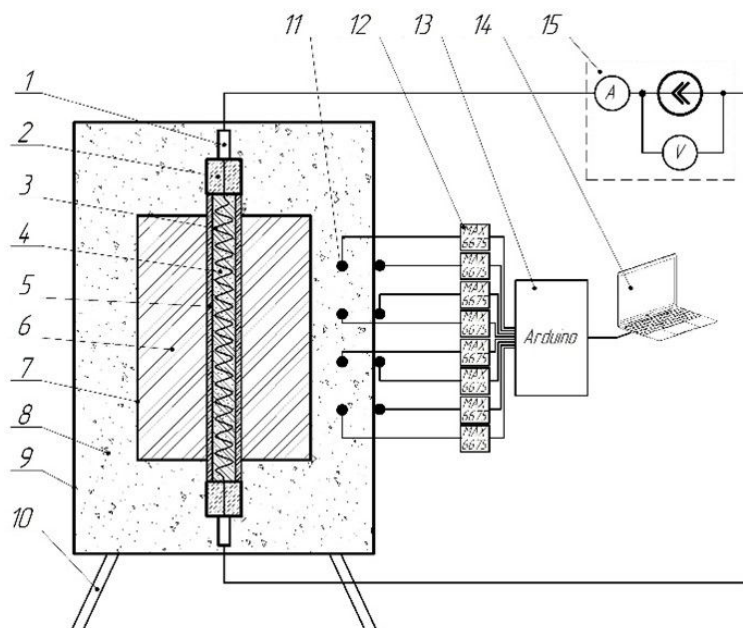


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки теплового накопителя:

1 – клеммная колодка; 2 – пробка; 3 – нить нагрева; 4 – корундовый порошок; 5 – трубка керамическая; 6 – теплоаккумулирующий материал; 7 – цилиндрический корпус; 8 – теплоизоляционный материал; 9 – оболочка; 10 – опора; 11 – термопары; 12 – измерительные модули; 13 – контроллер; 14 – компьютер; 15 – источник тока

Температурный режим контролируется термопарами типа К, установленными на различных уровнях слоя. Сигналы с термопар поступают в измерительные модули и далее передаются на контроллер и компьютер для регистрации и обработки данных.

Подобные экспериментальные установки позволяют исследовать теплопроводность и тепловой режим сыпучих материалов при высоких температурах, а также оценивать влияние плотности упаковки и структуры материала на процессы теплопереноса [1,2].

Разработка конструкций тепловых накопителей требует проведения компоновочных расчётов и анализа геометрических параметров устройства. Для решения данной задачи используется параметрическое моделирование в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D.

Параметрическая модель теплового накопителя позволяет задавать основные конструктивные параметры устройства, включая:

- диаметр цилиндрического корпуса;
- высоту теплоаккумулирующего слоя;
- толщину теплоизоляции;
- объём теплоаккумулирующего материала;
- расположение нагревательных элементов.

Изменение указанных параметров приводит к автоматическому перестроению геометрии модели. Это позволяет быстро анализировать различные конструктивные варианты теплового накопителя, оценивать габаритные размеры и проводить предварительную оптимизацию конструкции.

Использование параметрического моделирования облегчает разработку теплотехнического оборудования и является важным этапом подготовки конструкторской документации при проектировании энергетических установок [7].

Заключение. В работе выполнена укрупнённая оценка параметров высокотемпературного теплового накопителя энергии для системы отопления частного дома

площадью 100 м². Показано, что расчётная тепловая мощность системы отопления составляет около 8 кВт, а средняя суточная потребность в тепловой энергии – порядка 132 кВт·ч.

Установлено, что для полного покрытия суточной тепловой нагрузки энергоёмкость теплового накопителя должна составлять около 150–160 кВт·ч. При ночной зарядке продолжительностью 8 часов требуемая мощность нагревательных элементов составляет около 20 кВт.

Рассмотрена конструкция экспериментальной установки для исследования теплоаккумулирующих материалов. Показано, что применение параметрического моделирования в системе КОМПАС-3D позволяет эффективно выполнять предварительное проектирование тепловых накопителей и анализировать различные варианты их конструкции.

Исследование выполнено в рамках гранта Академии Наук Республики Татарстан на поддержку программ развития передовых инженерных школ республиканского значения «ТурбоПИШ», соглашение 1РПИШ от 19.12.2025 г.

Список литературы

1. Оценка процесса переноса энергии в тепловом накопителе с высокотемпературным рабочим телом при его разрядке / А. Н. Чадаев, А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2024. – Т. 24, № 4. – С. 73-85. – DOI 10.14529/power240409. – EDN XJZJKR.
2. Численное моделирование нагрева теплового накопителя энергии для обогрева тепличного хозяйства / А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, М. О. Уткин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2025. – Т. 20, № 1(77). – С. 47-53. – DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-47-53. – EDN PCSCQF.
3. Алгоритм расчета многослойной системы теплоизоляции теплового накопителя энергии с высокотемпературным рабочим телом / А. Н. Чадаев, А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2024. – Т. 26, № 6. – С. 166-179. – DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-6-166-179. – EDN JNGEHY.
4. Duffie J. A., Beckman W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. – John Wiley & Sons, 2013.
5. Sharma A. et al. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications // *Renewable and Sustainable energy reviews*. – 2009. – Т. 13. – №. 2. – С. 318-345.
6. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. – М.: Минрегион России, 2012.
7. Системы автоматизированного проектирования машин и оборудования. В 2 ч. Ч. 1. Основы двумерного проектирования деталей машин в системе КОМПАС-ГРАФИК учеб.-метод. пособие к лаб. работам по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» / А. А. Гарабашу. – Мн. : БГТУ, 2006. – 145 с.

UDC 697.24:621.311.22:004.92

ASSESSMENT OF PARAMETERS AND PARAMETRIC MODELING OF A HIGH-TEMPERATURE THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEM FOR A PRIVATE HOUSE HEATING SYSTEM

Ziangirov A.F.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

Scientific supervisor: Zinurov V.E. – Cand. of Sci., acting head of the department of EG

Annotation. This article examines the feasibility of using a stationary high-temperature thermal energy storage device in a domestic hot water heating system for a private home located in a region without gasification. A comprehensive assessment of the building's daily heating demand, the required energy capacity of the storage device, and its nighttime charging capacity is provided. A schematic of an experimental setup for studying the thermophysical properties of heat-storage materials is presented. Based on the obtained parameters, parametric modeling of the storage device design is considered using the KOMPAS-3D automated design system. It is demonstrated that the use of thermal storage devices allows for the transfer of a significant portion of electricity consumption to the nighttime period, reducing peak loads on the power grid.

Keywords: thermal energy storage, electric heating, heat-storage materials, parametric modeling, KOMPAS-3D

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ТУРБИННОГО КОЛЕСА С ИЗОГНУТЫМИ ЛОПАСТЯМИ

Мугинов А.М., Мугинова А.И.

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация*

Научный руководитель: Зинуров В.Э. – к.т.н., и.о. заведующего кафедры ИГ

Аннотация. В статье представлена методика параметрического проектирования цифровой модели турбинного колеса с изогнутыми лопастями в системе «КОМПАС-3D». Геометрия модели задаётся системой взаимосвязанных параметров, используемых при построении эскизов и операциях твердотельного моделирования. Получена параметрическая 3D-модель турбинного колеса, позволяющая изменять геометрические характеристики конструкции путём корректировки параметров.

Ключевые слова: параметрическая модель, турбинное колесо, изогнутые лопасти, САПР КОМПАС-3D, цифровое проектирование

Введение. Развитие цифровых технологий инженерного моделирования и автоматизированного проектирования усиливает роль параметрических методов при создании геометрически сложных элементов энергетических машин [1]. В энергетическом машиностроении значительное место занимают турбинные колеса с изогнутыми лопастями, форма которых определяется совокупностью взаимосвязанных геометрических параметров и требует точного воспроизводства в цифровой среде [2]. Геометрия таких элементов характеризуется пространственной кривизной профилей, изменением углов установки и параметров распределения сечений вдоль радиуса, что усложняет процесс их формализованного описания в средах автоматизированного проектирования. При создании цифровых моделей подобных объектов необходимо учитывать взаимозависимость параметров профиля лопатки, геометрии ступицы и обода колеса, а также условия их сопряжения в единой конструктивной структуре. Это обуславливает необходимость использования параметрического подхода, позволяющего задавать геометрию через систему управляемых параметров и зависимостей. При этом для образовательных задач сохраняется дефицит методически структурированных подходов к построению параметрических моделей таких объектов [3]. В связи с этим целью исследования является разработка методики проектирования параметрической цифровой модели турбинного колеса с изогнутыми лопастями для учебных задач.

В данной статье автором описана методика построения параметрической 3D-модели турбинного колеса в системе автоматизированного проектирования. Представленная методика ориентирована на последовательное формирование геометрии основных конструктивных элементов колеса на основе заданного набора параметров. Реализация предложенного подхода обеспечивает возможность изменения геометрических характеристик модели без перестроения всей структуры построений. Это позволяет использовать разработанную модель в учебном процессе при освоении методов параметрического моделирования сложных машиностроительных объектов.

Основная часть. В ходе работы применялось специализированное программное обеспечение (ПО) «КОМПАС-3D», широко используемое для решения технических и научно-практических задач [4, 5]. Данная система автоматизированного проектирования предназначена для разработки трехмерных геометрических моделей изделий и подготовки конструкторской документации. Использование CAD-средств позволяет выполнять геометрическое моделирование и визуализацию объектов различной сложности, что расширяет возможности инженерного анализа. В образовательной практике программный комплекс применяется при изучении графических дисциплин и формировании навыков работы с цифровыми средствами проектирования [4]. Функциональные возможности системы включают инструменты построения трехмерных моделей, выполнения расчетов и подготовки проектной документации [5]. Применение данного программного комплекса способствует повышению точности моделирования и ускоряет процесс разработки инженерных решений.

Для проектирования цифровой модели турбинного колеса применялся метод параметрического моделирования, реализуемый в системе автоматизированного проектирования «КОМПАС-3D». Параметрическое моделирование основано на описании геометрии изделия через систему числовых параметров, определяющих размеры и взаимное расположение элементов конструкции. При построении параметрической модели значения размеров задаются не фиксированными числовыми величинами, а переменными. Эти переменные используются как при определении размеров геометрических элементов эскизов, так и при задании параметров операций твердотельного моделирования. В результате параметры эскизов и параметры операций формируют единую систему взаимосвязанных переменных, которая определяет геометрию модели и позволяет изменять её путем корректировки значений соответствующих параметров. В среде «КОМПАС-3D» все введенные переменные отображаются в отдельном окне параметров (рисунок 1), предназначенном для управления параметрической структурой модели. В данном окне пользователь может создавать новые переменные, задавать их числовые значения и использовать их при определении размеров эскизов и параметров операций моделирования. Кроме того, между переменными могут задаваться зависимости с использованием математических выражений. Это позволяет формализовать взаимосвязь геометрических характеристик модели и обеспечить согласованное изменение параметров при модификации конструкции.

	Имя	Выражение	Значение	Параметр	Комментарий
▼ Турбинное колесо (Тел-1)					
	d	20	20		
	D	28	28		
i	h	D	28		
i	z	a/360	0.125		
	s	2.5	2.5		
	l	21	21		
	a	45	45		
	n	8	8		

Рисунок 1 – Окно параметров в ПО «КОМПАС-3D»

На первом этапе сформирован эскиз диска, определяющий базовую геометрию колеса. Основными параметрами данного элемента являются внешний диаметр D и диаметр посадочного отверстия под вал d . По построенному эскизу выполнена операция твердотельного выдавливания, в результате которой сформирован венец турбинного колеса. Ширина венца h задавалась параметрически и определялась согласно формуле 1.

$$h = D. \quad (1)$$

На втором этапе построен эскиз поперечного сечения лопасти с параметрами длины l и ширины s . Для задания пространственной формы лопасти сформирована траектория изгиба с использованием инструмента «спираль цилиндрическая». При её построении задавались ширина венца h и число витков z , определяющее степень закрутки лопасти. Значение параметра z связано с углом изгиба лопасти a и рассчитывалось по упрощённой зависимости 2:

$$z = \frac{a}{360} \quad (2)$$

На основе сформированного эскиза и заданной траектории выполнена операция построения элемента по траектории. После формирования одной лопасти остальные элементы получены с использованием инструмента «массив по концентрической сетке», в котором задавалось количество лопастей n . В результате сформирована параметрическая трёхмерная модель турбинного колеса (рисунок 2).

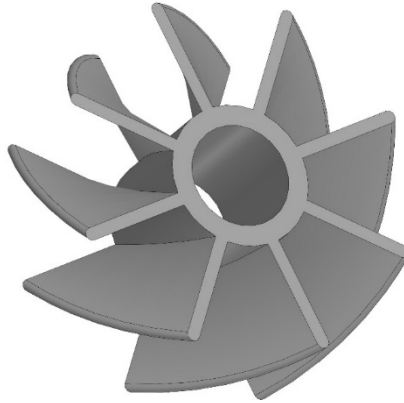


Рисунок 2 – Параметрическая 3D-модель турбинного колеса при $d=20$ мм, $D=28$ мм, $\alpha=45^\circ$, $s=2,5$

Заключение. Таким образом, разработана методика параметрического проектирования цифровой модели турбинного колеса с изогнутыми лопастями в среде САПР «КОМПАС-3D», основанная на использовании системы взаимосвязанных переменных, применяемых при построении эскизов и операциях твердотельного моделирования. Параметрическая структура модели формируется на основе ключевых геометрических параметров конструкции, включая внешний диаметр колеса D , диаметр посадочного отверстия d , ширину венца h , а также параметры лопасти l , s , угол изгиба α и число витков траектории z . Полученная параметрическая модель обеспечивает возможность изменения геометрических характеристик турбинного колеса путем корректировки параметров без перестроения структуры построений. Разработанный подход может применяться в учебном процессе при изучении методов параметрического моделирования сложных машиностроительных объектов и освоении инструментов цифрового проектирования. Исследование выполнено в рамках гранта Академии Наук Республики Татарстан на поддержку программ развития передовых инженерных школ республиканского значения «ТурбоПИШ», соглашение ИРПИШ от 19.12.2025 г.

Список литературы

1. Parametric design and multiple objective intelligent optimization of marine nuclear turbine aerothermodynamics under variable conditions / L. Zhang, G. Chen, Yu. A. Shi, L. Xie // *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15, No 1. P. 24813. DOI: 10.1038/s41598-025-04520-4.
2. Ferhatoglu E., Botto D., Zucca S. Parametric study for model calibration of a friction-damped turbine blade with multiple test data // *Nonlinear Dynamics*. 2024. Vol. 112, No 10. P. 7847–7873. DOI: 10.1007/s11071-024-09396-z.
3. Хоанг К. К. Метод построения обучающего курса САПР // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2022. Т. 49, № 2. С. 76–86. DOI: 10.21822/2073-6185-2022-49-2-76-86.
4. Агапов М. Е., Мусиенко О. А., Ширлина И. И. Компьютерное моделирование в изучении геометро-графических дисциплин // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура»*. 2024. Т. 24, № 1. С. 70–77. DOI: 10.14529/build240109.
5. Важдиев К. В., Мартышева В. А., Аллабердин А. Б. и др. Использование отечественных программных продуктов 3D моделирования при проектировании инженерных сетей // *Строительство и техногенная безопасность*. 2024. № 34(86). С. 51–58.

UDC 658.512.2:621.438

PARAMETRIC DESIGN OF A DIGITAL MODEL OF A TURBINE WHEEL WITH CURVED BLADES

Muginov A.M., Muginova A.I.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

Zinurov V.E. – Cand. of Sci., Acting Head of the Department of EG

Annotation. The article presents a method of parametric design of a digital model of a turbine wheel with curved blades in the COMPASS-3D system. The geometry of the model is defined by a system of interrelated parameters used in the construction of sketches and solid modeling operations. A parametric 3D model of a turbine wheel has been obtained, which allows for the modification of the geometric characteristics of the structure by adjusting the parameters.

Keywords: parametric model, turbine wheel, curved blades, CAD COMPASS-3D, digital design

РАЗРАБОТКА ИНЖЕНЕРНОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА МУЛЬТИВИХРЕВОГО КЛАССИФИКАТОРА ДЛЯ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Прец М. А., Вдовина В. А.

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация*

Научный руководитель: Зинуров В. Э. – к.т.н., и. о. зав. кафедрой ИГ

Аннотация. В статье представлены результаты разработки инженерной методики расчета мультिवихревого классификатора с соосно расположенными трубами для фракционирования мелкодисперсных сыпучих материалов. Подробно описан процесс создания параметрической CAD-модели аппарата в среде КОМПАС-3D, позволивший оперативно генерировать множество конструктивных вариантов для последующего численного моделирования в ANSYS Fluent. На основе анализа данных CFD-моделирования выявлены зависимости фракционной эффективности от геометрических параметров.

Ключевые слова: мультिवихревой классификатор, фракционирование, параметрическое моделирование, КОМПАС-3D, численное моделирование, CFD

Введение. Современное производство предъявляет всё более высокие требования к качеству переработки сыпучих материалов, особенно в таких отраслях, как химическая промышленность, фармацевтика, производство строительных смесей, агропромышленный комплекс и экологическая инженерия [1]. Одной из ключевых технологических операций в этих процессах является классификация – разделение материала по размеру частиц. Эффективность данного этапа определяет не только качество конечной продукции, но и экономичность, безопасность и устойчивость всего производственного цикла.

Особую сложность представляет фракционирование мелкодисперсных частиц размером менее 60-100 мкм. Традиционные методы разделения, такие как механическое просеивание, гравитационные и инерционные сепараторы, циклоны, обладают рядом ограничений: от износа оборудования и невысокой селективности до больших энергетических затрат и низкой эффективности в указанном диапазоне размеров [2]. В связи с этим возрастает интерес к использованию инерционных методов, основанных на динамике движения частиц в закрученных газовых потоках, не требующих подвижных частей и отличающихся высокой надёжностью.

Основная часть. Для решения проблем классификации мелкодисперсных материалов разработан мультिवихревой классификатор с соосно расположенными трубами (рисунок 1). Данный аппарат является статическим устройством, не содержит подвижных элементов, а разделение частиц происходит исключительно за счёт центробежных и инерционных сил, возникающих при движении закрученного газового потока.

Принцип работы классификатора строится на разделении основного воздушного потока с образованием дополнительных вихрей. Воздух с взвешенными частицами поступает через вертикальную трубу. В нижней части этой трубы выполнены вертикальные прямоугольные щели, через которые газовый поток поступает в кольцевое пространство между внутренней и наружной трубами. Благодаря такой организации потока формируются устойчивые вертикальные вихри, количество которых в два раза превышает число щелей. Вихри располагаются касательно по отношению друг к другу, что обеспечивает их взаимную закрутку и интенсификацию вращательного движения. В результате воздействия центробежных сил крупные частицы выбиваются из общего потока, сталкиваются со стенками наружной трубы и под действием силы тяжести падают в бункер сбора крупной фракции. Мелкие частицы, обладающие меньшей инерцией, не способны преодолеть аэродинамическое сопротивление и уносятся воздушным потоком на дальнейшую очистку в циклоны и фильтры.

Стенки наружной трубы выполнены закруглёнными, что исключает зоны локального отрыва потока и повторный унос материала.

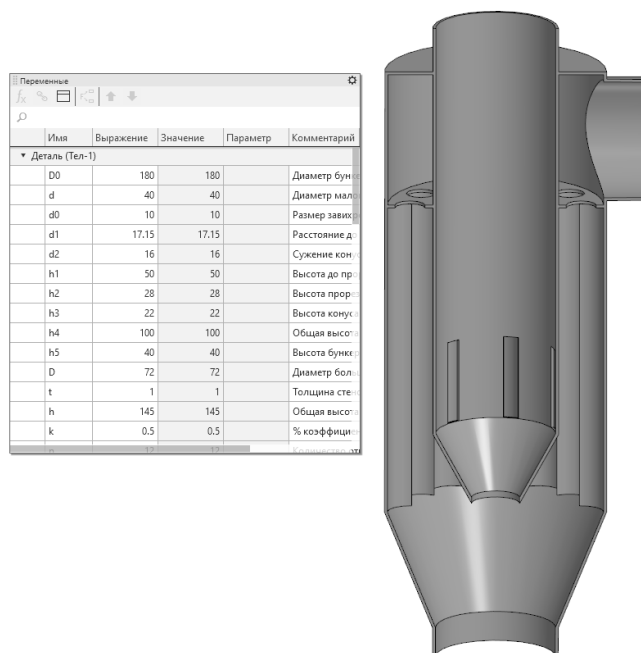


Рисунок 1 – Параметрическая модель мультивихревого классификатора (в разрезе).

Целью настоящей работы является создание инженерной методики расчета мультивихревого классификатора, позволяющей по заданному размеру граничного зерна (т.е. крупности частиц, подлежащих выделению) определять основные геометрические размеры конструкции аппарата. Такая методика необходима для оперативного проектирования оборудования под конкретные технологические задачи без проведения длительных и дорогостоящих экспериментальных исследований.

На первом этапе для определения базовой конструкции аппарата и выявления влияния геометрических параметров на эффективность разделения было выполнено численное моделирование в программном комплексе ANSYS Fluent. В процессе CFD-моделирования варьировались следующие параметры: диаметры внутренних и наружных труб, размеры, положение и степень раскрытия вертикальных щелей, высота основных элементов аппарата и др.

Учитывая большое количество исследуемых вариантов конструкции, было принято решение о создании параметрической модели в среде КОМПАС-3D [3]. Модель строилась таким образом, чтобы все основные размеры задавались не числами, а буквенными параметрами и формулами с зависимостями. В результате была сформирована таблица переменных, изменение значений в которой позволяло автоматически перестраивать геометрию аппарата, что значительно ускорило процесс подготовки данных для последующих расчетов.

Готовая CAD-модель экспортировалась в ANSYS Fluent для проведения сеточной дискретизации и последующего численного эксперимента. Для повышения точности расчетов и снижения вычислительных затрат использовалась осевая симметрия – моделирование проводилось для одного характерного сектора кольцевого канала.

В ходе численных экспериментов были получены зависимости фракционной эффективности от конструктивных параметров при различных входных условиях. Результаты моделирования подтвердили, что при определённой конфигурации устройства возможно достичь эффективности фракционирования свыше 95 % для частиц размером 20–40 мкм [4]. На основе анализа результатов CFD-моделирования были установлены количественные

зависимости геометрических размеров базовой конструкции от требуемого размера граничного зерна [5]. Полученные данные легли в основу разрабатываемой инженерной методики расчета. В докладе будет представлена инженерная методика расчета классификатора, включающая критериальные уравнения, позволяющие определить основные размеры аппарата, а также методики технико-экономического и эрозионного расчетов, необходимые для оценки эффективности и надежности работы оборудования в реальных условиях эксплуатации.

Закключение. В результате проведенных исследований разработана параметрическая модель мультивихревого классификатора и выполнена серия численных экспериментов по оценке влияния геометрических параметров на его эффективность. Установлены конструктивные зависимости, обеспечивающие эффективность фракционирования свыше 95 % для частиц размером 20–40 мкм. На основе полученных данных сформулированы основы инженерной методики расчета аппарата под заданный размер граничного зерна, что позволяет перейти к проектированию промышленных образцов оборудования.

Исследование выполнено в рамках гранта Академии Наук Республики Татарстан на поддержку программ развития передовых инженерных школ республиканского значения «ТурбоПИШ», соглашение 1РПИШ от 19.12.2025 г.

Список литературы

1. Прец, М. А. Исследование влияния изменения размеров прямоугольных щелей классификатора на эффективность улавливания частиц / М. А. Прец, А. М. Музинов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2025. – № 206. – С. 242-249. – DOI 10.21515/1990-4665-206-020.
2. The Influence of the Design of a Static Multi-Vortex Classifier on the Efficiency Fractionation of Silica Gel Particles / V. E. Zinurov, A. V. Dmitriev, O. S. Dmitrieva, A. M. Muginov // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2024. – Vol. 58, No. 3. – P. 645-650. – DOI 10.1134/s0040579524600992.
3. Прец, М. А. Разработка параметрической модели мультивихревого классификатора для фракционирования твердых частиц / М. А. Прец, А. М. Музинов, А. И. Юмадилова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 203. – С. 280-288. – DOI 10.21515/1990-4665-203-025.
4. Эффективность фракционирования мелкодисперсного сыпучего материала в мультивихревом классификаторе при изменении конструктивных параметров / М. А. Прец, В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, В. А. Вдовина // Вестник Технологического университета. – 2025. – Т. 28, № 7. – С. 128-133. – DOI 10.55421/3034-4689_2025_28_7_128.
5. Фракционирование твердой дисперсной фазы в воздушном потоке в мультивихревом классификаторе / М. А. Прец, В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, А. М. Музинов // Башкирский химический журнал. – 2025. – Т. 32, № 3. – С. 107-115. – DOI 10.17122/bcj-2025-3-107-115.

UDC 66.074.2

DEVELOPMENT OF AN ENGINEERING METHODOLOGY FOR CALCULATING A MULTI-VORTEX CLASSIFIER FOR FRACTIONATION OF BULK MATERIALS

Prets.M.A., Vdovina V.A.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

Zinurov. V.E. – Cand. of Sci., Acting Head of the department of EG

Annotation. The article presents the results of developing an engineering methodology for calculating a multi-vortex classifier with coaxial pipes for fractionation of fine-grained bulk materials. The process of creating a parametric CAD model of the apparatus in the КОМПАС-3D environment is described in detail, which made it possible to quickly generate a variety of design options for subsequent numerical modeling in ANSYS Fluent. Based on the analysis of CFD modeling data, the dependencies of fractional efficiency on geometric parameters were identified.

Keywords: multi-vortex classifier, fractionation, parametric modeling, КОМПАС-3D, numerical modeling, CFD

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АБСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Зинурова К.И.

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация*

Научный руководитель: Якимов Н.Д. – д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры АТПП

Аннотация. Выполнен укрупнённый расчёт параметров одноступенчатой абсорбционной холодильной машины для энергетического объекта. Определены тепловая нагрузка на генератор, величина отводимой теплоты и расходы воды по внешним контурам. Показана пригодность АХМ для использования низкопотенциальной теплоты.

Ключевые слова: абсорбционная холодильная машина, энергетический объект, тепловая нагрузка, низкопотенциальная теплота

Введение. В современных энергетических системах всё более актуальной становится задача повышения степени использования первичных энергетических ресурсов. Значительная часть тепловой энергии на промышленных и коммунально-энергетических объектах в тёплый период года используется не полностью, а часть низкопотенциальной теплоты вовсе не находит полезного применения [1]. В этих условиях особый интерес представляют технологии, позволяющие преобразовывать доступную теплоту в востребованный энергетический продукт, в частности в холод для систем кондиционирования воздуха, технологического охлаждения и обеспечения требуемых температурных режимов оборудования [2].

Одним из наиболее перспективных решений для таких условий являются абсорбционные холодильные машины. В отличие от традиционных парокомпрессионных установок, в которых основная доля затрат связана с потреблением электрической энергии компрессором, абсорбционные системы используют в качестве движущего энергетического фактора теплоту внешнего источника. Это делает их особенно привлекательными для энергетики, где возможно использование горячей воды, водяного пара, вторичных тепловых выбросов, а также теплоты, получаемой от когенерационных и тригенерационных установок. Применение АХМ позволяет не только повысить общую энергетическую эффективность объекта, но и снизить нагрузку на электрические сети в периоды пикового спроса на холод [3].

Наибольшее распространение в системах централизованного холодоснабжения и энергетических установках получили одноступенчатые абсорбционные машины на рабочей паре вода – бромид лития. Их преимуществами являются конструктивная отработанность, возможность работы на низкопотенциальной теплоте и сравнительно невысокое потребление электроэнергии вспомогательным оборудованием. Вместе с тем эффективность их применения определяется согласованностью параметров источника теплоты, охлаждающего контура и потребителя холода [4]. Поэтому уже на начальном этапе проектирования требуется инженерная оценка основных энергетических характеристик установки: холодильной мощности, тепловой нагрузки на генератор, количества отводимой теплоты и расходов теплоносителей по внешним контурам [5].

Целью настоящей работы является оценка параметров одноступенчатой абсорбционной холодильной машины для условий энергетического объекта при заданной холодильной мощности.

Основная часть. В качестве расчётной схемы в работе рассматривается одноступенчатая абсорбционная холодильная машина на рабочей паре вода – бромид лития. Выбор именно такой схемы обусловлен тем, что установки данного типа являются одними из наиболее распространённых в энергетических и коммунально-промышленных системах, где

имеется источник низкопотенциальной или вторичной теплоты. В подобных машинах вода выполняет функцию хладагента, а раствор бромида лития служит абсорбентом. Работа установки основана на том, что процесс получения холода обеспечивается не механическим сжатием хладагента, как в парокомпрессионных системах, а за счёт подвода теплоты к генератору и последующего протекания процессов десорбции, конденсации, дросселирования, испарения и абсорбции.

В качестве исходных данных была принята холодильная мощность установки 120 кВт. Данное значение можно рассматривать как характерное для локального энергетического объекта, где требуется обеспечить охлаждение воздуха, технологической среды либо отдельных элементов оборудования. Коэффициент преобразования АХМ был принят равным 0,72, что соответствует типичному уровню эффективности одноступенчатых литий-бромидных машин при работе в стандартных условиях. Дополнительно были заданы температурные графики по внешним контурам: для охлаждаемой воды – 12/7 °С, для греющей воды, подводимой к генератору, – 95/85 °С, для охлаждающей воды, обеспечивающей отвод теплоты от конденсатора и абсорбера, – 30/35 °С. Такой набор исходных параметров позволяет выполнить расчёт основных тепловых потоков и определить ориентировочные расходы воды по каждому из контуров.

На первом этапе была определена тепловая нагрузка на генератор. Поскольку коэффициент преобразования абсорбционной холодильной машины представляет собой отношение полезной холодильной мощности к теплоте, подводимой к генератору, требуемая тепловая мощность источника может быть найдена делением холодильной мощности на значение COP. При холодильной мощности 120 кВт и коэффициенте преобразования 0,72 расчётная нагрузка на генератор составила 166,7 кВт. Иными словами, для получения 120 кВт холода требуется подвести к генератору около 167 кВт тепловой энергии. Этот результат имеет принципиальное значение для энергетической оценки установки, поскольку именно он показывает минимальный уровень доступного теплового ресурса, необходимого для устойчивой работы АХМ в заданном режиме.

Следующим этапом была выполнена оценка суммарного потока теплоты, который должен быть отведён в окружающую среду через контур охлаждающей воды. В абсорбционной холодильной машине подведённая к генератору теплота и получаемая в испарителе холодильная мощность в конечном итоге превращаются в общий поток теплоты, удаляемый в конденсаторе и абсорбере. Поэтому в первом приближении этот поток может быть определён как сумма холодильной мощности и тепловой нагрузки на генератор. В рассматриваемом случае величина отводимой теплоты составила 286,7 кВт. Полученное значение показывает, что система охлаждения АХМ должна быть рассчитана на достаточно значительный тепловой поток, причём по абсолютной величине он существенно превышает полезную холодильную мощность установки. Это характерная особенность абсорбционных машин, которую необходимо учитывать при проектировании градирен, теплообменников и водооборотных контуров.

После определения основных тепловых потоков были рассчитаны расходы воды по внешним контурам. Для этого использовалось стандартное инженерное соотношение, связывающее тепловую нагрузку, теплоёмкость воды, температурный перепад и массовый расход. На стороне испарителя был определён расход охлаждаемой воды, для которой принят температурный график 12/7 °С, то есть перепад температур составил 5 °С. При таких условиях массовый расход охлаждаемой воды оказался равным 5,73 кг/с. Этот параметр характеризует пропускную способность контура холодоснабжения и может использоваться при выборе насосного оборудования, трубопроводов и теплообменных аппаратов потребителя холода.

Далее аналогичным образом был найден расход греющей воды, подводимой к генератору. Поскольку тепловая нагрузка генератора ранее была определена как 166,7 кВт, а температурный перепад в греющем контуре составляет 10 °С, расчётный расход горячей воды оказался равным 3,98 кг/с. Следовательно, для обеспечения стабильной работы АХМ необходим источник теплоты, способный подавать почти 4 кг/с воды температурного уровня

порядка 95 °С. Это может быть сетевая вода, вода от котельной, утилизированная теплота технологического процесса либо другой подходящий теплоноситель с близкими параметрами.

Наиболее значительным по расходу оказался контур охлаждающей воды, предназначенный для отвода теплоты из конденсатора и абсорбера. При суммарном тепловом потоке 286,7 кВт и температурном перепаде 5 °С расчётный расход охлаждающей воды составил 13,69 кг/с. Это значение заметно превышает расходы в двух других контурах, что объясняется необходимостью удаления не только теплоты, связанной с выработкой холода, но и всей теплоты, подведённой к генератору. С инженерной точки зрения именно охлаждающий контур во многом определяет габариты и эксплуатационные требования к системе, так как при недостаточной эффективности теплоотвода работа абсорбционной машины становится нестабильной, а её энергетические показатели ухудшаются.

Заключение. Проведённый укрупнённый расчёт позволил определить ключевые энергетические параметры одноступенчатой АХМ при заданной холодильной мощности 120 кВт. Было установлено, что для обеспечения такой холодопроизводительности требуется подвод к генератору 166,7 кВт теплоты, а суммарный поток теплоты, отводимый в систему охлаждения, достигает 286,7 кВт. При этом расходы воды по контурам составляют: для охлаждаемой воды 5,73 кг/с, для греющей воды 3,98 кг/с, для охлаждающей воды 13,69 кг/с. Полученные результаты дают возможность не только оценить энергетическую целесообразность применения АХМ, но и определить исходные требования к сопрягаемым системам энергетического объекта.

Список литературы

1. Florides G.A., Kalogirou S.A., Tassou S.A., Wrobel L.C. Design and construction of a LiBr–water absorption machine // *Energy Conversion and Management*. 2003. Vol. 44. No. 15. P. 2483–2508. DOI: 10.1016/S0196-8904(03)00006-2.
2. Tawalbeh M., Al-Othman A., Badran O., et al. Parametric Study of a Single Effect Lithium Bromide-Water Absorption Chiller Powered by a Renewable Heat Source // *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 2020. Vol. 8. No. 3. P. 504–519.
3. Marashli A., Alfanatseh Y., Qoaider L., et al. Modelling single-effect of Lithium Bromide-Water (LiBr–H₂O) driven by an evacuated solar tube collector in Ma'an city (Jordan): case study // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2022. Vol. 36. Art. 102200. DOI: 10.1016/j.csite.2022.102200.
4. Fischer Y.R., Dutra J.C.C., Rohatgi J. Thermodynamic modelling of a LiBr-H₂O absorption chiller by improvement of characteristic equation method // *International Journal of Refrigeration*. 2020. Vol. 120. P. 420–429. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2020.08.021.
5. Talbi M.M., Agnew B. Exergy analysis: an absorption refrigerator using lithium bromide and water as the working fluids // *Applied Thermal Engineering*. 2000. Vol. 20. No. 7. P. 619–630. DOI: 10.1016/S1359-4311(99)00052-6.

UDC 621.57

ASSESSMENT OF THE ENERGY PARAMETERS OF AN ABSORPTION CHILLER

Zinurova K.I.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

Yakimov N.D. – Dr. of Phys.-Math. Sci., Professor, Professor of the Department of ATPP

Annotation. A simplified calculation of the parameters of a single-effect absorption chiller for an energy facility was carried out. The heat load on the generator, the amount of rejected heat, and the water flow rates in the external circuits were determined. The suitability of the absorption chiller for the utilization of low-grade heat was demonstrated.

Keywords: absorption chiller, energy facility, heat load, low-grade heat

ИГРОВАЯ ИНДУСТРИЯ КАК ПОМОЩНИК В ИЗУЧЕНИИ ИНЖЕНЕРНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

Михаленко Е.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Гиль С.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ИКТ

Аннотация. В статье исследуется влияние компьютерных игр на формирование базовых навыков пространственного восприятия и изучение основ 3D-моделирования. Особое внимание уделяется причинной обусловленности использования графических игр для обучения студентов вузов. Анализируются игры, способствующие развитию понимания чертежа, представления объектов «в объёме», проектирования механизмов. Отмечаются характерные особенности каждой игры с точки зрения изучения инженерной компьютерной графики.

Ключевые слова: компьютерные игры, пространственное видение, чертеж, проекции, 3D-моделирование, базовые навыки, инженерная компьютерная графика

Введение. С возникновением компьютеров появились и компьютерные игры. Исторически считается, что первая графическая игра была создана в 1952 году Александром С. Дугласом и имела название «ОХО», также известная как «Крестики-нолики» [1]. Игра работала на огромном ламповом компьютере EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator) и не была создана для развлечения. Дуглас создал её для своей кандидатской диссертации. «Крестики-нолики» должны были продемонстрировать возможности взаимодействия человека с вычислительной машиной.

Последующие 63 года шёл стабильный рост инноваций. На данный момент компьютерные технологии достигли такого уровня развития, что позволяют создавать игры с хорошим графическим и звуковым оформлением, в результате чего с каждым годом увеличивается количество заинтересованных лиц.

Основная часть. Большинство пользователей видеоигр – зуммеры в возрасте 18-23 лет (59%). Молодежь этого возраста чаще всего уже учится в высших учебных заведениях, где изложение теоретического учебного материала осуществляется во время лекционных занятий. Такой способ подачи информации имеет свои недостатки: монотонность, пассивность студентов и отсутствие интерактива [2].

Для лучшего усвоения информации человека нужно заинтересовать. В детстве мы приобретали знания с помощью взаимодействий с конструкторами или мягкими игрушками. В подростковом возрасте привычные игры сменились компьютерными. С целью заинтересовать нынешнее поколение, удачным вариантом станет новый формат обучения, совершенно другие методы проведения занятий. Для успешного вовлечения молодых людей в образовательный процесс, а также для улучшения обучения важно использовать компьютерные технологии, в частности 3D-моделирование.

Использование инфокоммуникационных технологий в учебном процессе можно рассматривать не только в качестве способа создания заинтересованности студента в обучении, но и как фактор, непосредственно влияющий на формирование пространственного воображения и мышления. В большей части высших технических учебных заведений изучают различные графические дисциплины в качестве базовых, составляющих основу инженерного образования. На начальном этапе изучения соответствующих дисциплин была выявлена проблема: значительному количеству обучающихся сложно представить, как будет выглядеть определённая деталь «в объёме», что приводит в дальнейшем к ошибкам при выполнении построений. В качестве одного из вариантов развития подобных навыков рассмотрим наиболее популярные на сегодня компьютерные игры и их содержательную часть.

Minecraft. Самой популярной игрой в этой сфере является «Minecraft». Он станет отличным помощником для тех, кто изучает создание механизмов или же находится на начальной стадии проектирования зданий. В данной игре представлен кубический мир, где человек может показать всю свою креативность: построить особняк или же воссоздать работающий компьютер. Каждый игрок может сначала спроектировать что-то, а затем

рассмотреть конструкцию с различных точек зрения для переноса её в дальнейшем из трёхмерного пространства в двухмерное.

Проектирование механизмов требует владения логическими и кинематическими схемами их создания, что в дальнейшем влияет и на формирование чертежа. В этом контексте Minecraft, хоть и не является профессиональным инструментом, становится ценным тренажером. Он способствует развитию инженерной интуиции, 3D-воображения и понимания структуры ключевых компетенций для успешного освоения инженерной компьютерной графики.



Рисунок 1 – Воссозданные в «Minecraft» «Тетрис» и «Змейка» с помощью механизмов

The Sims 4. Для профессиональной подготовки архитекторов, дизайнеров и планировщиков можно использовать «The Sims 4». В данной игре существует режим строительства, который позволяет создавать и украшать дома любой формы и стиля, обустраивать общественные заведения [3]. «The Sims 4» имеет встроенные функции масштабирования и панорамирования для рассмотрения любой детали экстерьера, а также имеет возможности для экспорта в AutoCAD или любую другую САПР, или непосредственно в бумажный вариант.

Игра легка в понимании и не требует дополнительного обучения. Она даёт свободную среду для создания макетов, позволяя творить без ограничений, а также экспериментировать с масштабами, стилями и планировкой. Всё это способствует формированию навыков и соответствующих умений непосредственно на практике, а не в виде теории.



Рисунок 2 – Построенный в «The Sims 4» дом и его чертёж

Fez. Можно заметить, что те студенты, которые занимались 3D-моделированием раньше, прекрасно владеют техникой создания электронного чертежа на занятиях по инженерной компьютерной графике. Этот процесс занимает у них меньше времени, чем у других; так как они, во-первых, понимают законы формообразования и, во-вторых, умеют анализировать конструкцию и видеть взаимосвязь её отдельных составляющих. Те студенты, которые никогда не имели дело с 3D-моделированием, испытывают особые трудности на практических занятиях, так как у них отсутствует базовые навыки создания связанных изображений – проекций и им сложно представить объект в пространстве. Для развития подобных навыков можно порекомендовать поиграть в «Fez». Здесь придётся смотреть на мир с различных точек

зрения для того, чтобы найти верный путь и завершить путешествие. Игра позволяет лучше понять принцип формирования проекций (фронтальной, горизонтальной, профильной), а также развить пространственное видение и мышление.

Space Engineers. Для закрепления полученных знаний и дополнительной практики помимо рассмотренных ранее видеоигр студент может попробовать себя в «Space Engineers». Здесь представлен огромный открытый мир, где возможно создание любого изобретения. В игре присутствует реалистичная физика: каждый предмет обладает массой и инерцией и может по-настоящему разрушиться. Абсолютно всё здесь можно изменить в соответствии с запросами пользователя, например, походить по созданной в редакторе космической станции.

Компьютерные игры формируют интерес молодого поколения к изучению 3D-моделирования: у многих появляется желание создать свою игру, свою 3D-модель, придать ей форму. Заинтересованность приводит к тому, что подростки начинают осознанно углубляться в эту сферу. Это может происходить самостоятельно, на основании видеообзоров профессиональных пользователей или личных экспериментов, либо же с помощью определённых практических курсов или школ. Для этого в свободном доступе находится программа Blender [4], дальше человек может перейти на ZBrush [5] и так далее.

Заключение. Компьютерные игры являются вспомогательным инструментом, который помогает развить у обучающихся базовые навыки, необходимые для освоения инженерной компьютерной графики. Студенты тренируют пространственное воображение, способность мысленно представлять объекты в виде наглядных аксонометрических моделей; в развлекательном режиме знакомятся с основами конструирования механизмов, а также с азами проектирования зданий. Игры не заменяют профессиональных САПР, таких как AutoCAD, Inventor или T-Flex CAD, полученные навыки и умения обучающиеся трансформируют и развивают в дальнейшем на более высоком уровне в освоении инженерной компьютерной графики и других инженерных дисциплин на специализированных кафедрах.

Список литературы

1. Исторические материалы о компьютерных играх 50-х [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://videogamehistorian.wordpress.com/2014/01/22/the-priesthood-at-play-computer-games-in-the-1950s/>. Дата доступа: 03.03.2026.
2. Официальный сайт журнала «Концепт» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://e-koncept.ru/2016/56397.htm>. Дата доступа: 03.03.2026.
3. Официальный сайт Electronic Arts [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ea.com/ru/games/the-sims/the-sims-4/new-player-hub/build-mode>. Дата доступа: 03.03.2026.
4. Официальный сайт Blender [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.blender.org/>. Дата доступа: 03.03.2026.
5. Официальный сайт ZBrush [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.zbrushcentral.com/>. Дата доступа: 03.03.2026.

UDC 004.92

THE GAMING INDUSTRY AS AN ASSISTANT IN THE STUDY OF ENGINEERING COMPUTER GRAPHICS

Mikhalenko K.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Hil S.V. – Cand. Of Sci., associate professor, associate professor of the department of ECG

Annotation. The article examines the influence of computer games on the formation of basic spatial perception skills and the study of the basics of 3D modeling. Special attention is paid to the causality of the use of graphic games for teaching university students. The games that contribute to the development of understanding of the drawing, representation of objects «in volume», and mechanism design are analyzed. The characteristic features of each game are noted from the point of view of studying engineering computer graphics .

Keywords. Computer games, spatial vision, drawing, projections, 3D modeling, basic skills, engineering computer graphics

ПРОБЛЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИНЖЕНЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

Шибает И. С.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Столер В. А. - к.т.н., доцент, профессор кафедры ИКТ

Аннотация. Рассмотрена задача генерации инженерных 3D-моделей по текстовому описанию. Показано, что прямой синтез mesh-, voxel- и implicit-представлений не обеспечивает метрическую точность и редактируемость, необходимые в CAD. Предложена гибридная архитектура Parametric, в которой запрос преобразуется в параметрический CAD-скрипт, проходит геометрическую проверку и только затем экспортируется. На тестовой выборке из 50 запросов 42 модели (84 %) были скомпилированы с первой попытки; средняя абсолютная ошибка размеров составила 0,74 мм, а среднее время генерации – 1,8 с.

Ключевые слова: глубинное обучение, CAD, параметрическое моделирование, B-Rep, text-to-CAD, геометрическая валидация, CadQuery, OpenSCAD.

Введение. Актуальность темы определяется ростом интереса к системам, которые создают 3D-объекты по текстовому запросу. Для инженерной практики визуальная правдоподобность недостаточна: деталь должна быть замкнутой, размерно корректной, параметризуемой и пригодной к дальнейшему редактированию. Именно здесь возникает разрыв между генеративными моделями и CAD-логикой.

Проблема состоит в том, что нейросеть обычно оперирует вероятностным представлением формы. Даже при хорошем внешнем сходстве она не гарантирует соблюдение диаметра отверстия, толщины стенки, расстояний до кромок и других ограничений. Поэтому прямой переход от текста к mesh-модели приводит к ручной доработке и потере времени.

Цель работы – определить ограничения прямой генерации инженерной геометрии и показать, как гибридная схема может перенести контроль качества в детерминированную среду CAD-ядра. Для этого были сопоставлены особенности raster-, voxel-, mesh- и параметрического представлений, рассмотрены типовые ошибки генерации и реализован прототип системы Parametric.

Практическая ценность подхода связана с возможностью быстро получать параметрические заготовки типовых деталей: пластин, фланцев, кронштейнов, валов и корпусов. В отличие от чисто визуальных генераторов, такая схема оставляет модель редактируемой и позволяет повторно использовать шаблоны в учебных и прикладных задачах.

Основная часть. В CAD-моделировании объект описывается не только поверхностью, но и топологией, историей построения и набором ограничений. Для инженерного использования важны B-Rep-структуры, эскизы, операции выдавливания, вращения, скругления и отверстия, поскольку они сохраняют связь между размерами и элементами модели.

Mesh- и voxel-представления удобны для визуализации, но не отражают замысел конструктора. После генерации треугольной сетки сложно изменить один размер так, чтобы автоматически перестроились зависимые элементы. Поэтому для САПР предпочтительнее параметрическая схема, в которой одна переменная корректирует всю цепочку зависимостей.

Отсюда следует ключевой вывод: для инженерных задач генератор должен не рисовать форму, а формировать исполнимое описание построения. Такой подход облегчает валидацию, экспорт и последующую модификацию без повторного запуска полного синтеза.

Архитектура Parametric представляет собой конвейер, в котором каждый последующий блок сужает пространство возможных решений, исключая генерацию геометрически некорректных или нередактируемых моделей. Система состоит из четырех основных модулей, взаимодействующих через формализованный протокол обмена данными.

Модуль анализа естественного языка (NLU) выполняет глубокую лингвистическую и семантическую обработку входного запроса. Помимо базового выделения сущностей (NER), он содержит специализированный слой инженерной семантики. В случае обнаружения неполных данных (например, «отверстие М6 без указания глубины») модуль инициирует условный вывод, подставляя значения по умолчанию из библиотеки типовых решений: для резьбы М6 глухого отверстия принимается глубина, равная 1,5 диаметра, то есть 9 мм. Словарь синонимов позволяет распознавать такие конструкции, как «фаска 1х45°» или «радиус скругления R2», даже если они записаны в сокращенной форме.

Генератор параметрических скриптов является центральным элементом архитектуры. Он преобразует структурированное представление, полученное от NLU-модуля, в исполнимый код на языке CadQuery (с возможностью фолбэка на OpenSCAD). Генератор использует шаблоны, типизированные по классам деталей. Каждый шаблон содержит параметрическую модель и набор правил вывода зависимостей. Если запрос содержит противоречивые параметры, генератор не выдает код, а возвращает в модуль NLU структурированное сообщение об ошибке, предлагая скорректировать либо диаметр окружности, либо размер отверстий.

Геометрический валидатор работает в среде CAD-ядра и выполняет детерминированные проверки уже после построения тела. Валидация включает: manifold-проверку, анализ толщины стенок, проверку пересечений, а также размерную верификацию. Если модель не проходит проверку, валидатор отправляет в генератор скриптов метаданные о конфликтной зоне, после чего выполняется повторный синтез с измененными параметрами.

Экспортер формирует итоговый результат. В зависимости от настроек системы или специфики запроса (наличие указания на формат в тексте, например «сохранить как STEP») экспортер генерирует файлы в форматах STEP (для передачи в промышленные CAD-системы), STL (для 3D-печати) или DXF (для плоских разверток). Контур обратной связи между модулями позволяет достичь высокой степени автономности: для 84% запросов из тестовой выборки цикл «анализ – генерация – валидация – экспорт» проходил без внешнего вмешательства.

Прототип реализован на Python с использованием CadQuery и OpenSCAD. В парсере запросы нормализуются к миллиметрам, а также распознаются сокращения вида D, d, Ø, R, М6 и т. п. Для этого применяется набор регулярных правил и словарь инженерных синонимов, что позволяет обрабатывать как формальные, так и полуформальные формулировки.

На тестовой выборке из 50 запросов система показала следующие результаты: 42 запроса (84 %) были скомпилированы без ручных правок, 5 запросов потребовали уточнения единиц измерения, а 3 – исправления геометрических конфликтов. Средняя абсолютная ошибка размеров составила 0,74 мм, среднее время генерации – 1,8 с. Наиболее устойчиво обрабатывались валы, фланцы и крепеж.

Сравнение с прямой mesh-генерацией показывает, что Parametric проигрывает по скорости на небольших запросах, но заметно выигрывает по точности и редактируемости. Для инженерной задачи это важнее: лучше получить модель на несколько десятых секунды позже, но без самопересечений, неверных допусков и ручной правки.

Таблица 1 – Количественное сравнение подходов к генерации инженерных моделей по результатам тестовой выборки из запросов.

Показатель	Прямая генерация mesh	Parametric
Успешность компиляции, %	58	84
Средняя абсолютная ошибка, мм	1,92	0,74
Среднее время генерации, с	1,2	1,8
Прохождение manifold-проверки, %	52	76

Полученные данные подтверждают, что качество растет, когда запрос удается свести к набору параметров и стандартных операций. Именно поэтому система лучше работает с теми изделиями, где можно явно описать размеры, число отверстий, толщину, радиусы и тип соединения.

Основное ограничение связано с неоднозначностью естественного языка. Один и тот же фрагмент текста может допускать несколько геометрических интерпретаций, особенно если

отсутствуют единицы измерения или не указана система отсчета. В таких ситуациях модуль уточнения должен запрашивать дополнительные данные, а не строить произвольную модель. Второе ограничение относится к библиотеке шаблонов. Чем сложнее деталь, тем больше взаимосвязанных параметров и выше риск конфликта между ними. Поэтому архитектура Parametric лучше всего подходит не для полной замены CAD-инженера, а для ускорения рутинного этапа подготовки типовых моделей.

Закключение. Проведенный анализ показал, что прямой синтез 3D-геометрии по тексту удобен для визуализации, но недостаточен для инженерного проектирования. Главные проблемы – размерная неопределенность, топологические дефекты и отсутствие параметрической истории. Разработанная архитектура Parametric переносит генерацию из пространства полигональной формы в пространство исполнимого CAD-кода. Это позволяет проверять модель до экспорта, уменьшать число ручных исправлений и получать повторяемый результат на типовых деталях. Тестирование на 50 запросах подтвердило работоспособность схемы: 84 % запросов были собраны без правок, а средняя размерная ошибка не превысила 0,74 мм. Для дальнейшего развития наиболее полезны расширение библиотеки шаблонов, поддержка сборок и более точное извлечение инженерных сущностей из текста.

Список литературы

1. Пул, Б. Трехмерное моделирование по текстовому описанию с использованием диффузионных моделей / Б. Пул, А. Джейн, Дж. Т. Бэррон, Б. Милденхолл // Информационные технологии. – 2023. – Т. 29, № 4. – С. 189–202.
2. Никол, А. Генерация трехмерных облаков точек на основе сложных текстовых описаний / А. Никол, Х. Джун, П. Дхаривал, П. Мишкин, М. Чен // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2023. – № 5. – С. 74–91.
3. Джун, Х. Sharp-E: генерация условных неявных 3D-функций / Х. Джун, А. Никол // Труды Института системного программирования РАН. – 2024. – Т. 36, № 2. – С. 121–136.
4. Хуань, М. С. Текстовая генерация параметрических CAD-моделей / М. С. Хуань [и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2025. – Т. 25, № 1. – С. 45–58.
5. Открытые системы автоматизированного проектирования: учебное пособие по OpenSCAD / под ред. А. В. Петрова. – М.: ДМК Пресс, 2024. – 312 с.
6. Программирование параметрических моделей в CadQuery: практикум / С. В. Кузнецов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2023. – 208 с.
7. Генеративный дизайн в Autodesk Fusion 360: методы и алгоритмы / Д. И. Смирнов, Е. А. Коваленко // САПР и графика. – 2024. – № 8. – С. 28–34.

УДК 004.8:004.94

PROBLEMS OF GENERATING PARAMETRIC ENGINEERING MODELS

Shibaev I.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Supervisor: Stoler V.A., Cand. of Tech. Sci., Professor

Annotation. The paper studies text-driven generation of engineering 3D models. Direct synthesis of mesh-, voxel-, and implicit representations is shown to be insufficient for CAD tasks because it does not guarantee metric accuracy or editability. A hybrid Parametric architecture is proposed, where a user prompt is converted into a parametric CAD script, validated geometrically, and exported only after the checks pass. On a test set of 50 requests, 42 models (84 %) were compiled on the first attempt; the mean absolute dimensional error was 0.74 mm and the average generation time was 1.8 s.

Keywords: deep learning, CAD, parametric modeling, B-Rep, text-to-CAD, geometric validation, CadQuery, OpenSCAD.

**СЕКЦИЯ
«ИНОСТРАННЫЕ ЯЗЫКИ»**

DESIGN OF 2.4 – 2.5 GHz RECEIVER WITH AUTOMATIC GAIN CONTROL SYSTEM

Chertoritskii I.G.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Klokov A. G. – Cand. Of Sci., Associate Professor, Head of the Department of Foreign Languages

Buhtojarov S.E. – Cand. Of Sci., Associate Professor, Lead Software Engineer, MicroDesign LLC

Annotation. This paper presents the design of Radio Frequency Receiver with Automatic Gain Control System. The integrated AGC system increased the receiver's dynamic power range on 15 dBm. The frequency range of 2,4 – 2,5 GHz finds application in RFID chips, in IoT devices and in modern wireless network systems, such as Wi-Fi, Bluetooth and others.

Keywords: radio frequency RF, wireless communication, integrated receiver, AGC system

Introduction. Incredible improvement of wireless technologies stimulates enhancing of RF receivers to establish the fastest and the reliable data transformation. In a common radio environment, a receiver must handle a massive range of signal strengths, typically spanning 70 dBm to over 100 dBm of variation. This factor requires feedback system, which corrects gain depending on the level of input signal. This part can be implemented by Automatic Gain Control (AGC) system. The system extends dynamic range of receiver by adjusting gain of LNA so, that sensitivity of the system is maximized in case of absence of interference in receive channel, while if interferer is there, AGC improves systems linearity.

This paper presents the design and simulation of integrated RF receiver with AGC system including its operation in situation of frequently changing signals.

The typical architecture of receiver block. Next, the design and performance of receiver is discussed. The typical architecture of receiver is presented in Figure 1.

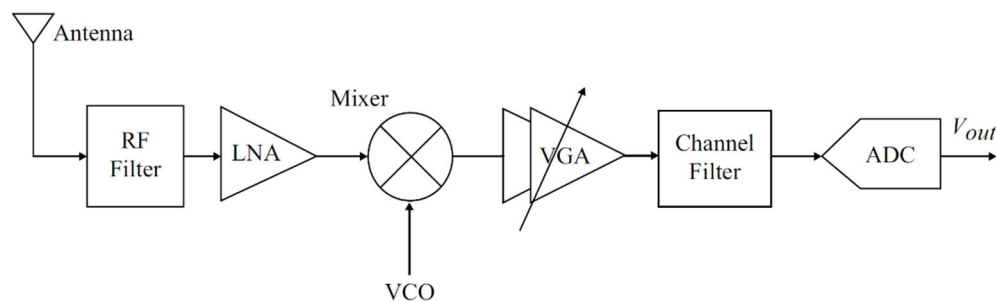


Figure 1.1 – The typical architecture of receiver [1]

This is a superheterodyne receiver architecture, which was invented decades ago, is still the most popular architecture in modern RF receivers [2]. It includes Antenna, RF Filter, Low-Noise Amplifier (LNA), Mixer, Automatic Gain Control System (it can be implemented as Variable Gain Amplifier), Channel Filter and Analog-to-Digital Converter (ADC). In this paper we will concentrate on three of them: LNA, Mixer and AGC system.

Low Noise Amplifier. The role of LNA is to boost the received signal a sufficient level above the noise floor so that it can be used for additional processing [3]. This block is the first of the receiver and therefore its Noise Figure (NF) directly limits the sensitivity of the receiver. NF is a relative parameter, which shows the degradation of Signal to Noise Ratio (SNR) after its passing through the electric block. In radio terms, if a signal is weaker than the noise floor, it is effectively lost, regardless of how much gain you add later. Also, the linearity of LNA is essential, because it defines the LNA's ability to handle strong signals without distortion.

The impact of LNA as the first cascade, may be demonstrated by the "Friis' equation". According to it, the noise contributed by each stage decreases as the total gain preceding that stage

increases, implying that the first few stages in a cascade are the most critical [4]. It can be calculated by the formula:

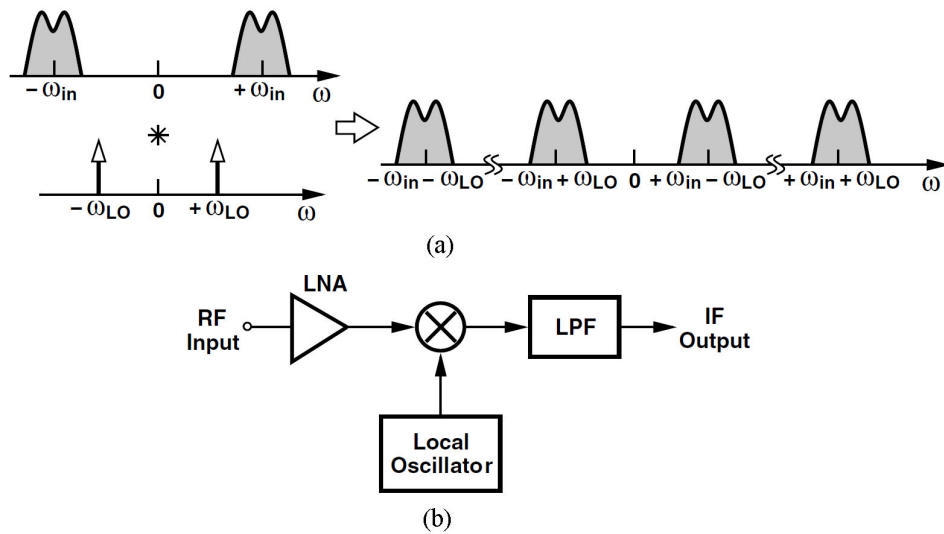
$$NF_{tot} = 1 + (NF_1 - 1) + \frac{NF_2 - 1}{A_{P1}} + \dots + \frac{NF_m - 1}{A_{P1} \dots A_{P(m-1)}}, \quad (1.1)$$

where NF – Noise Figure, which represents the level of the block;

A_P – Gain of the block.

This equation suggests, that the LNA affects other blocks of the receiver. Conversely, if a stage suffers from attenuation (loss), then the NF of the following circuits is “amplified” when referred to the input of that stage [4]. In other words, as every block increases the overall gain, noise and distortions of the signal are also amplified and affect the performance of the system. That’s why the parameters of LNA as the first block of the receiver are so essential. However, the Design of an LNA typically consists of trade-off between Noise Figure (NF) and Gain while designing at the required stability.

Mixer. If we are talking about wireless communications, the transferred data signals usually lie in Radio Frequency (RF) range. However, it is technically difficult and expensive to design blocks that operate in this range (mostly in GHz). So, converting the signal to a lower Intermediate Frequency (IF) allows more efficient and stable processing. For this purpose, downconversion mixer is usually used, which main role is to perform frequency translation by multiplying input signal with so called LO signal, usually generated by local on-chip oscillator (the oscillator is out of scope of our discussion). Due to multiplication of signals with different frequencies, we get two combinations with sum and difference of two frequencies (Figure 1.2(a)). The components at $\pm(\omega_{in} + \omega_{LO})$ are not of interest and are removed by the low-pass filter (LPF), leaving the signal at a center frequency of $\omega_{in} - \omega_{LO}$. This operation is called “downconversion mixing” or simply “downconversion.” Due to its high noise, the downconversion mixer is preceded by a low-noise amplifier (Figure 1.2 (b)).



(a) – resulting spectra after conversion; (b) – The “Conversion block”

Figure 1.2 – The performance of downconversion mixer [4]

In receiver design, the mixer acts as a “bridge” between the high-frequency signals and lower-frequency processing stages. So, its performance directly dictates the sensitivity and linearity of the entire system. Because the Mixer typically follows the LNA, which provides significant gain, it is usually exposed to much higher power levels, making it the primary bottleneck for intermodulation distortion. This statement represents by the next formula [4]:

$$\frac{1}{A_{IP3}^2} \approx \frac{1}{A_{IP3,1}^2} + \frac{A_{P1}^2}{A_{IP3,2}^2}, \quad (1.2)$$

where A_{IP3} – linearity of the specific block;

A_{PI} – gain of the LNA.

So, the equation (1.2) suggests, that the gain of LNA affects the signal level seen by Mixer at input and thus its linearity, which limits linearity of the whole system. So, because the mixer is the bottleneck for linearity, improving mixer's IP3 (interception point on 3 dB) is the only way to maintain high dynamic range without sacrificing receiver's linearity.

Automatic Gain Control system. The AGC block is responsible for varying the gain due to input signal, forming the feedback loop.

The AGC function can mainly be implemented in two different ways according to the signal which senses the amplitude and adjusts the gain correspondingly. If the input VGA signal is used, the AGC loop moves forward in the receiver signal direction, so this loop is called “feedforward loop”. On the other hand, if the output VGA signal is sensed, the AGC loop moves backwards in the signal direction. This loop is called “feedback loop”. Both structures are drawn in Figure 1.3. Between both loop structures, the feedback one is the most popular when designing AGCs since it provides higher linearity and requires narrower dynamic range (DR) in the detector [1].

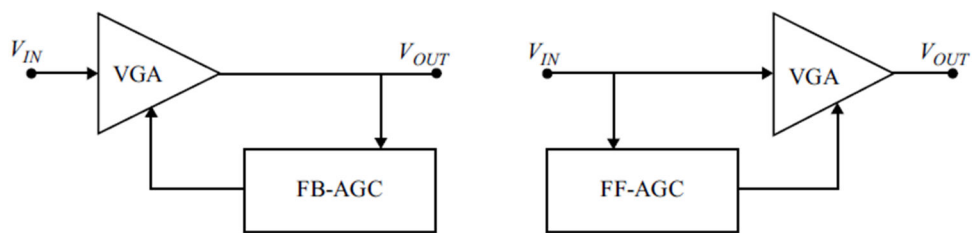


Figure 1.3 – Feedback and Feedforward AGC architectures [1]

In a receiver, an Automatic Gain Control (AGC) block is essential for maintaining a stable output signal despite wide fluctuations in the strength of the incoming radio signal. Without it, the output (such as audio volume) would constantly change as you tune to different stations or as environmental conditions fluctuate. When a strong signal is received, AGC reduces the gain to prevent internal circuits from saturating or «clipping», which would otherwise cause harsh distortion.

For weak signals, AGC increases gain to boost them above the receiver's internal noise floor, ensuring clear reception.

The performance of the AGC system can be described in the following steps. Detector stage (Power Detector, PD) monitors the average or peak strength of the signal at the output. Then it generates a DC control voltage proportional to the signal's strength. And finally, this voltage is fed back to earlier LNA stage to automatically increase or decrease their gain as needed.

The design of the receiver. This chapter represents the design of the receiver. Technical specification of the receiver is presented in Table 2.1.

Table 2.1 – Technical specification of the project

Parameter	Value	Units
Voltage supply (V_{dd})	1,8	V
Frequency operation range	2,4 – 2,5	GHz
Central frequency	2,45	GHz
Intermediate frequency (IF)	1	MHz
Maximum gain	20	dB
Current consumption	≤ 10	mA
IIP3 (linearity)	≥ -10	dBm
Noise Figure (system)	≤ 8	dB
Noise Figure (LNA)	≤ 2	dB
AGC bit depth	3 (8 steps)	bit

The proposed design of the receiver is presented in Figure 2.1. Actually, this system is divided into four blocks: Power Detector, Low-Pass Filter, Comparator Block and AGC Block. The performance of the majority of blocks was described higher. Here we will concentrate on the AGC and Comparator blocks.

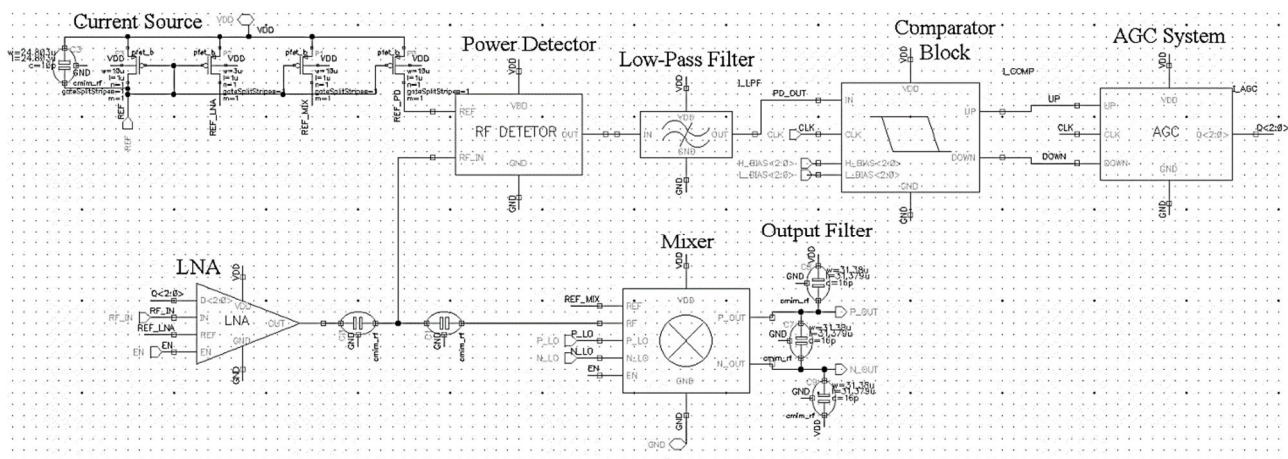


Figure 2.1 – The proposed design of receiver

The comparator block forms two output signals according to the result of comparison: if signal is higher than programmed threshold, it creates “DOWN” signal, if too small – “UP” signal. And finally, the AGC system creates 3-bit digital code, which manipulates the LNA’s gain. At the beginning of operating digital code is “000” what corresponds to the smallest gain. And then with each clock cycle the system either changes the digital code or keeps it unchanged.

The parameters of the simulation are following. Frequency of the output signal is 5 MHz and the clock’s frequency is 10 MHz. During the simulation the input signal is changing from -50 dBm to -30 dBm with step of 5 dBm every 500 ns. It’s essential to simulate the dynamic changing input signal, which often occurs in real use cases.

The results of TRAN-analysis are presented in Figure 2.2. Here we can see the response of the receiver to dynamically changing input signal. Depending on the output power detector’s signal “PD_OUT”, there is changing of the digital code from outputs Q0 – Q2. If the detector’s signal lower than low threshold, the comparator block generates the “UP” signal, during which the LNA’s gain is increasing until the maxim value “111”. When the signal is between two thresholds, the gain value keeps the same. And when the detector’s output signal reaches the high threshold, the gain of amplifier starts decreasing.

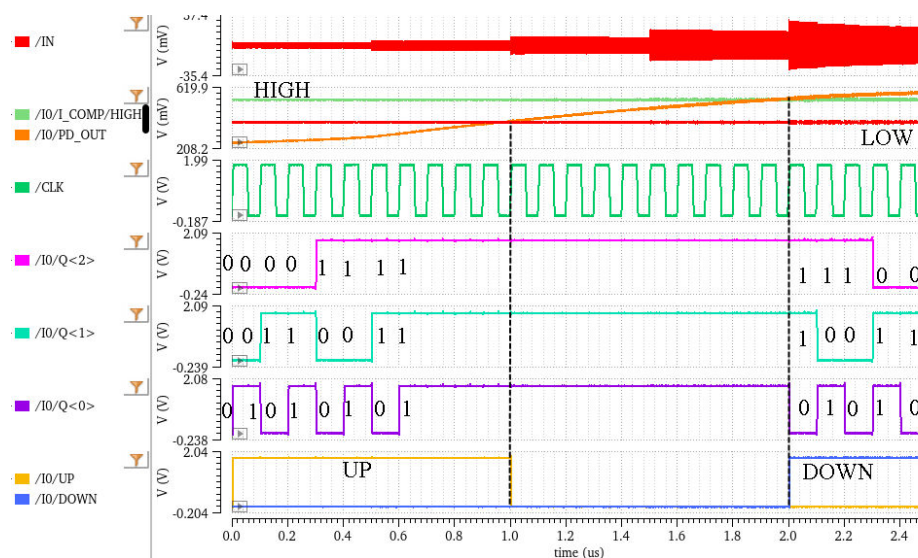


Figure 2.2 – The results of TRAN-analysis

To make sure, that amplifier’s gain is really changing, we can look at the output signal, which is presented in Figure 2.3.

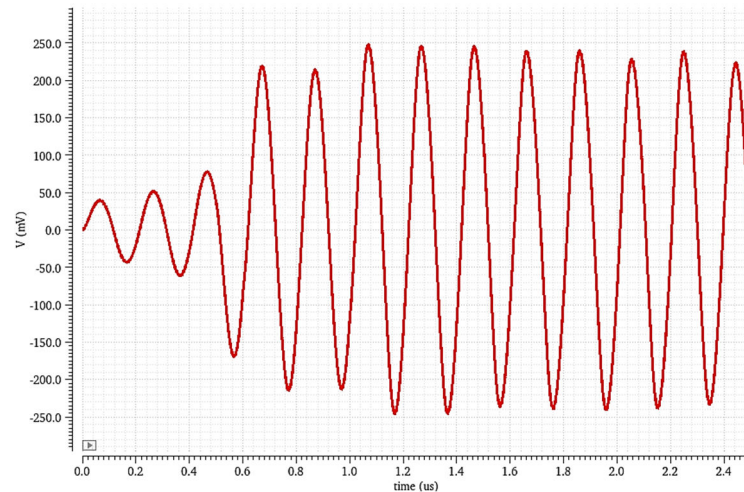


Figure 2.3 – The output signal of the receiver system

In this figure we can see changing of the output signal. Before 500 ns the output signal is changing with LNA's gain. Then the signal is increasing due to the higher input signal and at some moment it's stabilized. So, according to Figures 5 and 6 we can conclude, that the receiver's AGC block operates correctly.

The parameters of the receiver are presented in Table 2.2 (the analysis of corners isn't included).

Table 2.2 – Parameters of the receiver

Parameter	Value		Units
	min	max	
Gain	5,5	20,14	dB
Current consumption	10,6	10,8	mA
IIP3 (system)	– 31 (high gain)	– 9,15 (low gain)	dBm
IIP3 (LNA)	– 22,4 (high gain)	– 13,5 (low gain)	dBm
Noise Figure (system)	5,5 (high gain)	7,5 (low gain)	dB
Noise Figure (LNA)	1,82 (high gain)	1,86 (high gain)	dB

According to table 2.2 we can conclude, that the receiver operates as desired and the dynamic power range was enhanced on 15 dBm, because the difference between maximum and minimum gains is about 15 dB.

Conclusion. This paper provided design of the receiver with AGC system. The main difference between our design and the classic superheterodyne receiver architecture is that instead of VGA Block we used LNA with variable gain, what improves the linearity of the receiver system.

The performance of the receiver in dynamic conditions was analyzed. LNA's gain is increasing when it's lower than low threshold, decreasing when the signal is over the high threshold and don't change when it's between two of threshold. According to the results, we can conclude, that the receiver system and AGC Block are operating correctly and that due to AGC system the dynamic range of the receiver was increased.

References

1. Juan, P. *Automatic Gain Control. Techniques and Architectures for RF receivers* / Pablo Juan [et al.] // *Analog Circuits and Signal Processing – Spain, 2011.* – 134 p.
2. *CMOS RF Receiver System Design: A Systematic Approach* / Wenjung Sheng, Ahmed Emira and Edgar Sanchez-Sinencio // *IEEE Transactions on circuits and systems – May, 2006.* – Vol. 53, N 5. – Pp. 1023–1034.
3. Wai-Kai, C. *The Electrical Engineering Handbook* / Elsevier Academic Press – USA, 2005 – 1208.
4. Razavi, B. *RF Microelectronics* / Prentice Hall – USA, 2011 – 946 p.

INFLUENCE OF PRETREATMENT METHODS ON THE FORMATION OF THIN-FILM NICKEL ELECTRODES FOR CAPACITIVE SENSORS

Panfilenko E.D., Provlockaya D.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Klokov A. G. – Cand. Of Sci., Associate Professor, Head of the Department of Foreign Languages

Kotov D.A. – Cand. Of Sci. (Tech.), Associate Professor, Department of Micro- and Nanoelectronic

Annotation. The paper investigates the influence of pretreatment methods for sitall ST-50-1-1-0,6 substrates surface on the subsequent formation of thin-film nickel electrodes for capacitive sensors for heavy metal ions detection in water. A comparison of two cleaning methods was carried out: ion-beam cleaning in vacuum and treatment in a dielectric barrier discharge plasma torch at atmospheric pressure. Optimal cleaning regimes ensuring maximum adhesion and quality of the formed films were established. Nickel films with a thickness of 100 nm were obtained by ion-beam sputtering; their optical properties and surface morphology were studied.

Keywords: thin films, nickel, sitall, ion-beam sputtering, atmospheric pressure plasma, surface cleaning, capacitive sensors.

Introduction. Rapid population growth and industrial development lead to pollution of water resources with heavy metals (Hg^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , etc.), which are characterized by persistence and bioaccumulation ability. Existing analytical methods (liquid chromatography, atomic absorption) have high sensitivity but require complex sample preparation and expensive equipment. An alternative is electrochemical sensors that provide rapid real-time analysis [1].

The quality of thin-film electrodes for such sensors critically depends on the substrate surface condition before deposition. The presence of contaminants and oxides degrades adhesion and stability of characteristics. Surface cleaning in intense ion beams allows obtaining an atomically clean surface, removing both physical and chemical contaminants, and simultaneously activates the surface, improving adhesion of the deposited coating [2].

The aim of this work is to study the influence of pretreatment methods (ion-beam in vacuum and atmospheric pressure plasma) on the properties of sitall substrates and the subsequent formation of thin-film nickel electrodes by ion-beam sputtering.

Experimental Methods. Sitall ST-50-1-1-0,6 was used as substrate material, and nickel as electrode material. The choice is justified by the proximity of thermal expansion coefficients (TEC of nickel $1.5 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$, TEC of sitall $0.5\text{--}3 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$) and high chemical resistance of sitall, as well as the optimal combination of corrosion resistance, resistivity, and cost of nickel [3].

Substrate pretreatment was carried out by two methods:

Ion-beam cleaning in vacuum – in a modified VU-1BSp setup with an ion source based on an anode layer accelerator. Cleaning regime: argon flow rate – 1.24 l/h, voltage – 2220 V, current – 32 A, power – 50 W, distance to substrate – 200 mm, treatment time varied from 15 to 960 s.

Atmospheric pressure plasma cleaning – in a dielectric barrier discharge plasma generation system of coaxial type. Cleaning regime: argon flow rate – 142 l/h, distance to substrate – 10 mm, treatment time – 15–120 s.

Formation of nickel thin films was carried out by ion-beam sputtering in the VU-1BSp setup. Deposition regime: preliminary pressure in the chamber – $4 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}$, working pressure – $2 \cdot 10^{-2} \text{ Pa}$, argon flow rate – 0.34 l/h, source voltage – 3240 V, discharge current – 42–52 mA, distance from target to substrate – 200 mm, deposition time – 60 min.

The following methods and equipment were used for research:

- spectrophotometer MS-122 (measurement of reflection coefficient in the range 330–1100 nm);
- atomic force microscope NT-206 (surface morphology);
- sessile drop method using a Lenpipet LAIT dispenser (contact angle, liquid – distilled water).

Effect of Cleaning on the Reflection Coefficient of Sitall. Figure 1 shows the dependences of the reflection coefficient of sitall substrates on wavelength for different treatment times with ion source and atmospheric pressure plasma.

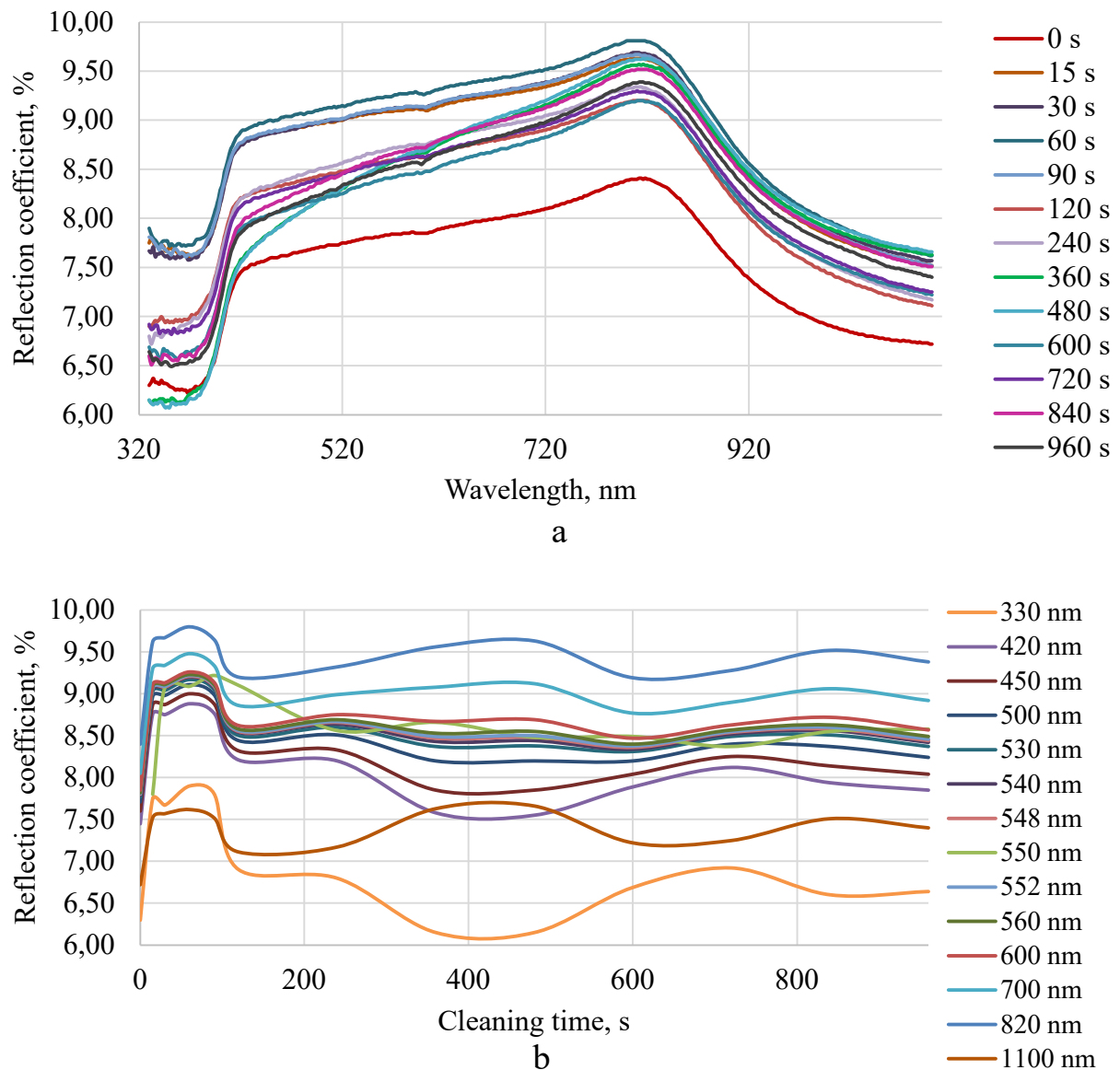


Figure 1 – Dependence of reflection coefficient on wavelength at different cleaning times: a) ion source; b) atmospheric plasma

Analysis of the spectra shows that the initial surface (0 s) has low reflectivity (6.2–8.4 %), which is associated with the presence of contaminants and oxide films. During ion-beam cleaning, the most significant change is observed in the first 60 seconds: the reflection coefficient at a wavelength of 820 nm increases from 8.4 % to 9.8 %. Further treatment (up to 960 s) leads to a slight decrease in reflectivity, indicating saturation and possible onset of etching of the glazed sitall layer.

During atmospheric pressure plasma cleaning, an increase in the reflection coefficient is also observed, with maximum values achieved at 120 s of treatment (from 7.11 % to 9.02 %). However, unlike ion cleaning, plasma treatment does not cause significant changes in surface morphology (confirmed by AFM data, not shown).

Effect of Cleaning on Surface Wettability. To assess adhesive properties, the contact angle was measured using the sessile drop method. The results are presented in Table 1 and Figure 2.

Table 1 – Dependence of contact angle on cleaning time

Cleaning time, s	Contact angle (ion source), °	Contact angle (atmospheric plasma), °
0	69,52	69,52
15	24,05	9,16
30	18,69	7,27
60	11,91	6,6
90	13,72	5,75
120	14,23	4,48

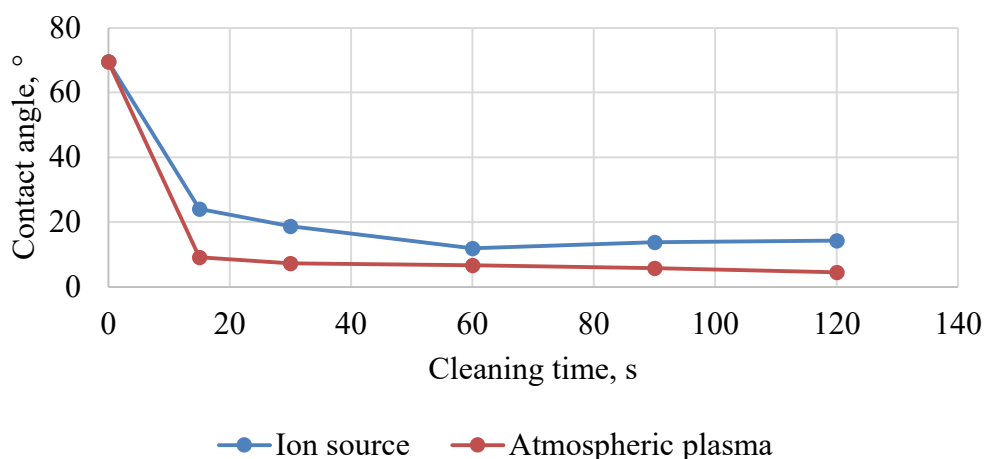


Figure 2 – Dependence of contact angle on cleaning time

The initial contact angle is 69.52° , corresponding to moderate wetting. During ion-beam cleaning, the most dramatic decrease occurs in the first 15 s (to 24.05°), with the minimum value reached at 60 s (11.91°). Further treatment leads to a slight increase in the angle, associated with the onset of surface etching.

Treatment in atmospheric pressure plasma demonstrates more effective reduction of the contact angle: already at 15 s the value drops to 9.16° , and at 120 s reaches 4.48° , indicating almost complete wetting and, consequently, high adhesive ability of the surface. It is important to note that plasma treatment does not cause etching of the glazed layer, confirmed by the preservation of morphology.

Formation and Study of Nickel Thin Films. Deposition of nickel films was carried out on substrates that underwent optimal pretreatment.

Figure 3 shows the reflection spectra of nickel films formed on substrates with different pretreatment (ion source cleaning for 60 s and atmospheric plasma cleaning for 120 s).

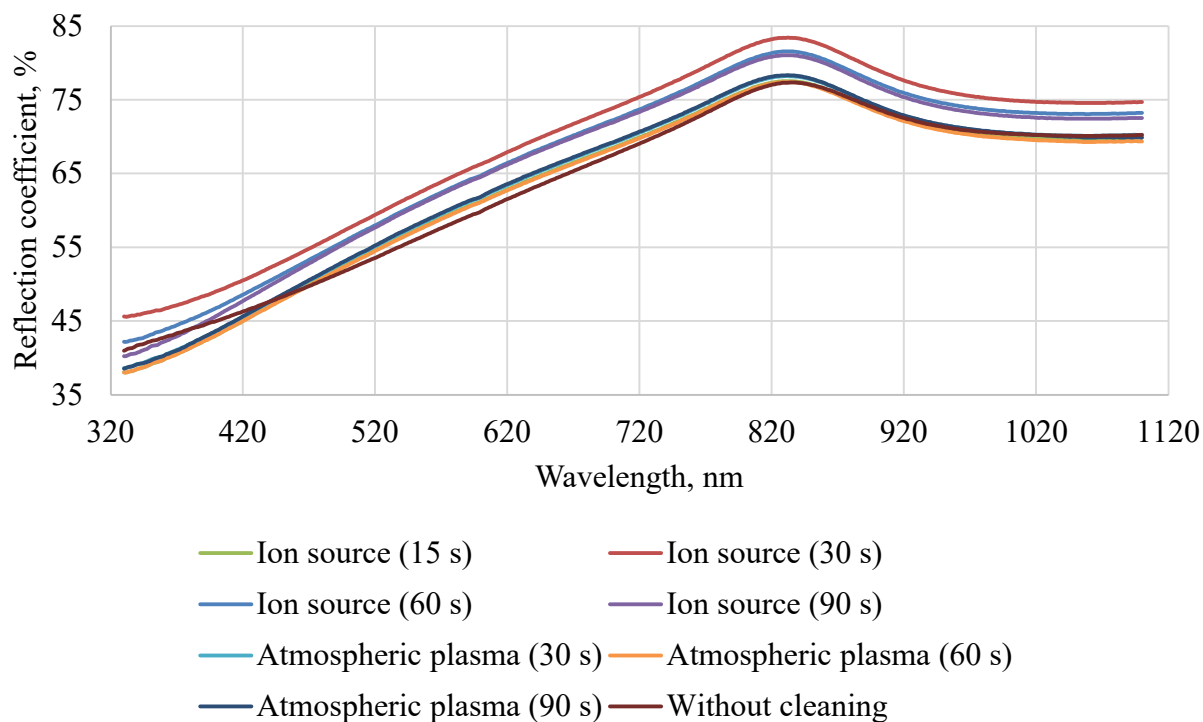


Figure 3 – Dependence of the reflection coefficient of nickel films on wavelength for different substrate cleaning methods

It can be seen that pretreatment in atmospheric pressure plasma provides a higher reflection coefficient of the formed films compared to ion cleaning, which correlates with the wettability data and indicates better adhesion and a more perfect film structure.

Surface morphology study using an atomic force microscope (Figure 4) showed that the nickel film has a uniform granular structure with individual grain sizes up to 450×800 nm. The surface is homogeneous, without visible defects.

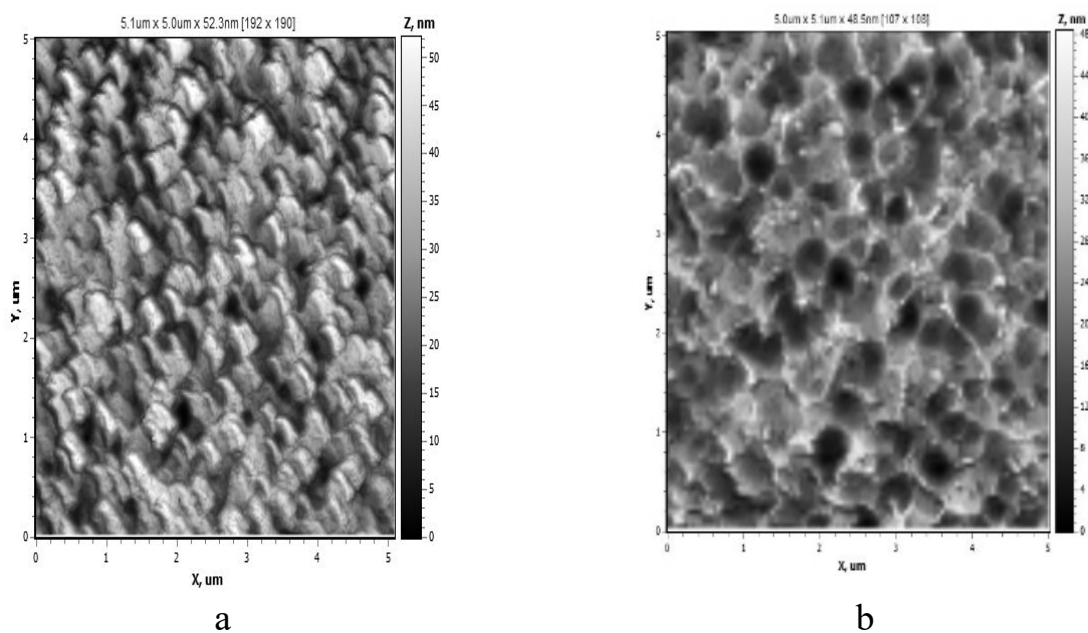


Figure 4 – AFM images of the surface: a) initial sitalt; b) nickel film

Optimal Regimes. Based on the conducted research, the following optimal regimes were established:

1 Pretreatment: treatment in atmospheric pressure plasma (dielectric barrier discharge) for 120 s at an argon flow rate of 142 l/h, distance to substrate 10 mm. This regime provides a contact angle of 4.48° and does not cause surface etching.

2 Deposition of nickel films: ion-beam sputtering at a pressure of $2 \cdot 10^{-2}$ Pa, voltage 3240 V, current 42–52 mA, distance to target 200 mm for 60 min, which allows obtaining films of 100 nm thickness with uniform structure and high optical characteristics.

Conclusion. A comparative study of two methods for pretreatment of siall substrates before the formation of thin-film nickel electrodes was carried out. It was established that treatment in dielectric barrier discharge plasma at atmospheric pressure provides better adhesive properties (contact angle 4.48°) compared to ion-beam cleaning in vacuum, while not causing etching of the glazed substrate layer. Nickel films of 100 nm thickness were obtained by ion-beam sputtering, and their optical properties and morphology were studied. The developed regimes can be used for the formation of electrodes for capacitive sensors for heavy metal content in water, confirming the relevance and practical significance of the work.

References

1. Carter, G. *Ion beam cleaning of surfaces* / G. Carter // *J. Phys. D: Applied Phys.* – 2001. – Vol. 34. – P. R1.
2. Cherepnin, N.V. *Vacuum properties of materials for electronic devices : monograph* / N.V. Cherepnin. – M. : Sovetskoe Radio, 1966. – 349 p.
3. Livshits, B.G. *Physical properties of metals and alloys* / B.G. Livshits, V.S. Kraposhin, Ya.L. Lipetsky. – M. : Metallurgiya, 1980. – 320 p.

THE EFFECT OF COLD PLASMA ON THE INHIBITION OF THE GENUS STAPHYLOCOCCUS BACTERIA

Provlockaya D.V., Panfilenko E.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Klokov A. G. – Cand. Of Sci., Associate Professor, Head of the Department of Foreign Languages

Kotov D.A. – Cand. Of Sci. (Tech.), Associate Professor, Department of Micro– and Nanoelectronics

Annotation. Experimentally investigated the effect of cold plasma of dielectric barrier discharge on inhibition of bacteria of the staphylococcus family. It has been determined that when cleaning the coaxial discharge system in a fazzle with a gas flow rate of 180 l/h, a capacity of 40 W and a distance of 15 mm, full inactivation of the staphylococcus was reached within 10 minutes. For surface discharge, a similar effect was observed at 50 W, 10 mm distance and 15 minutes processing time.

Keywords: atmospheric plasma, coaxial discharge system, surface discharge, staphylococcus, inhibition

Introduction. Given the high pathogenicity and potential danger of staphylococci (*Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus saprophyticus*) that can cause a wide range of infectious diseases, there is an urgent need to develop and implement new effective methods of disinfection, providing reliable inactivation of micro-organism data on different types of surfaces and objects in the external environment.

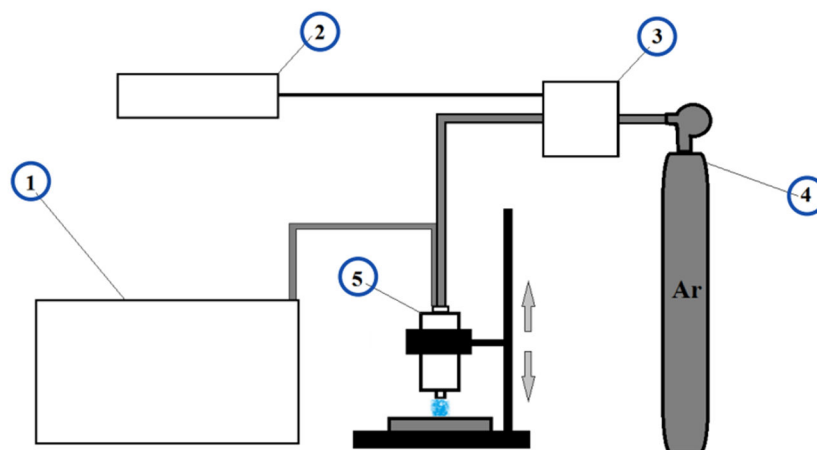
Bacteria of the genus *Staphylococcus*, including *Staphylococcus aureus* and coagulation-negative species (*Staphylococcus saprophyticus*), are among the most common human pathogens. They cause a wide range of diseases, from superficial pyoderma to severe invasive infections (pneumonia, endocarditis, osteomyelitis), as well as toxicosis. The threat is the spread of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) strains that are resistant to most β -lactam antibiotics [1]. The ability of staphylococci to form biofilms on the surface of medical implants and catheters further complicates therapy and requires new, nonscientific approaches to antimicrobial treatment.

Cold plasma is a partially ionized gas containing an unbalanced mixture of electrons, ions, neutral atoms, excited molecules and photons with temperatures close to the room. Plasma-generated active forms of oxygen and nitrogen, UV radiation and charged particles have a powerful bactericide effect, damaging the walls, membranes, proteins and DNA of microorganisms [2,3]. At the same time, the low plasma temperature allows biological tissues to be treated without risk of thermal damage.

It has been generally established that cold plasma can be an effective way to affect biological tissues in order to achieve various effects: antibacterial effect and inactivation of viruses, biocatalyst (aid in the decomposition of substances alien to the body – xenobiotics), for the treatment of diseases, associated with chronic inflammation and dangerous changes in the structure of proteins, which cause them to lose their function. Separately and actively discussed is the role of other plasma products – ozone and peroxynitrite – in bactericidal activity, that is, in direct destruction of microbes, which makes it a promising antiseptic. Thus, the interest in cold plasma applications in medicine and the need to develop effective and safe clinical protocols require deciphering key mechanisms of plasma influence on cells and tissue.

In this article, the author shows that a key role in the mechanism of inactivation is played by active forms of oxygen and nitrogen (in particular, atomic oxygen), generated by plasma and causing irreversible damage to cellular structures. The results confirm the prospects of using developed plasma sources to create effective and safe disinfection systems.

Basic Concepts. A system of atmospheric discharge plasma generation was used to clean the surface of the substrates. An schematic of the atmospheric plasma generation system is shown in Figure 1.



1 – power supply; 2 – control and power unit WP-12; 3 – gas flow regulator; 4 – gas cylinder (Ar); 5 – discharge system

Figure 1 – Diagram of an experimental coaxial type discharge system with dielectric barrier spread

Basic characteristics of the plasma generation system:

- type of discharge – dielectric barrier;
- discharge power >40 W
- working gas flow rate 70-350 l/min
- gas type – Ar

Among the many ways of creating a diffused dielectric barrier discharge, the simplest technical implementation is the coaxial configuration of the discharge system. When the gas passes through a tube in the area between the electrodes, atmospheric discharge is formed.

Two types of discharge systems were used to generate dielectric barrier plasma (DRB) at atmospheric pressure:

- coaxial discharge system;
- a planar discharge system.

The coaxial discharge system is a dielectric tube with metal electrodes inside and outside it (Figure 2). The quartz tube has an external diameter of 8 mm. The internal electrode is a hollow metal rod with a diameter of 1 mm. The outer electrode consists of a copper foil closely attached to a quartz tube, 10 mm wide.

The gas is continuously pumped through the discharge system, thereby removing heat from the discharge zone, excited particles and products of various plasma chemical reactions that typically impair the stability and performance of the discharge.

This discharge system provides a temperature in the processing area below 40°C , as well as high stability by inhibiting streamer through a dielectric barrier between electrodes.

The planar discharge system is designed for handling large areas and consists of two flat electrodes, one of which is covered by a dielectric barrier.

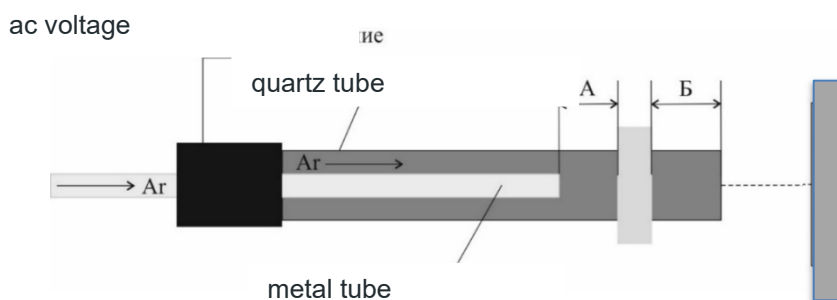


Figure 2 – Diagram of an experimental coaxial type discharge system with dielectric barrier spread

Growth of culture. Two species of bacteria of the genus *Staphylococcus* have been used as test cultures:

1 *Staphylococcus aureus* is a gram-positive coccus with a wide range of pathogenicity and clinical significance.

2 *Staphylococcus saprophyticus* – a causative agent of extracorporeal infections, also used as a model object.

Cultures are provided by the microbiology laboratory of the biological faculty of BSU.

The planting of microorganisms was carried out in a continuous layer on the surface of the dense nutrient medium in petri dishes using a bacteriological loop in the area of the burner flame. The flame heats the surrounding air, causing a local upward flow of air from the working surface, which reduces the likelihood of aerosols, dust and unwanted microorganisms that do not participate in the experiment. Continuous planting is a method of cultivating microorganisms in a solid nutrient medium, where the surface of the agar-agar is evenly covered by a microbial suspension to produce uniform monotone growth throughout the entire area of the petri dish.

The cultivation of *staphylococcus* requires a specially prepared nutritional environment, which is associated with control of growth conditions, reproducibility of results, safety and diagnostic informational. For the preparation of a nutritious medium, chicken fillet and agar-agar are needed as a source of proteins and amino acids, while agar-agar serves as a solid gel-forming component. The chicken fillet needs to be cooked, and the resulting broth needs to be filtered. In the hot solution, the agar-agar is dissolved so that when cooled it will freeze and form a floorboard surface suitable for growing colonies. The mixture is sterilized in alcohol flames to exclude foreign microorganisms, then the solution is distributed over sterile petri dishes where it is fixed and ready for stapling of the staph. Cultivated *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus saprophyticus* are shown in figures 3 and 4.

Petri cups with a seeded surface were treated with a plasma torch at a distance of 10–15 mm from the slit of the discharge system nozzle to the surface of the medium. The processing time (from 1 to 15 minutes) and discharge power (40 and 60 W) varied. The plasma gas flow rate (argon) was 130–180 L/h.

After processing, petri dishes were placed in a thermostat for incubation at the optimal temperature. The effectiveness of disinfection was assessed by a visual method that took into account the number of colonizing units grown on the surface of the nutrient medium. The degree of inhibition was defined as the percentage ratio of the number of colonies that grew in treated and control (untreated) cups.

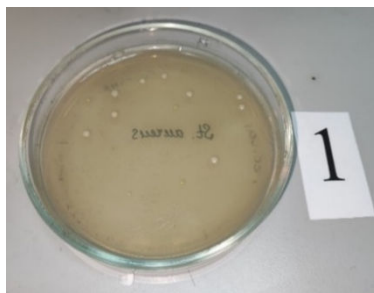


Figure 3 – Cultivated *Staphylococcus aureus*

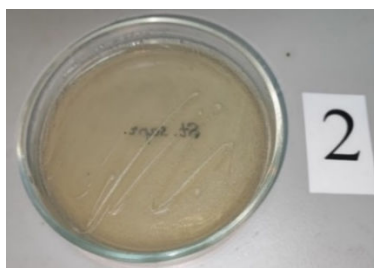


Figure 4 – Cultivated *Staphylococcus saprophyticus*

Results. Experiments on the disinfection of a staphylococcus-populated surface of a nutrient medium have demonstrated the high efficiency of the plasma sources developed. The static analysis did not reveal significant differences in plasma sensitivity between gold and saprophyte staphylococcus, allowing the data for both species to be considered together.

Figure 5 shows the dependency of the bacterial inhibition percentage on the processing time for coaxial system. It can be seen that the process of inactivation has a pronounced time dependency. At 40 W and 15 mm, full inhibition (100% bacterial death) was achieved after 10 minutes of processing. The increase of capacity to 60 W allowed a reduction in the time for full disinfection to 10 minutes, with inhibition of more than 90% of colonies observed after 5 minutes of treatment.

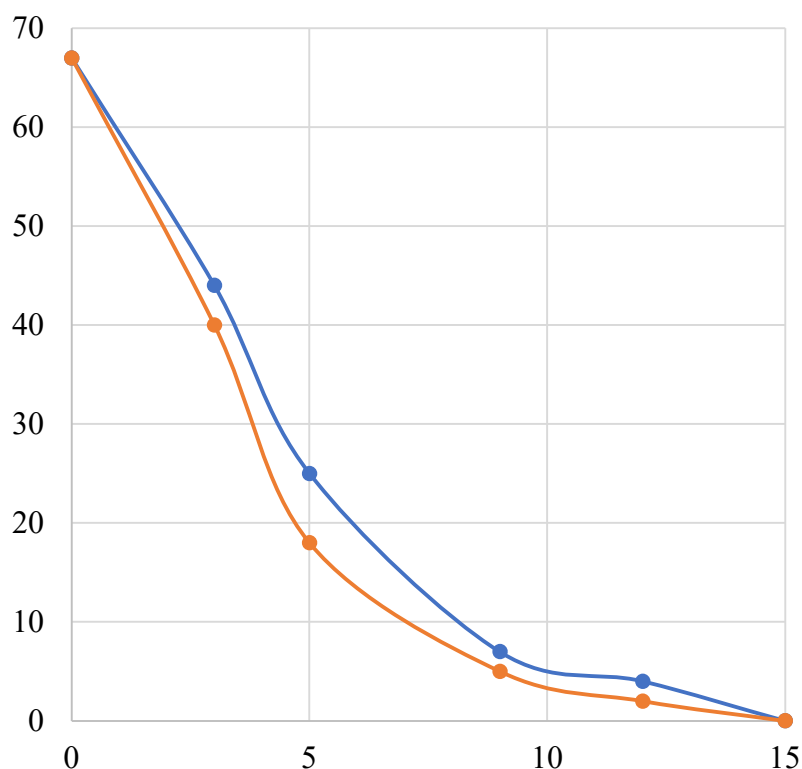


Figure 5 – Percentage of inhibition per surface treatment time

Conclusion. During the work, it was determined that for a coaxial discharge system with a gas flow rate of 180 l/h, a capacity of 40 W and a distance of 15 mm, full inactivation of the staphylococcus could be achieved in 10 minutes. For the surface discharge, a similar effect was observed at 50 W, 10 mm distance and 15 minutes processing time.

Thus, the numerical results confirm the energy efficiency and high antimicrobial activity of the dielectric discharge barrier plasma: optimal modes allow to form a stable flame up to 24 mm long, reduce energy consumption by 50%, and ensure complete disinfection of bacterial cultures in 10–15 minutes.

References

1. Fridman, G. *Applied Plasma Medicine* / G. Fridman [et al.] // *Plasma Processes and Polymers* / – 2008. – Vol. 5, № 6.
2. Laroussi, M. *Low Temperature Plasma in Medicine* / M. Laroussi. – Cambridge : Cambridge University Press, 2018. – 300 p.
3. Lukes P., Dolezalova E., Sisrova I., Chupek M. *Aqueous-phase chemistry and bactericidal effects from an air discharge plasma in contact with water: evidence for the formation of peroxynitrite through a pseudo-second-order post-discharge reaction of H₂O₂ and HNO₂* // *Plasma Sources Science and Technology*. – 2014. – Vol. 23, № 1. – P. 015019. – <https://doi.org/10.1088/0963-0252/23/1/015019>.

**СЕКЦИЯ
«ПЕРВЫЙ ШАГ В НАУКУ»**

МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ ДЛЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ

Михайловский С.Г.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Белоусова Е.С. – к. т. н, доцент, доцент кафедры ЗИ

Аннотация. В статье рассматривается роль методики тестирования на проникновение в деятельности подразделений кибербезопасности. Раскрываются ключевые этапы разработанной методки: разведка, сканирование, анализ уязвимостей, эксплуатация, закрепление в системе и нагрузочное тестирование. Особое внимание уделяется современным инструментальным средствам, включая AI-first сканеры, технологии эксплуатации уязвимостей и автоматизации обработки данных. Подход ориентирован на практическое использование атакующими и защищающими командами для объективной оценки защищенности корпоративных информационных систем.

Ключевые слова: тестирование на проникновение, пентест, методика, эксплуатация уязвимостей, импланты, C2-каналы, автоматизация, AI-безопасность, команда кибербезопасности, Red Team, Blue Team.

Введение. Современные корпоративные информационные системы представляют собой сложные распределенные комплексы с облачными платформами, виртуализацией, микросервисами и множеством внешних интеграций. В условиях роста кибератак обеспечение информационной безопасности требует регулярной оценки эффективности средств защиты, ключевым инструментом которой выступает тестирование на проникновение. В крупных организациях функции могут быть разделены между «красными» (Red Team) и «синими» (Blue Team) командами, а эффективное взаимодействие между ними невозможно без формализованной методики. Настоящая статья посвящена разработке комплексной методики тестирования на проникновение, включающей этапы проведения, инструментальное обеспечение на базе AI-first сканеров и автоматизацию. Предлагаемый подход ориентирован на практическое применение подразделениями кибербезопасности для объективной оценки защищенности корпоративных информационных систем [1].

Основная часть. Разработанная методика базируется на модели Cyber Kill Chain и включает шесть последовательных этапов, обеспечивающих полноту охвата всех стадий атаки: от сбора информации до закрепления в системе.

Этап планирования и подготовки, формализует цели, объем и правила взаимодействия. Определяются объекты оценки: внешний периметр (веб-приложения, шлюзы), внутренняя инфраструктура (серверы приложений, БД, СХД), сетевая архитектура (VLAN, межсетевые экраны, микросегментация), человеческий фактор. На данном этапе формируется команда, распределяются роли, разрабатывается план взаимодействия с заказчиком, включая информирование о критических находках и механизмы экстренного прекращения тестирования.

Этап разведки делится на пассивные и активные методы, при этом пассивная разведка включает анализ IP-адресов, DNS-имен, соцсетей, архивов сайтов с использованием theHarvester (сбор email и поддоменов), Maltego (визуальный анализ связей), Shodan (поиск устройств в глобальной сети). Активная разведка, это этап сканирование портов, определение версий сервисов, определение топологии сети. Автоматизация обеспечивается скриптами, которые выполняют последовательный запуск OSINT-инструментов, парсинг данных, формирование списков активных хостов и подготовку отчетов для импорта в другие системы [2].

Этап сканирования и анализа уязвимостей, обеспечивается применением Masscan, который позволяет осуществлять высокоскоростное обнаружение активных узлов и портов

(до миллионов пакетов в секунду). Nmap выполняет детальный анализ версий сервисов, ОС и специализированные скрипты безопасности. Nmap с набором скриптов vulners автоматически сопоставляет версии ПО с CVE и оценивает критичность по CVSS. AI-first сканер MEDUSA (открытая платформа, 76+ анализаторов, 7300+ правил) выявляет классические уязвимости (SQL-инъекции, XSS) и риски AI-компонентов, LLM-интеграций. Преимущества сканера AI-first в снижении ложных срабатываний до 74 %, контекстная приоритизация рисков, поддержка более 42 языков (Python, JavaScript, Docker, конфигурации AI-агентов) [3].

Этап эксплуатации уязвимостей и закрепления в системе позволяет моделировать действия злоумышленника. Как правило, эксплуатация выполняется с использованием публичных эксплойтов Metasploit для получения начального shell-доступа. Ключевое отличие методики в обязательном закреплении в системе для оценки способности средств защиты обнаруживать активность после получения доступа. Для этого используется платформа Sliver, позволяющая генерировать импланты на сервере C2 с обфускацией, что делает каждый экземпляр уникальным, усложняя сигнатурный анализ. Архитектура импланта включает ядро агента на Go, поддерживает протоколы C2 (HTTPS, DNS, mTLS, WireGuard), модульная структура снижает вероятность обнаружения. После установления C2 выполняются сбор информации, повышение привилегий и горизонтальное перемещение для оценки сетевой сегментации и принципа минимальных привилегий.

Этап тестирования устойчивости и доступности, проводится на трех уровнях модели OSI: сетевом (hping3 для реализации SYN-flood, UDP-flood или проверки межсетевых экранов, IPS, SYN Cookies), транспортном (thc-ssl-dos для проверки устойчивости TLS/SSL к атакам, связанным с повторным согласованием соединения, выявление некорректных конфигураций веб-серверов), прикладном (siege для нагрузочного тестирования веб-сервисов, оценки кэширования, балансировщиков, отказоустойчивости). Автоматизация достигается скриптами, стандартизирующими параметры тестирования [3].

Этап анализа результатов и формирования рекомендаций, базируется на документировании уязвимостей с указанием методов эксплуатации, использованных инструментов и доказательной базы (логи C2, скриншоты). Формируется матрица рисков по CVSS с учетом бизнес-контекста. Предлагаются меры по совершенствованию СЗИ (формируется дорожная карта повышения защищенности).

Реализация представленной методики требует применения систематизированного набора инструментов, охватывающих все этапы тестирования. В таблице 1 представлены основные категории инструментов и их роль в методике.

Таблица 1 – Инструменты обеспечения методики тестирования на проникновение

Категория	Инструменты	Назначение
Базовая платформа	Kali Linux	Унифицированная операционная среда с предустановленным набором инструментов безопасности
Разведка и OSINT	theHarvester, Maltego, Shodan	Сбор информации из открытых источников, визуальный анализ связей, поиск устройств и сервисов
Сканирование портов	Masscan, Nmap	Высокоскоростное обнаружение активных узлов, детальное определение версий и операционных систем
Анализ уязвимостей	Nmap (скрипт vulners), MEDUSA	Поиск известных уязвимостей (CVE), AI-first статический анализ кода и конфигураций
Эксплуатация уязвимостей	Metasploit Framework	Выполнение эксплойтов, автоматизация атак
Закрепление и C2	Sliver	Генерация имплантов, управление каналами C2, пост-эксплуатация
Нагрузочное тестирование	hping3, thc-ssl-dos, siege	SYN-флуд, SSL renegotiation, нагрузочное тестирование веб-приложений
Социальная инженерия	GoPhish	Моделирование фишинговых кампаний, оценка человеческого фактора
Автоматизация процессов	Скрипты Python/Bash	Автоматизация сбора данных, обработки результатов, формирования отчетов

В ходе разведки скрипты последовательно собирают данные через OSINT-инструменты, фильтруют результаты, формируют списки активных хостов, поддоменов и email-адресов, подготавливают структурированные отчеты (JSON, XML) для импорта в системы анализа. Обеспечивается воспроизводимость и сравнительный анализ изменений атакуемой поверхности.

Скрипты выполняют двухэтапное сканирование: высокоскоростное обнаружение активных узлов Masscan, затем детальный анализ Nmap с определением версий и поиском уязвимостей. Результаты агрегируются в единый отчет. Дополнительно инициируется сканирование AI-first сканером MEDUSA, который выявляет уязвимости в коде и конфигурациях, снижая ложные срабатывания до 74 % [2].

Нагрузочное тестирование реализуется скриптами, последовательно запускающими различные типы атак (SYN-флуд, атаки на TLS/SSL, нагрузочное тестирование веб-сервисов), собирающими метрики производительности и формирующими сводные отчеты. Стандартизация параметров обеспечивает воспроизводимость результатов и сравнение показателей до и после изменений [3].

Скрипты агрегируют результаты всех этапов, формируют матрицу рисков с оценкой критичности уязвимостей и подготавливают итоговый отчет для передачи заказчику и интеграции с системами управления уязвимостями. Это сокращает время подготовки документов и обеспечивает единообразие результатов при повторных тестированиях.

Разработанная методика тестирования на проникновение повышает эффективность Red Team и Blue Team.

Для Red Team она обеспечивает системность, воспроизводимость и накопление знаний. Автоматизация высвобождает ресурсы для нестандартных задач, требующих глубокого понимания архитектуры.

Для Blue Team результаты тестирования позволяют приоритизировать устранение уязвимостей и настраивать системы обнаружения инцидентов. Автоматизированная отчетность ускоряет идентификацию критических рисков.

Взаимодействие команд строится на совместном планировании. Информированное тестирование оценивает не только возможность эксплуатации уязвимостей, но и способность службы ИБ их своевременно обнаружить. Совместный анализ предоставляет детальную информацию о методах, инструментах и тактиках для настройки систем обнаружения.

Особую ценность имеет этап закрепления в системе с использованием платформы Sliver. Развертывание обфусцированного импланта и установление скрытого канала C2 подтверждает неспособность средств защиты блокировать полиморфные нагрузки, доказывая необходимость поведенческого анализа и XDR. DNS-туннелирование для управления и эксфильтрации данных выявляет недостаточную глубину анализа служебных протоколов сетевой защитой [2].

Заключение. Разработанная методика представляет собой систематизированный подход к оценке защищенности корпоративных информационных систем, интегрирующий ключевые этапы тестирования на проникновение, современные инструментальные средства и автоматизацию процессов. Ее реализация обеспечивает системность и воспроизводимость оценки, объективную оценку эффективности средств защиты, выявление не только наличия уязвимостей, но и реальной возможности их эксплуатации, формирование обоснованных рекомендаций.

Для команд Red Team и Blue Team методика создает основу системной работы и накопления знаний, а автоматизация позволяет сосредоточиться на сложных задачах. Для подразделений кибербезопасности результаты становятся объективной основой приоритизации защитных мероприятий и оценки эффективности внедренных средств.

Список литературы

1. Бегаев А.Н., Бегаев С.Н., Федотов В.А. Тестирование на проникновение. – СПб: Университет ИТМО, 2018. – 45 с.
2. Парасрам Ш. Kali Linux. Тестирование на проникновение и безопасность/Шива Парасрам. – Москва: ДМК Пресс, 2021. – 432 с.
3. Efe A. A risk assessment on usage of Kali tools to hack and manipulate web-based MIS and ERP applications // *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*. – 2025. – Vol. 11, № 1. – P. 62–80.

UDC 004.62

PENETRATION TESTING METHODOLOGY FOR CYBERSECURITY DEPARTMENTS

Mikhailovsky S.G.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Belousova E.S – Cand. of Sci., associate professor

Annotation. This article examines the role of penetration testing methodology in cybersecurity activities. It describes the key stages of the developed methodology: reconnaissance, scanning, vulnerability analysis, exploitation, persistence in the system, and load testing. Particular attention is paid to modern tools, including AI-first scanners, vulnerability exploitation technologies, and automated data processing. The approach is designed for practical use by attack and defense teams for objectively assessing the security of corporate information systems.

Keywords: penetration testing, pentest, methodology, vulnerability exploitation, implants, C2 channels, automation, AI security, cybersecurity team, Red Team, Blue Team.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ПРОТИВОДЫМНОЙ ЗАЩИТЫ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

Прусенкова А. О.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Галузо В. Е. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В многоэтажных зданиях для обеспечения незадымляемости путей эвакуации при пожаре, согласно нормативным документам, должна быть система противодымной защиты. В состав этой системы входит система компенсирующей подачи воздуха. Для обеспечения эффективности системы противодымной защиты предлагается использовать не вертикальные вентиляционные шахты компенсирующей подачи, а горизонтальные.

Ключевые слова: Противодымная защита (ПДЗ), многоэтажные здания, незадымляемость путей эвакуации, компенсирующая подача воздуха, дымоудаление, горизонтальные воздуховоды, вертикальные вентиляционные шахты, перепад давления, естественная вентиляция, эвакуация при пожаре.

Введение. Согласно [1,2] во всех многоэтажных зданиях любого функционального назначения должна быть вентиляционная система противодымной защиты (ПДЗ). Система ПДЗ должна обеспечить нераспространение дыма и незадымляемость путей эвакуации при пожаре, что в свою очередь должно способствовать беспрепятственной эвакуации из зданий в кратчайшие сроки. Основной составляющей системы ПДЗ согласно [1,2] является система дымоудаления из коридора этажа пожара. Однако, как было отмечено в [3], при запуске системы ПДЗ дымоудаления из коридора не происходит до тех пор, пока не будут открыты двери из коридора на лестничную клетку. Открыть двери на лестничную клетку могут люди, эвакуирующиеся с этажа пожара, а это значит, что выходить из помещений, они будут в задымленный коридор, в котором согласно [1,2] температура дыма 300 °С. При этом не понятно, как свои функции оповещения о пожаре и управления эвакуацией будут исполнять технические средства, размещенные в коридоре, максимальная температура эксплуатации которых не превышает 55 °С [4].

Кроме того, если рассчитать параметры вентиляционной системы дымоудаления из коридора в соответствии с примерами, приведенными в [1,2], то перепады давления на закрытых путях эвакуации, нормируемые [5], будут очень большими, что будет препятствовать эвакуации.

Поэтому в [3] впервые была предложена, а затем в [1,2] прописана необходимость использования компенсирующей подачи воздуха в коридор при пожаре. В [3] была предложена идея подачи воздуха на этаж пожара при включенном вентиляторе и открытом клапане дымоудаления по горизонтальным воздуховодам без использования приточного вентилятора.

Основная часть. В соответствии с [1,2] способы подачи воздуха могут быть различными, но в основном подразделяются на использование принудительной и естественной вентиляции. При этом анализ проектных решений показывает, что на практике оба варианта используются одинаково часто. Компенсирующая подача воздуха осуществляется по вертикальным вентиляционным шахтам с использованием вентилятора или без него.

Однако, в ходе аэродинамических испытаний вентиляционных систем ПДЗ обнаруживается, что естественная компенсирующая вентиляция не выполняет свои функции. В частности, в зимний отапливаемый период года в шахтах естественной компенсирующей подачи воздуха имеет место сильная прямая тяга из-за чего на первых этажах зданий имеет место большой перепад давления на закрытых дверях путей эвакуации. Эта тяга в 25-ти

этажных зданиях высотой 75 м при температуре воздуха в коридоре здания 20°C (удельном весе 12 н/м^3) и наружного воздуха – 20°C (удельном весе 10 н/м^3) составляет около 150 Па. А это означает, что для того чтобы воздух пошел снаружи в коридор надо опрокинуть тягу создав в коридоре разрежение равное 150 Па. А это значение разрежения воздуха в коридоре является критическим так как перепад давления на закрытых дверях путей эвакуации не должно быть более 150 Па. То есть эта компенсация не эффективна и более того усугубляет ситуацию.

Кроме того, следует добавить и то обстоятельство, что согласно [1,2] в коридоре, как отмечалось выше, при пожаре температура 300°C (удельный вес 6 н/м^3), а это означает что разрежение в коридоре за счет естественной компенсации в этом случае будет еще больше и составит около 450 Па.

Закключение. Рекомендуются не использовать при проектировании вентиляционных систем ПДЗ естественной компенсирующей подачи воздуха по вертикальным шахтам. Проектировать естественную компенсацию только по горизонтальным воздуховодам, в которых отсутствует прямая тяга, как это было рекомендовано в [3] и уже реализовано в проектных решениях. Горизонтальные воздуховоды размещать непосредственно над дверями эвакуационных выходов на лестничные клетки. Тем самым обеспечивается пониженная температура воздуха над дверями, равная наружной температуре воздуха. А это значит, что температура воздуха над дверью, где размещаются световые указатели, не превышает их максимальную температуру эксплуатации.

Список литературы

1. СН 2.02.07-2020 Противодымная защита зданий и сооружений при пожаре. Системы вентиляции.
2. ТКП 45-4.0 -27 -2012 Противодымная защита зданий и сооружений при пожаре. Системы вентиляции.
3. Галузо В.Е., Литвинова О.Е. Дымоудаление: задачи и их решение. Производственно-практический журнал «Служба спасения 01-2011», №9, 2011, с.42-43.
4. Оповещатели пожарные серии «АСТО». Руководство по эксплуатации ООО «Авангардспецмонтажплюс».
5. НПБ 23-2010. Противодымная защита зданий и сооружений. Методы прямо-сдаточных и периодических испытаний.

UDC 62-95

IMPROVING THE EFFICIENCY OF SMOKE PROTECTION SYSTEMS FOR MULTI-STOREY BUILDINGS

Prusenkova A.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Galuzo V.E. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. In multi-storey buildings, to ensure smoke-free escape routes in case of fire, a smoke protection system must be provided in accordance with regulatory documents. This system includes a make-up air supply system. To ensure the efficiency of the smoke protection system, it is proposed to use horizontal ventilation shafts for make-up air supply instead of vertical ones.

Keywords: Smoke protection system, multi-storey buildings, smoke-free escape routes, make-up air supply, smoke exhaust, horizontal air ducts, vertical ventilation shafts, pressure differential, natural ventilation, fire evacuation.

АРХИТЕКТУРА ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ ИНТЕРНЕТ В КОНТЕКСТЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Вашикевич В.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Нагулевич Р.С. – магистр экономических наук, ст. преподаватель кафедры ЭИ

Аннотация. В работе рассматривается базовая архитектура сети Интернет как фундаментальной основы современных информационных систем. Раскрываются ключевые принципы построения глобальных сетей: стек протоколов TCP/IP, маршрутизация пакетов и иерархическая структура связей. Проанализированы уровни сетевого взаимодействия, подходы к адресации (IPv4, IPv6) и принципы отказоустойчивости. Данный анализ обеспечивает понимание механизмов надежной и масштабируемой передачи данных, необходимых для проектирования распределенных программных комплексов.

Ключевые слова: Архитектура Интернета, стек протоколов TCP/IP, маршрутизация, коммутация пакетов, IP-адресация, IPv4, IPv6, децентрализация, отказоустойчивость, иерархия провайдеров (Tier-1, Tier-2, Tier-3), протоколы прикладного уровня (HTTP, FTP, DNS), транспортный уровень (TCP, UDP), сетевой уровень, Интернет вещей (IoT), цифровая экономика.

Введение. В современном мире Интернет стал неотъемлемой средой для функционирования любых бизнес-процессов и информационных систем. Локальные вычислительные сети способны решать узкие задачи предприятий, однако глобальная интеграция и облачные вычисления требуют принципиально иного масштаба.

Ключевая задача архитектуры Интернета – обеспечение надежной, высокоскоростной и безопасной передачи данных между миллионами разнородных узлов. Простое физическое соединение компьютеров не позволяет масштабировать сеть. Решение этой проблемы обеспечивают унифицированные технологии сетевой архитектуры и стандартизированные протоколы обмена данными. Концепция децентрализованной маршрутизации является связующим звеном в ИТ-экосистеме: она объединяет конечные устройства, дата-центры и магистральные каналы связи в единое логическое пространство.

Цель современной сетевой архитектуры – предоставить пользователям и приложениям возможность за миллисекунды устанавливать соединения и обмениваться данными вне зависимости от их географического положения и аппаратного обеспечения.

Основная часть. Основопологающие принципы построения сети Интернет включают:

- коммутацию пакетов (разделение потока данных на независимые блоки для эффективной загрузки каналов);
- децентрализацию и отказоустойчивость (отсутствие единой точки отказа, возможность динамического изменения маршрутов);
- независимость от среды передачи данных (пакеты могут передаваться по оптоволокну, радиоканалам или медным кабелям).

Физическая архитектура Интернета строится по строгому иерархическому принципу клиент-провайдер. Основой служат высокоскоростные магистральные сети уровня Tier-1 (глобальные операторы связи), которые не платят друг другу за трафик. К ним подключаются национальные и региональные провайдеры (Tier-2), которые, в свою очередь, раздают транзит локальным провайдерам (Tier-3), обеспечивающим доступ «последней мили» конечным потребителям и предприятиям.

Центральное понятие логической архитектуры Интернета – стек протоколов TCP/IP, ставший промышленным стандартом. Он регламентирует правила взаимодействия устройств и включает четыре базовых уровня:

- прикладной уровень (HTTP, FTP, DNS) – протоколы, обеспечивающие взаимодействие сетевых приложений и сервисов с пользователем;
- транспортный уровень (TCP, UDP) – отвечает за надежную доставку сообщений от процесса к процессу, контроль целостности и управление потоком (в случае TCP);
- сетевой уровень (IP, ICMP) – базовая логическая адресация узлов и выбор оптимального пути следования пакета (маршрутизация);
- канальный и физический уровни – преобразование логических битов в физические сигналы (Ethernet, Wi-Fi) и их передача по аппаратному каналу.

Жизненно важным механизмом работы сети является система глобальной IP-адресации. В связи с исчерпанием адресного пространства классического протокола IPv4 (32-битная архитектура), в современной сетевой инженерии активно внедряется протокол IPv6 (128-битная архитектура), обеспечивающий практически безграничное количество уникальных адресов для концепции «Интернета вещей» (IoT).

Навигация в этой глобальной системе осуществляется с помощью протоколов динамической маршрутизации (таких как BGP на глобальном уровне и OSPF во внутренних сетях).

Заключение. Исходя из результатов проведенного анализа, можно сделать вывод о колоссальной практической значимости и гибкости архитектуры Интернета.

Выступая универсальным транспортным механизмом, эта архитектура обеспечивает трансформацию сложных физических связей в прозрачную среду для разработчиков и инженеров. Это позволяет специалистам проектировать масштабируемые веб-приложения, автоматизированные системы управления и распределенные базы данных.

В итоге, глубокое понимание принципов построения сети Интернет дает ИТ-специалистам возможность создавать отказоустойчивые и высокопроизводительные программные продукты, что является определяющим фактором развития цифровой экономики.

Список литературы

1. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – 5-е изд. – СПб. : Питер, 2016. – 992 с.
2. Таненбаум, Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. – 5-е изд. – СПб. : Питер, 2012. – 960 с.
3. Куроуз, Дж. Компьютерные сети. Нисходящий подход / Дж. Куроуз, К. Росс. – 6-е изд. – М. : Эксмо, 2016. – 912 с.

UDC 004.72

ARCHITECTURE OF THE INTERNET NETWORK IN THE CONTEXT OF MODERN INFORMATION SYSTEMS

Vashkevich V.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Nagulevich R.S. – Senior Lecturer, Master of Economic Sciences

Annotation. The paper examines the basic architecture of the Internet network as a fundamental foundation of modern information systems. The key principles of building global networks are revealed: the TCP/IP protocol stack, packet routing and hierarchical structure of connections. The levels of network interaction, addressing approaches (IPv4, IPv6) and principles of fault tolerance are analyzed. This analysis provides an understanding of the mechanisms of reliable and scalable data transmission necessary for the design of distributed software systems.

Keywords: Internet architecture, TCP/IP protocol stack, routing, packet switching, IP addressing, IPv4, IPv6, decentralization, fault tolerance, provider hierarchy (Tier-1, Tier-2, Tier-3), application layer protocols (HTTP, FTP, DNS), transport layer (TCP, UDP), network layer, Internet of Things (IoT), digital economy.

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Шацкий М.Г.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники¹
г. Минск, Республика Беларусь*

Самуйлов И.В. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. В данной работе представлены систематизированные методические рекомендации по проектированию многослойных печатных плат. Рассматривается полный цикл разработки топологии: от формирования структуры слоев и выбора конструкционных материалов до финальной трассировки критических цепей. В материале описаны принципы обеспечения целостности сигналов и электромагнитной совместимостью.

Ключевые слова: Печатная плата, стэк, трассировка, дифференциальная пара, класс точности, препрег, электромагнитная совместимость.

Введение. Проектирование печатных плат является обязательным этапом разработки электронных устройств и включает выбор структуры слоёв, определение технологических ограничений, размещение компонентов и трассировку соединений. Конструктивные параметры платы определяют электрические характеристики, устойчивость к помехам, тепловой режим и технологичность изготовления. Целью работы является систематизированное изложение базовых принципов формирования типовой структуры многослойных печатных плат и последовательности их проектирования с учётом технологических ограничений производства.

Основная часть. Начальным этапом разработки является определение числа слоёв. Последовательность проводящих и диэлектрических слоёв называется стеком платы. Типовые структуры используются для снижения стоимости производства и повышения повторяемости технологического процесса. В условиях ограниченных возможностей локального производства многослойных плат их изготовление часто осуществляется на специализированных предприятиях. На рисунке 1 представлена типовая структура четырёхслойной платы. На рисунке 2 показана структура шестислойной платы. Центральной частью конструкции является диэлектрическое ядро, выполняющее механическую и электрическую функции основания. Проводящие слои формируются из медной фольги методом травления. Между слоями располагается препрег, представляющий собой пропитанный связующим диэлектрический материал, обеспечивающий электрическую изоляцию и механическую фиксацию слоёв.



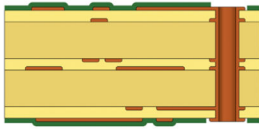
© Радонет

4-х слойная печатная плата МСО фольга 18 мкм TG150

Требуемая толщина платы, мм:	1	1,5	2
Фольга 1	0,018	0,018	0,018
Препрег 1 TG150	1 × 2116 0,115	1 × 2116 0,115	2116 + 7628 0,115 + 0,193
Фольга 2	0,018	0,018	0,018
Ядро 1 FR-4 (TG 150)	0,71	1,164	1,164
Фольга 3	0,018	0,018	0,018
Препрег 2 TG150	1 × 2116 0,115	1 × 2116 0,115	2116 + 7628 0,115 + 0,193
Фольга 4	0,018	0,018	0,018
Фактическая толщина платы*, мм:	1,012	1,466	1,852

* Без учета гальванического покрытия, финишного покрытия и маски

Рисунок 1 – Типовая структура четырёхслойной платы



6-и слойная печатная плата МСО фольга 18 мкм TG150

Требуемая толщина платы, мм	1	1,5	2
Фольга 1	0,018	0,018	0,018
Препрег 1 TG150	1 x 2116	1 x 2116	1 x 2116
Фольга 2	0,115	0,115	0,115
Ядро 1 FR-4 (TG 150)	0,018	0,018	0,018
Фольга 3	0,2	0,51	0,71
Препрег 2 TG150	0,018	0,018	0,018
Фольга 4	2 x 2116	1 x 2116	1 x 2116
Ядро 2 FR-4 (TG 150)	0,115 + 0,115	0,115	0,115
Фольга 5	0,018	0,018	0,018
Препрег 3 TG150	0,2	0,51	0,71
Фольга 6	0,018	0,018	0,018
Фактическая толщина платы*, мм:	0,968	1,473	1,873

* без учета гальванического покрытия, финишного покрытия и маски

Рисунок 2 – Типовая структура шестислойной платы

Типовые конструкции содержат чётное число слоёв, обычно от двух до шестнадцати. Платы с четырьмя и более проводящими слоями относятся к многослойным. По механическим характеристикам различают жёсткие, гибкие и гибко-жёсткие платы. Для большинства устройств общего назначения применяются жёсткие платы на стеклотекстолитовой основе [1].

Выбор числа слоёв определяется функциональной структурой схемы. Если схема содержит только аналоговые цепи или выполняет функции распределения питания, возможно применение двухслойной платы, где один слой используется для сигналов или питания, а второй – для земли. При наличии цифровых узлов требуется многослойная структура, позволяющая разделить аналоговые и цифровые слои и снизить уровень взаимных помех.

Опорный слой представляет собой проводящий слой, используемый в качестве потенциала отсчёта напряжения для группы цепей. Он также служит путём возврата токов и распределения паразитных токов утечки. Ток утечки – это нежелательный ток, протекающий через изоляционный материал или по поверхности платы между проводниками. Наличие выделенных опорных слоёв уменьшает влияние паразитных токов на рабочие цепи. Если один общий слой используется для всех цепей, колебания потенциала на нём могут приводить к отклонению уровней напряжения в различных узлах схемы.

Опорные слои выполняют также функцию электромагнитного экранирования. Токи, протекающие по сигнальным проводникам, индуцируют электромагнитные поля, которые могут воздействовать на соседние цепи. Расположение проводящего слоя земли рядом с сигнальным уменьшает распространение поля за пределы межслойного пространства. Аналогично, наличие опорных слоёв над и под сигнальным проводником уменьшает влияние внешних источников помех.

Проводящие слои делятся на сигнальные и силовые. Силовые используются для распределения питания между элементами. Сигнальные служат для передачи информационных сигналов. Связь между слоями осуществляется с помощью переходных отверстий – металлизированных каналов, обеспечивающих электрическое соединение проводников различных уровней структуры.

После выбора структуры выполняется определение класса точности. Он задаёт минимально допустимые размеры проводников, зазоров и отверстий. К параметрам класса точности относятся минимальная ширина дорожки, минимальное расстояние между элементами топологии, минимальный диаметр переходных отверстий и контактных площадок. Эти значения определяются требованиями используемых компонентов и возможностями производства. Минимальные расстояния между выводами компонентов задаются в их технической документации. Если в схеме присутствует компонент с малым

шагом выводов, класс точности платы определяется именно этим элементом. При этом остальные элементы топологии могут выполняться с большими допусками, что снижает стоимость изготовления.

Ширина проводников и диаметр переходных отверстий выбираются исходя из величины протекающего тока. Для расчёта используют специализированные программы, учитывающие толщину медной фольги, ширину дорожки и допустимый перегрев. На практике применяется фольга толщиной 18, 35 и 75 мкм. Для увеличения допустимого тока вместо увеличения толщины меди может применяться параллельное соединение проводников или полигонов.

Полигон представляет собой сплошную область меди, соединённую с определённым электрическим потенциалом. Он используется для уменьшения сопротивления возвратных токов, улучшения теплоотвода и снижения уровня помех.

Диаметр переходных отверстий также определяется токовой нагрузкой. Распространённый типовой размер составляет 0,3 мм диаметр сверления и 0,6 мм диаметр контактной площадки. Токовая проводимость переходного отверстия пропорциональна площади металлизации его стенок, поэтому для передачи больших токов применяют несколько отверстий, соединённых параллельно [2].

На этапе размещения компонентов сначала определяются точки входа и выхода сигналов, обычно расположенные у краёв платы. Затем анализируются цепи питания. Входящие напряжения фильтруются конденсаторами различного типа. Конденсаторы с большей ёмкостью устанавливаются ближе к входу питания платы, а конденсаторы малой ёмкости – максимально близко к выводам микросхем. Такое размещение уменьшает влияние флуктуаций токов от источника питания, а также помех, которые наводятся на проводник между источником питания и нагрузкой.

При размещении микросхем учитываются рекомендации производителя по топологии обвязки. Эти рекомендации позволяют корректно расположить элементы цепей стабилизации, фильтрации и согласования. Дополнительно анализируются интерфейсные цепи, для которых могут требоваться подтягивающие резисторы или согласующие цепи. Шумящие элементы и чувствительные узлы желательно размещать на расстоянии друг от друга для уменьшения взаимного влияния [3].

После размещения выполняется трассировка соединений. Рассмотрим последовательность действий на примере четырёхслойной платы. Верхний слой обычно используется для размещения компонентов и силовых цепей. Применение полигонов питания уменьшает сопротивление и индуктивность проводников. При подключении конденсаторов к полигонам используются термальные переключки – узкие проводники между площадкой и полигоном. Их применение облегчает пайку и регулирует сопротивление соединения.

При трассировке проводников предпочтительно использовать повороты под углом 45 градусов. Повороты под прямым углом увеличивают неоднородность линии и могут изменять распределение поля в проводнике.

Второй слой обычно используется как сплошной полигон земли. Он выполняет функцию опорного слоя для верхнего сигнального или силового слоя. В простых устройствах этот слой может быть полностью заполнен медью. В более сложных платах он может разделяться на участки различных потенциалов.

Третий слой часто применяется как сигнальный. На нём размещаются линии передачи цифровых сигналов. Среди них выделяют три категории: линии без требований к волновому сопротивлению, линии с контролируемым сопротивлением и дифференциальные пары. Линии первой категории допускают произвольную геометрию в пределах технологических ограничений. Линии второй категории требуют постоянной ширины и расположения над сплошным опорным слоем. Дифференциальные пары должны иметь одинаковую длину проводников, постоянный зазор между ними и одинаковые условия окружения по всей длине трассы.

При трассировке сначала выполняются наиболее критические цепи. Обычно это дифференциальные линии высокоскоростных интерфейсов. Затем прокладываются

одиночные линии с контролируемым сопротивлением, после чего остальные сигнальные соединения. Расстояние между линиями выбирается исходя из требований электромагнитной совместимости и конструкции стека. Практически используется правило, при котором расстояние между соседними дифференциальными парами принимается не менее двух или трёх толщин диэлектрического слоя между ними и опорной плоскостью.

Четвёртый слой многослойной платы часто выполняется как дополнительный слой земли или питания. Такое распределение слоёв позволяет сформировать симметричную структуру, уменьшающую механические деформации при нагреве и охлаждении.

Для линий с контролируемым сопротивлением важно отсутствие разрывов опорного слоя под трассой. Разрыв приводит к изменению распределения поля и изменению характеристического сопротивления. По этой причине такие линии не проводят над прорезями в полигонах или областями с другим потенциалом [4].

В высокочастотных схемах учитываются также длина линий и задержки распространения сигнала. Однако в платах для низкочастотных устройств эти факторы оказывают меньшее влияние и могут не учитываться на ранних этапах проектирования.

Заключение. Таким образом, проектирование многослойной печатной платы представляет собой последовательный процесс, включающий выбор структуры слоёв, определение технологических ограничений, размещение компонентов и трассировку соединений. Конструктивные решения должны приниматься с учётом электрических параметров схемы, требований компонентов и возможностей производства. Соблюдение изложенных принципов позволяет получить плату с предсказуемыми характеристиками и технологичной конструкцией.

Список литературы

1. Типовые сборки и конструкции печатных плат [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rezonit.ru/directory/v-pomoshch-konstruktoru/proektirovanie-elementov-konstrukcii-pechatnoj-platy-proizvodstva-v-rezonit/tipovye-sborki-i-konstruktsii-pechatnykh-plat/> Дата доступа: 15.11.2025.
2. Многослойные печатные платы [Электронный ресурс]. Режим доступа: pcbtech.ru Дата доступа: 15.11.2025
3. Практические рекомендации по разработке печатных плат / Тютюков С.А.: Тютюков С.А., 2020. 190 с.
4. Проектирование современных печатных плат. Часть 7. Трассировка сигнальных линий. Дифференциальные пары / Тютюков С.А.: Компоненты и технологии, 2018

UDC 621.3.049.75

DESIGN AND PRINCIPLES OF MULTILAYER PRINTED CIRCUIT BOARDS

Shatskiy M.G.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Samuilov I. V. – Senior Assistant at the Department of EET

Annotation. This paper presents systematic methodological recommendations for the design of multilayer printed circuit boards. The full cycle of topology development is considered: from the formation of the layer structure and the selection of structural materials to the final tracing of critical circuits. The material describes the principles of ensuring signal integrity and electromagnetic compatibility.

Keywords. printed circuit board, stackup, routing, differential pair, precision class, prepreg, electromagnetic compatibility.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Середа И.С.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Нестеренков С.Н. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПОИТ

Аннотация. Исследование актуальных решений для проектирования и реализации децентрализованных социальных сетей. Рассмотрены различные подходы к организации сети для обработки и хранения данных пользователей. Описаны актуальные архитектуры и примеры их реализаций. Рассмотрены основные проблемы и преимущества каждого из подходов и данного типа систем. Предложены будущие тенденции развития данного направления разработок.

Ключевые слова: децентрализованные социальные сети, архитектурные решения

Введение. Децентрализованные социальные сети представляют собой сеть для распределения данных и запросов для управления ими. В то время как наиболее активно посещаемые социальные сети, такие как *Twitter* или *Instagram*, используют централизованный архитектурный подход, где используется единый сервер для управления данными пользователей, в децентрализованном варианте нет единой главной сущности, диктующей структуру данных и правила управления ими. Децентрализованные системы предоставляют больше контроля пользователям над своими данными, упрощают расширение сети при росте нагрузок и позволяют локализовать различные части сети друг от друга для повышения надежности и приватности данных пользователей. Степень децентрализации разнится от реализаций и зависит от требований к расширяемости, безопасности, надежности, скорости и пользовательскому опыту. Разработка данных систем является крайне трудоемкой задачей, где необходимо реализовать набор правил, поддерживающий распространение данных и действий пользователей, а также их синхронизацию между серверами.

В связи с этим существуют различные схемы организации данных систем, которые и будут рассмотрены в данной работе. Будут рассмотрены не только теоретические сведения работы различных подходов, но и примеры наиболее совершенных систем и их принципов организации.

Основная часть. Среди актуальных ныне способов организации децентрализованных социальных сетей можно выделить федеративную, *Peer-to-Peer (P2P)* и блокчейн архитектуры [1].

Федеративные социальные сети оперируют сетью серверов, между которыми распределены ответственности по хранению и обработке данных пользователей. Чаще всего в таких сетях пользователи могут сами создавать свои сервера в общую сеть, участвуя в обмене данными с другими серверами и предоставляя место для других пользователей. При этом каждый сервер способен работать независимо от остальной сети, предоставляя доступ лишь определенному кругу пользователей. Серьезным вопросом при разработке федеративной социальной сети является организация данных пользователей. Так как защищенность данных пользователя в федеративных системах возлагается на выбранный им сервер, недобросовестные сервера имеют возможность украсть или изменить личную информацию без ведома ее владельца. Современные федеративные социальные сети применяют различные алгоритмы рейтинга и криптозащиты данных для повышения безопасности.

Наиболее популярные социальные сети с федеративной организацией это *Mastodon* и *Bluesky*. *Mastodon* предоставляет возможность создавать полноценные сервера и интегрировать их в общую сеть, в том числе с другими приложениями, интегрирующими

протокол *ActivityPub*. Также возможности протокола *ActivityPub* позволяют определять новые объекты для конкретного сервера, тем самым специализируя их [3]. *Bluesky* децентрализует в первую очередь данные пользователей, оперируя с множеством банков данных. Данные пользователей обрабатываются набором серверов, после чего каждый из пользователей получает обработанный набор данных. Такой подход позволяет серверам иметь более обширное представление о пользователях, предоставляя лучшую аналитику по сравнению с другими подходами, а пользователям удобно переносить и восстанавливать свои данные.

P2P архитектура представляет собой сеть без выделенных серверов, а все взаимодействия происходят напрямую между пользователями. Данные, соответственно, тоже хранятся непосредственно у пользователей, обеспечивая их надежность и переносимость. Для поиска других пользователей в сети могут быть применены различные сторонние методы поиска (распределённые хеш таблицы, активное сканирование). Главными недостатками сети в таком виде является ее плохая расширяемость относительно количества пользователей и доступность данных. Поэтому современные реализации используют промежуточные сервера для упрощения адресации между пользователями и ускорения запросов по поиску необходимой информации.

Nostr – один из наиболее актуальных протоколов для организации *P2P* социальной сети через сеть промежуточных серверов. Каждый пользователь имеет свою пару криптографических ключей для подтверждения подлинности постов.

Блокчейн архитектура организует все посты в качестве транзакций в общий публичный реестр. Действия пользователей преобразуются в блоки, после чего сеть рабочих компьютеров подтверждает подлинность данного блока в обмен за награду. Блокчейн системы могут быть реализованы различным образом, в том числе поверх уже существующих криптовалют. Данная структура создает публично верифицируемую и открытую социальную сеть, практически не подвергаемую цензуре. Главной же проблемой данной структуры является высокая стоимость проведения транзакций, из-за чего стоимость хранения данных в публичном реестре крайне высока. Это ограничение может быть частично нивелировано использованием стороннего сервиса для хранения большинства данных, в то время как блокчейн лишь является подтверждением подлинности данных. Также невозможность скрыть приватную информацию (например, личные сообщения) сильно ограничивает область применения подобных систем.

Среди социальных сетей с блокчейн архитектурой можно выделить *Lens Protocol*, организованный поверх платформы *Polygon*, в которой все действия сохраняются как невзаимозаменяемый токены в сети, а данные сохранены во внешних хранилищах.

Ни одну из данных архитектур невозможно назвать оптимальной или общепринятой. Хотя наибольшее распространение на данный момент имеет федеративная организация сети, повышенный порог входа из-за особенностей реализации не позволяют таким сетям как *Bluesky* и *Mastodon* предоставить тот же опыт удобства пользовательского взаимодействия, что и привычные широкому кругу пользователей социальные сети. Другие же архитектуры не получили широкого распространения в силу ограниченности возможностей. Среди наиболее актуальных проблем для децентрализованных социальных сетей всех видов можно выделить:

- предоставление пользователям анонимности переписки;
- модерация контента и способы контроля авторизации в систему;
- синхронизация данных между пользователями;
- разработка сценариев работы при частичной или полной недоступности узлов сети.

Помимо этого, адаптация децентрализованных социальных сетей широким кругом пользователей усложняется из-за доминантного положения классических социальных сетей на рынке. Многие варианты архитектур и реализаций для децентрализованных социальных сетей были предложены лишь в виде теоретических моделей и не были в полной мере реализованы и развернуты в глобальной сети. Среди таких можно выделить следующие сети: *Safebook*, предложивший *P2P* организацию с использованием множества слоев нод различных уровней для структурирования поиска; *DECENT*, организующий сеть через множество модульных

систем, каждая из которых независима от других и способна к расширению; *FOAF+SSL*, реализующий взаимодействие пользователей на основе *SSL* сертификатов для подтверждения личности пользователей [4].

Имеется возможность реализации гибридной архитектуры, использующий элементы нескольких архитектур сразу. В основном были предложены варианты интеграции *P2P* и блокчейн архитектур. За последние годы было теоретически разработано множество подобных решений, но на данный момент доступных с конкретно гибридным подходом нет. Тем не менее, как и во многих сферах разработки ПО, оптимальные решения используются вне зависимости от архитектур, из-за чего можно ожидать большее число гибридных решений.

Заключение. В заключение можно сказать, что несмотря на все сложности реализации, все еще остается набор веских причин для продолжения разработки архитектурных решений и программных средств для реализации децентрализованных социальных сетей. В первую очередь это контроль над своими данными. Децентрализованные системы предоставляют среду, в которой пользователь сам выбирает лицо для управления своими данными. Это порождает возможности удобной миграции данных, контроль на алгоритмами рекомендаций, контроль уровня приватности данных. Практически все предложенные варианты архитектур стремятся распределить данные равномерно по сети тем или иным образом. Примеры успешно развивающихся социальных сетей с децентрализованной структурой показывают позитивную тенденцию привлечения пользователя к социальным сетям без централизованного контроля. Развитие текущих архитектур является важной ступенью на пути к общемировой адаптации децентрализованных сетей.

Список литературы

1. Jeong U, Ng LH, Carley KM, Liu H. Navigating decentralized online social networks: An overview of technical and societal challenges in architectural choices. / *arXiv preprint arXiv:2504.00071*, 2025.
2. Thomas Paul, Antonino Famulari, Thorsten Strufe, A survey on decentralized Online Social Networks. / *Computer Networks – 2014 – Vol 75, Part A – Pp. 437-452*.
3. Nian S, Huang A, Reed B. Building a Mastodon Compatible Java Server for ActivityPub. / *arXiv preprint arXiv:2412.09011*. 2024.
4. Yeung CM, Liccardi I, Lu K, Seneviratne O, Berners-Lee T. Decentralization: The future of online social networking. / *Linking the world's information: essays on tim berners-lee's invention of the world wide web – 2023 – Pp. 187-199*.
5. Datta A, Buchegger S, Vu LH, Strufe T, Rzdca K. Decentralized online social networks. / *Handbook of social network technologies and applications – 2010 – Pp. 349-378 – Springer, New York, NY*.

UDC 004.72+004.92

MODERN APPROACHES TO IMPLEMENTING DECENTRALIZED SOCIAL NETWORKS

Serada I.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Nesterenkov S.N. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ITS

Annotation. This paper examines current solutions for the design and implementation of decentralized social networks. Various approaches to organizing a network for processing and storing user data are considered. Current designs and implementation examples are described. The main challenges and advantages of each approach and system of this type are discussed. Future trends in this area of research are proposed.

Keywords: decentralized social networks, architectural solutions.

УДК 62.783.1

РАЗРАБОТКА ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА С ФУНКЦИЕЙ ДЕТЕКЦИИ КРИТИЧЕСКИХ ЗВУКОВ В ЗАДАННОМ ДИАПАЗОНЕ ДЕЦИБЕЛ И ЭКСТРЕННЫМ ОПОВЕЩЕНИЕМ НАСЕЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ МОБИЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Мишук В.Е.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бересневич А.И. – магистр техн. наук, ст. преподаватель кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматривается идея разработки специализированной системы акустического мониторинга, предназначенной для реагирования на критические звуки в заданном диапазоне частот и децибел в условиях городской среды и местах массового пребывания людей. Анализируются принципы работы модуля обнаружения, основанного на обработке характеристик звука и сравнении с заданными диапазонами для отсеивания не подходящих во избежание ложных срабатываний. Идея интегрирования системы с протоколами экстренного оповещения, обеспечивающей мгновенную рассылку геолокационных сигналов тревоги на мобильные устройства граждан, находящихся в радиусе срабатывания системы. Рассматриваются ключевые аспекты повышения ситуационной осведомлённости, сокращения времени реагирования и минимизации рисков для граждан.

Ключевые слова: акустический мониторинг, система обнаружения звуков, интеллектуальная детекция, экстренное оповещение населения, геолокация, *Cell Broadcast*, безопасность мест массового пребывания.

Введение. Современные системы безопасности мест массового пребывания людей в основном осуществляются через видеокамеры (визуальный контроль). Однако критически важные события часто идентифицируются по звуку (крики, шум падения, звуки разрушений), который не всегда может быть передан видеокамерой. Традиционные методы оповещения (громкоговорители, сирены) не всегда эффективны в условиях городского шума и не позволяют адресно проинформировать только тех граждан, которым угрожает непосредственная опасность. Также они способны лишь больше разжечь панику и дезориентировать граждан. Разработка систем, которые способны автоматически отслеживать критические звуки и мгновенно оповещать людей в зоне риска через их мобильные устройства, является актуальной задачей повышения безопасности.

Основная часть. Система акустического мониторинга представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий из чувствительных датчиков (микрофонов), модуля обработки сигналов и модуля оповещения. В отличие от стандартных приборов, показывающих уровень шума, задачей системы является не просто измерение уровня громкости в децибелах, а классификация источника звука. Ключевым элементом является модуль детекции, работающий в заданном диапазоне, например, от 80 дБ и выше, что позволяет игнорировать фоновый шум и фокусироваться на потенциально опасных акустических событиях [1].

1 Алгоритмы обработки и фильтрации. Для идентификации угроз рекомендуется использовать методы спектрального анализа и машинного обучения. Звуковой сигнал преобразуется в спектрограмму, после чего искусственный интеллект может сравнить его с заданными шаблонами. Важнейшей задачей является отсеивание ложных срабатываний, так как система должна отличать звук разбитого стекла, петарды криков нескольких людей от хлопка двери, грома, плача ребенка. В местах массового пребывания людей, где высока плотность случайных звуков, шумов, качество фильтрации должно быть приоритетной задачей.

2 Принцип геолокационного оповещения. После подтверждения факта критического события, превышение порога громкости и совпадение полученной спектрограммы с заданным шаблоном, система определяет координаты инцидента и включает модуль экстренного оповещения. Интеграция с сотовыми сетями позволяет использовать технологию *Cell Broadcast*, при которой сигнал тревоги рассылается на все мобильные устройства, подключенные к базовым станциям в заданном радиусе, например 500 метров от места срабатывания датчика [2]. Это гарантирует получение сигнала гражданами с ограниченными возможностями, а также людям, у которых отключен звук на телефоне. Это позволяет избежать паники среди населения, находящегося за пределами опасной зоны.

3 Преимущества и недостатки подхода. При оценке эффективности внедрения систем акустического мониторинга с функцией экстренного оповещения необходимо учитывать как их явные преимущества перед традиционными методами обеспечения безопасности, так и существующие ограничения, связанные с технической реализацией и инфраструктурными требованиями.

Преимуществами системы являются:

- реакция на автоматическое оповещение гораздо быстрее, чем при визуальном обнаружении через видеокамеры или при звонке очевидца.
- информирование только людей в зоне реальной опасности не допускает поднятие паники вне зоны, где была зафиксирована угроза.
- в отличие от видео, звуковые датчики работают одинаково эффективно днем и ночью, а также в условиях ограниченной обзорности и недостаточной видимости.
- автоматизация процесса первичного обнаружения позволяет снизить нагрузку на операторов служб экстренного реагирования.

К недостаткам можно отнести сложность настройки алгоритмов распознавания под конкретную акустическую среду города, высокую стоимость высокоточных датчиков и зависимость от инфраструктуры сотовых операторов для реализации рассылки. Недостатками также являются высокая стоимость высокоточных акустических датчиков и необходимость их размещения с определенной плотностью, обеспечивая точную детекцию источника звука, увеличивают бюджет внедрения системы, особенно на крупных территориях со сложной архитектурой. Зависимость от инфраструктуры сотовых операторов для реализации механизма рассылки геолоцированных оповещений накладывает ограничения на зону покрытия, требует заключения соглашений с провайдерами связи и создает риски сбоев при перегрузке сетей в момент чрезвычайной ситуации.

Однако, несмотря на перечисленные недостатки, развитие технологий обработки сигналов и повсеместное распространение мобильной связи создают предпосылки для постепенного преодоления указанных ограничений. Совершенствование методов машинного обучения позволяет повышать точность распознавания звуков, а внедрение стандартов *4G* и *5G* и технологии *Cell Broadcast* открывает новые возможности для надежного и быстрого оповещения населения.

4 Интерес представляет зарубежный опыт интеграции систем детекции угроз с мобильными протоколами оповещения. В частности, израильская национальная система оповещения «Цева Адом» (ивр. צבא אדום – «Красный цвет») демонстрирует эффективность подхода, основанного на автоматическом выявлении источника опасности с помощью радиолокационных средств и последующей рассылке сигнала тревоги населению, находящемуся в зоне потенциального поражения [3]. С 2014 года оповещения системы доступны через мобильные приложения, а в настоящее время Командование тыла Израиля использует технологию *Cell Broadcast*, позволяющую мгновенно рассылать геолоцированные предупреждения на все мобильные устройства в опасном радиусе даже при перегруженности сетей [4]. Адаптация данного принципа для задач акустической детекции критических уровней шума позволяет создать локальный «цифровой периметр» безопасности в местах массового пребывания людей [5].

Заключение. Разработка и внедрение систем акустического мониторинга с функцией детекции критических звуков и последующим оповещением населения через мобильные устройства является перспективным направлением повышения безопасности в местах массового пребывания людей. Системы позволяют сократить время реагирования экстренных служб, предупредить граждан адресно, без лишней паники, повышая их шансы на избежание опасности. Технические сложности, связанные с фильтрацией шумов и интеграцией с телеком-операторами, не должны останавливать развитие данного направления, что позволит создать более эффективный уровень общественной безопасности.

Список литературы

1. Быков А.В. Методы и алгоритмы обнаружения и классификации акустических сигналов в системах безопасности: учеб. пособие / А.В. Быков, Н.Н. Смирнов. – Москва : МГТУ им. Баумана, 2021. – 120 с.
2. Петров, И.С. Системы оповещения населения: от сирен до Cell Broadcast / И.С. Петров – Технологии гражданской безопасности, 2023. – 51 с.
3. Цева адом / Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Цева_адом – Дата доступа: 06.03.2026.
4. «Тыловой вой». Как дозвониться всему Израилю на выключенные телефоны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://m.47news.ru/articles/271258/>. – Дата доступа: 06.03.2026.
5. New: Local authorities will be able to send emergency burst messages to cell phones [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ch10.co.il/en/news/952474/> – Дата доступа: 06.03.2026.

UDC 62.783.1

THE USE OF INTEGRATED VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS WITH A MODULE FOR DETECTING ABANDONED ITEMS, MONITORING AND ACCESS CONTROL IN PLACES OF MASS PRESENCE OF PEOPLE

Mishuk V.E.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Beresnevich A.I.. – Master of Tech. Sci., Senior Lecturer at the Department of ICSD

Annotation. The article discusses the concept of developing a specialized acoustic monitoring system designed to respond to critical sounds within a specified frequency and decibel range in urban environments and places of mass gathering. The operating principles of the detection module are analyzed, which is based on processing sound characteristics and comparing them with predefined ranges to filter out irrelevant sounds in order to prevent false alarms. The idea of integrating the system with emergency notification protocols is considered, enabling instant distribution of geolocated alert signals to the mobile devices of citizens within the system's activation radius. Key aspects of improving situational awareness, reducing response time, and minimizing risks to citizens are examined.

Keywords: acoustic monitoring, sound detection system, intelligent detection, emergency public notification, geolocation, safety of mass gathering places.

ВЕБ-СКРЕЙПИНГ И ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СБОРА ИНФОРМАЦИИ

Гимпель К.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Нестеренков С.Н. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПОИТ

Аннотация. В статье рассматриваются технологические и правовые основы веб-скрейпинга как метода автоматизированного сбора структурированных данных из открытых интернет-источников. Проводится анализ этических и юридических рисков, возникающих при его применении.

Ключевые слова: веб-скрейпинг, сбор данных, персональные данные.

Введение. В условиях цифровизации общества и стремительного роста объёмов информации, размещаемой в сети Интернет, возрастает потребность в эффективных методах её сбора и анализа. Значительная часть таких данных представлена в неструктурированном виде и предназначена прежде всего для восприятия человеком, что существенно усложняет их последующую автоматизированную обработку.

Основная часть. Одним из подходов к решению задачи является веб-скрейпинг – технология автоматизированного извлечения (сбора) структурированных данных с веб-страниц с помощью программного обеспечения, которое имитирует действия человека в веб-браузере для получения доступа к содержимому и его дальнейшей обработки. Веб-скрейпинг находит широкое применение в анализе рынков, мониторинге цен, академических исследованиях и многих других областях. Его использование позволяет формировать массивы данных, пригодные для последующего статистического анализа и машинного обучения.

Вместе с тем расширение практики использования веб-скрейпинга актуализирует вопросы правомерности и допустимости его применения. Автоматизация процесса сбора информации снижает порог доступа к данным, однако одновременно повышает риск нарушения прав субъектов информации и владельцев интернет-ресурсов. Это требует комплексного рассмотрения не только технических возможностей, но и сопутствующих юридических и этических ограничений.

В Республике Беларусь информация по категории доступа делится на общедоступную и информацию, распространение и (или) предоставление которой ограничено. Так вот скрейпинг информации, доступ к которой ограничен, является незаконным. К такой информации относятся сведения о частной жизни физических лиц и персональные данные, государственные секреты, служебная информация ограниченного распространения, а также коммерческая, банковская и иная охраняемая законом тайна. Соответственно сбор общедоступных данных, таких как открытые цены в интернет-магазинах или публикации в новостных лентах, как правило, признается правомерным. Проблема возникает при автоматическом сборе телефонных номеров, адресов электронной почты, фамилий и имен пользователей с форумов, досок объявлений или профилей в социальных сетях без явного согласия субъектов данных. Такие действия нарушают законодательство о защите персональных данных.

Кроме того, правовые аспекты веб-скрейпинга тесно связаны с соблюдением технических и договорных ограничений, устанавливаемых владельцами веб-ресурсов. В соответствии с положениями статьи 20 Закона «Об информации, информатизации и защите информации», «Порядок распространения и (или) предоставления информации ... определяется соглашением субъектов соответствующих информационных отношений, если иное не установлено законодательными актами» [1]. Почти у каждого сайта присутствует текстовый файл robots.txt, который содержит инструкции для поисковых роботов, о том какие страницы сайта они могут сканировать и индексировать, а какие нет. Таким образом содержание этого файла – это прямое техническое указание владельца ресурса, запрещающее доступ для роботов (включая скрейперов) на конкретные страницы. Его игнорирование может

рассматриваться как нарушение установленного «порядка предоставления информации». Дополнительно многие сервисы включают в пользовательские соглашения явные запреты на автоматизированный сбор данных. Нарушение таких условий способно повлечь гражданско-правовую ответственность, связанную с неисполнением договорных обязательств.

Помимо строгого следования букве закона, ответственное использование веб-скрейпинга предполагает соблюдение ряда этических принципов. К ним относится уважение к ресурсам целевого веб-сайта. Интенсивные автоматизированные запросы могут создавать избыточную нагрузку на сервер, приводя к замедлению работы или даже отказу в обслуживании для обычных пользователей. Поэтому важно реализовывать механизмы, ограничивающие частоту запросов и собирать только те данные, которые действительно необходимы для достижения заявленной цели. С технической стороны это может выражаться в настройке произвольных пауз между запросами, использовании кэширования уже полученных данных и работе в периоды наименьшей нагрузки на сервер.

Этический подход также подразумевает прозрачность целей сбора данных. В случаях, когда скрейпинг проводится в исследовательских или академических целях, целесообразно по возможности уведомлять администраторов ресурсов о характере и масштабах сбора данных. Это не только минимизирует риски конфликта, но и способствует формированию доверия между исследователями и владельцами цифровых платформ. Подобная коммуникация может выявить существующие интерфейсы прикладного программирования (API), использование которых является более предпочтительным и легитимным методом получения данных, поскольку они специально предназначены для программного взаимодействия и часто имеют встроенные ограничения по частоте запросов.

Необходимо также учитывать долгосрочные последствия скрейпинга для целостности информационной экосистемы. Массовый автоматизированный сбор может искажать аналитику, доступную владельцам ресурсов, например, данные о трафике, и влиять на их бизнес-решения. Более того, он может провоцировать ответные меры – усиление технических барьеров, таких как внедрение CAPTCHA, блокировка IP-адресов или усложнение структуры сайта, что в конечном счете усложняет доступ к информации для всех сторон, включая законных пользователей.

Заключение. Веб-скрейпинг представляет собой инструмент для работы с большими объемами информации, применение которого требует взвешенного подхода на стыке технологий, права и этики. Правомерность сбора данных определяется не только их формальной доступностью, но и соблюдением законодательных норм, в частности касающихся защиты персональных данных и коммерческой тайны, а также уважением к техническим ограничениям, установленным владельцами ресурсов.

Список литературы

1. Об информации, информатизации и защите информации [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь, 10 нояб. 2008 г., № 455-3 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2026. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H10800455>. – Дата доступа: 11.02.2026.

UDC 004.62:34.096

WEB SCRAPING AND ETHICAL ASPECTS OF INFORMATION COLLECTION

Gimpel K.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Nesterenkov S.N. – Cand. of Sci., associate professor of the department of ITS

Annotation. The article discusses the technological and legal foundations of web scraping as a method of automated collection of structured data from open Internet sources. The ethical and legal risks arising from its application are analyzed.

Keywords: web scraping, data collection, personal data.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ ВЕБ-API: POSTMAN/NEWMAN И КОД-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ФРЕЙМВОРКИ

Кривоносова М.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Косарева Е.М. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. Выполнен сравнительный анализ подходов к автоматизации тестирования веб-API на основе Postman/Newman и код-ориентированных фреймворков (REST Assured для Java, pytest для Python). Рассмотрены особенности организации тестовых сценариев, управления окружениями и данных, а также применения проверок на разных этапах жизненного цикла разработки. Установлено, что подход на основе Postman/Newman обеспечивает минимальное время внедрения и ориентирован на оперативную сценарную верификацию с возможностью интеграции запусков в CI/CD, тогда как код-ориентированный подход демонстрирует более высокую масштабируемость и сопровождаемость при росте тестового контура за счёт построения тестов как части программного репозитория и использования повторно применяемых компонентов.

Ключевые слова: веб-API, автоматизация тестирования, Postman, Newman, REST Assured, CI/CD, контрактное тестирование, негативные сценарии

Введение. Современные программные системы все чаще строятся по принципу сервис-ориентированной архитектуры, где взаимодействие компонентов и внешних потребителей реализуется посредством веб-интерфейсов прикладного программирования (API). В таких условиях API выступает «контрактом» взаимодействия между подсистемами, поэтому качество и корректность его функционирования становится одним из ключевых факторов надежности и устойчивости всей системы. Ошибки на уровне интерфейса приводят не только к сбоям отдельных операций, но и к нарушению работы связанных сервисов и клиентских приложений. Это повышает требования к регулярной проверке и воспроизводимости тестирования.

На сегодняшний день в практике автоматизации тестирования веб-API сформировались два подхода к решению данной задачи. Первый подход является инструментальным и представлен платформой Postman, а также её консольным компонентом Newman, позволяющим выполнять коллекции запросов в автоматическом режиме. Второй подход является код-ориентированным и опирается на специализированные фреймворки и библиотеки, такие как REST Assured для Java или библиотека requests в сочетании с pytest для Python, где тестовые сценарии реализуются в виде программного кода и развиваются вместе с проектом. Настоящая работа посвящена сравнительному анализу указанных подходов и выявлению их особенностей с точки зрения практического применения в задачах автоматизации тестирования веб-API [1].

Основная часть. Подход Postman/Newman можно описать как сценарно-коллекционный. Тестировщик формирует коллекцию запросов к API, настраивает окружения, добавляет предусловия и проверки в виде скриптов. В Postman проверки реализуются в песочнице на JavaScript через объект `pm`, а ключевой механизм спецификаций тестов – `pm.test`, который связывает читаемое имя проверки и функцию-утверждение. Результаты отображаются в выводе выполнения запросов. Этот формат удобен на ранних этапах, когда API ещё меняется, а команда параллельно уточняет требования и ожидаемое поведение [2].

Newman продолжает эту же модель, но переносит запуск коллекций в командную строку. По сути, *Newman* запускает *Postman*-коллекции без графического интерфейса и позиционируется как инструмент для интеграции с системами сборки и CI/CD, где важны воспроизводимость и автоматический запуск по расписанию или на каждый коммит. Благодаря этому один и тот же набор сценариев может работать как локально у инженера, так и в конвейере поставки [3].

Код-ориентированный подход строится иначе: тесты являются частью программного репозитория и пишутся на различных языках программирования с использованием библиотек для HTTP-вызовов и фреймворков для запуска тестов. В практике для задач автоматизированного тестирования REST-сервисов выделяется библиотека REST Assured, ориентированная на удобочитаемую проверку HTTP-взаимодействий в Java и поддерживающая построение запросов и валидацию ответов. Назначение такого инструмента заключается в переводе тестирования веб-API в плоскость декларативно и семантически выразимого кода, где предусловия, выполняемое действие и критерии корректности результата формализуются как взаимосвязанные элементы единого тестового сценария [4].

В Python схожую роль играет связка библиотек HTTP-клиента с тестовым раннером. Pytest позиционируется как фреймворк, который помогает писать небольшие читаемые тесты и при необходимости масштабировать набор до сложного функционального тестирования. В автоматизации тестирования API это обеспечивает поддержку параметризации, применение фикстур для подготовки окружения и тестовых данных, расширяемость за счёт плагинов, а также интеграцию с процессами разработки программного обеспечения (версионирование, ревью, CI/CD) [5].

Для проведения сравнительного анализа подходов Postman/Newman и код-ориентированных фреймворков выбраны критерии, отражающие ключевые аспекты жизненного цикла автоматизации тестирования веб-API. В качестве основы использованы параметры, непосредственно влияющие на практическую применимость решения в проекте (таблица 1).

Таблица 1 – Обоснование выбора критериев сравнительного анализа

Критерий	Описание критерия
Время первоначального развёртывания автоматизации	характеризует скорость подготовки и запуска первых автотестов, включая настройку окружения и получение воспроизводимых результатов
Масштабируемость и сопровождаемость автоматизации в длительной перспективе	отражает способность подхода поддерживать рост тестового контура с минимальными издержками за счёт повторного использования компонентов и единообразной структуры
Практики версионирования и совместной разработки	определяет удобство коллективного внесения изменений и их контроля в системе версионирования, включая прозрачность диффов и разрешение конфликтов
Управляемость тестовыми данными и окружениями	описывает средства подготовки, хранения и воспроизводимого использования параметров окружения и тестовых данных при выполнении сценариев
Контроль соответствия API формальному описанию интерфейса	оценивает возможность системной проверки соблюдения правил интерфейса (структуры ответов, типов полей, кодов и формата ошибок) при изменениях API
Поддержка безопасности и «негативных» сценариев	характеризует пригодность подхода для реализации и масштабирования проверок ошибок, авторизации/аутентификации, пограничных значений и иных негативных воздействий

При сопоставлении рассматриваемых подходов по критерию времени первоначального развёртывания автоматизации преимущество демонстрирует Postman. Наличие графического интерфейса, механизма коллекций и типовой модели формирования запросов и проверок снижает порог входа и ускоряет прототипирование тестовых сценариев. Это востребовано на практике при необходимости быстро сформировать минимальный регрессионный контур либо воспроизвести дефект в контролируемых условиях. Но вместе с этим проявляются характерные ограничения коллекционного подхода: усложняется организация повторного использования общих компонентов, затрудняется поддержание единообразия оформления сценариев, а проверочная логика концентрируется в виде множества встроенных скриптов. В код-ориентированной парадигме предпосылки масштабируемости закладываются исходно: общие HTTP-клиенты, абстракции доменных операций, генераторы тестовых данных и унифицированные механизмы логирования. Они формируются средствами языка программирования и принятых процессов командной разработки. Postman целесообразно рассматривать как инструмент быстрого накопления и верификации сценариев, а кодовые

фреймворки обеспечивают более устойчивую управляемость и сопровождаемость автоматизации в длительной перспективе [6].

Практики версионирования и совместной разработки также выявляют различие подходов. В Postman предусмотрена возможность экспорта коллекций и их хранения в системе контроля версий, а также выполнения в CI посредством Newman. Но при параллельном редактировании коллекций несколькими участниками возникающие конфликты при слиянии версий в системе контроля версий часто сложнее анализировать и корректно разрешать, чем аналогичные конфликты в исходном коде. В код-ориентированном подходе тесты включаются в стандартный контур командной разработки. Изменения проходят процедуру code review, доступны средства статического анализа. Инструменты разработки (IDE) обеспечивают поддерживаемый рефакторинг и унификацию структуры проекта [7].

Отдельный критерий – управляемость тестовыми данными и окружениями. В Postman это решается переменными окружений, пред- и пост-скриптами и цепочками запросов, где данные извлекаются из ответа и подставляются в следующий шаг. В код-ориентированном подходе тот же сценарий обычно оформляется как явная подготовка данных через фикстуры, фабрики и клиенты. Это делает зависимости более видимыми и облегчает локализацию причины падения [8].

Ещё один критерий сопоставления – контроль соответствия API формальному описанию интерфейса (контракту). Это проверка того, что структура запросов и ответов, обязательность и типы полей, коды HTTP-ответов и формат ошибок соответствуют установленным правилам. В Postman/Newman подобные проверки обычно задаются на уровне отдельных запросов (через локальные утверждения и скрипты, привязанные к конкретным сценариям выполнения). Такой подход удобен для быстрой верификации, но при расширении покрытия возрастает риск дублирования однотипных проверок и усложняется поддержание единообразия при изменениях API.

В код-ориентированной парадигме контрактные требования проще формализовать централизованно. Общие правила интерфейса могут быть вынесены в повторно используемые компоненты (унифицированные ассёрты, валидаторы структуры ответов, единые модели ошибок), после чего применяться во всех тестах системно и согласованно. Это повышает управляемость регрессионного контура. Изменения в интерфейсе отражаются в общих проверках и автоматически распространяются на весь набор тестов. Это снижает вероятность рассогласования между фактическим поведением сервиса и ожидаемыми условиями корректности [9].

Также при оценке подходов следует учитывать поддержку безопасности и «негативных» сценариев. Даже при фокусе на функциональной корректности автоматизированное тестирование API практически неизбежно включает проверки механизмов аутентификации и авторизации, корректности обработки некорректных входных данных, соблюдения ограничений на ресурсы и устойчивости к повторным запросам. В рамках Postman/Newman реализация подобных проверок осуществляется на уровне сценариев коллекции (через последовательности запросов, переменные окружения и локальные скрипты утверждений). Такой подход удобен для быстрой верификации типовых security-сценариев и воспроизведения уязвимых последовательностей. Но при росте числа проверок усложняется управление наборами входов и систематизация негативных кейсов, так как логика генерации и вариативности часто распределяется по множеству запросов и скриптов. В код-ориентированном подходе негативное и security-тестирование легче масштабируется за счёт параметризации, фабрик тестовых данных и повторно используемых модулей авторизации/клиентов. Это позволяет запускать большие серии проверок с контролируемым покрытием (комбинации ролей, токенов, границ значений) [10].

Для обобщения результатов сравнительного анализа и наглядного представления различий между инструментальным подходом Postman/Newman и код-ориентированными фреймворками выполнено сопоставление по ранее выбранным критериям. В таблице 2 представлено обобщение различий, связанных с организацией тестов, их развитием, совместной работой, управлением данными, контролем контрактной согласованности и реализацией негативных и security-сценариев.

Таблица 2 – Сопоставление подходов Postman/Newman и код-ориентированных фреймворков по выбранным критериям

Критерий	Postman/Newman	Код-ориентированные фреймворки
Время первоначального развёртывания автоматизации	меньшие временные затраты на стартовую настройку и получение первых сценарных проверок за счёт графического интерфейса и механизма коллекций	большие временные затраты на стартовую настройку, обусловленные необходимостью реализации тестов в виде программного кода и организации запуска
Масштабируемость и сопровождаемость автоматизации в длительной перспективе	при росте тестового набора возрастает трудоёмкость сопровождения из-за усложнения повторного использования общих компонентов, поддержания единообразия оформления и концентрации логики во встроенных скриптах	масштабируемость обеспечивается исходной организацией общих HTTP-клиентов, абстракций доменных операций, генераторов тестовых данных и унифицированных механизмов логирования
Практики версионирования и совместной разработки	поддерживается экспорт коллекций и хранение в системе контроля версий; при параллельном редактировании усложняется анализ и корректное разрешение конфликтов слияния	тесты включаются в стандартный контур командной разработки; изменения проходят code review, применимы средства статического анализа и поддерживаемый рефакторинг в IDE
Управляемость тестовыми данными и окружениями	управление реализуется через переменные окружений, пред- и пост-скрипты и цепочки запросов, где данные извлекаются из ответа и подставляются в следующий шаг	управление реализуется через фикстуры, фабрики и клиентов, что обеспечивает явную подготовку данных и делает зависимости более видимыми
Контроль соответствия API формальному описанию интерфейса	проверки соответствия задаются на уровне отдельных запросов через локальные утверждения и скрипты, привязанные к конкретным сценариям выполнения	контрактные требования формализуются централизованно в повторно используемых компонентах и применяются системно и согласованно ко всему тестовому набору
Поддержка безопасности и «негативных» сценариев	реализация проверок выполняется в рамках сценариев коллекции (последовательности запросов, переменные окружения, локальные скрипты утверждений); при росте числа проверок усложняется управление наборами входов и систематизация негативных кейсов	масштабирование негативных и security-проверок обеспечивается параметризацией, фабриками тестовых данных и повторно используемыми модулями авторизации/клиентов, что позволяет выполнять большие серии проверок с контролируемым покрытием

Выполненное сопоставление подходов Postman/Newman и код-ориентированных фреймворков по выбранным критериям позволило охарактеризовать особенности их применения в задачах автоматизации тестирования веб-API. В ходе анализа показано, что различия между подходами проявляются не только на этапе формирования первых сценариев, но и при дальнейшем развитии тестового контура: в организации повторного использования общих компонентов, поддержании единообразия проверок, управлении тестовыми данными и окружениями, а также в способах формализации требований к интерфейсу и реализации негативных и security-сценариев. Табличная форма обеспечила структурирование выявленных различий и позволила представить их в едином формате, пригодном для практического применения при проектировании автоматизации на конкретном проекте. Полученные положения формируют основу для последующей формулировки выводов о целесообразности применения каждого из подходов в зависимости от масштаба системы, динамики изменений API и требований к управляемости и воспроизводимости тестирования.

Заключение. Выполнен сравнительный анализ подходов к автоматизации тестирования веб-API на базе Postman/Newman и код-ориентированных фреймворков. Установлено, что его применение обеспечивает минимальные затраты на первоначальное развёртывание и позволяет быстро формировать сценарные наборы проверок с воспроизводимым запуском в средах CI/CD.

Код-ориентированный подход обеспечивает улучшенную управляемость автоматизации в длительной перспективе за счёт применения повторно используемых абстракций, централизованной формализации контрактных требований и эффективного масштабирования негативных и security-сценариев.

Список литературы

1. Тестирование программного обеспечения : учеб. пособие / С. С. Куликов, Г. В. Данилова, О. Г. Смолякова, М. М. Меженная. – Минск : БГУИР, 2019. – 276 с. : ил. – ISBN 978-985-543-462-8.2.
2. Writing tests and assertions in scripts (pm.test, pm.expect) / Postman // Postman Learning Center [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learning.postman.com/docs/tests-and-scripts/write-scripts/postman-sandbox-reference/pm-test-expect> (дата обращения: 02.03.2026).
3. Run and test collections from the command line using Newman CLI / Postman // Postman Learning Center [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learning.postman.com/docs/collections/using-newman-cli/command-line-integration-with-newman> (дата обращения: 02.03.2026).
4. Лось, Н. А. Автоматизация тестирования REST сервисов с помощью REST Assured / Н. А. Лось, А. Л. Ярошенко // 54-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск : БГУИР, 2018. – С. 74–75.
5. How to use fixtures / pytest Development Team // pytest documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.pytest.org/en/stable/how-to/fixtures.html> (дата обращения: 02.03.2026).
6. Козак, У. М. Автоматизация процесса тестирования и отчетности на проекте Web-Insync в ЗАО «Альфа-Банк» = Automation of the testing and reporting process on the Web-Insync project at Alfa-Bank / У. М. Козак, В. Г. Лукин // «BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня» : сборник научных статей X Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 13 марта 2024 г. : в 2 ч. Ч. 2 / БГУИР. – Минск, 2024. – С. 54–65.
7. Лось, Н. А. Автоматизация тестирования web-приложений как часть процесса continuous integration / Н. А. Лось, А. Л. Ярошенко // 55-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 165.
8. Store and reuse values using variables / Postman // Postman Learning Center [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learning.postman.com/docs/sending-requests/variables/variables/> (дата обращения: 02.03.2026).
9. OpenAPI Specification. Version 3.1.0 / OpenAPI Initiative [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://spec.openapis.org/oas/v3.1.0.html> (дата обращения: 02.03.2026).
10. OWASP Top 10 API Security Risks – 2023 / OWASP Foundation [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://owasp.org/API-Security/editions/2023/en/0x11-t10/> (дата обращения: 02.03.2026)

UDC 004.415.533:004.774

COMPARATIVE ANALYSIS OF WEB API TEST AUTOMATION APPROACHES: POSTMAN/NEWMAN AND CODE-ORIENTED FRAMEWORKS

Krivososova M.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific advisor: Kosareva E.M. – Assistant Lecturer, Department of ICSD

Annotation. A comparative analysis of web API test automation approaches based on Postman/Newman and code-oriented frameworks (REST Assured for Java, pytest for Python) is presented. The study examines the specifics of organizing test scenarios, managing environments and test data, and applying checks at different stages of the software development lifecycle. It is established that the Postman/Newman-based approach requires minimal initial setup time and is aimed at rapid scenario verification with the possibility of integrating runs into CI/CD, whereas the code-oriented approach demonstrates higher scalability and maintainability as the test suite grows due to embedding tests into the project repository and using reusable components.

Keywords: web API, test automation, Postman, Newman, REST Assured, CI/CD, contract testing, negative scenarios

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ КОНТЕНТОМ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ СЕРВИСЕ РЕШЕНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАДАЧ

Намдаг Т. Ц.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Косарева Е. М. – магистр, ассистент кафедры ПИКС.

Аннотация. В статье рассматривается модель управления учебным контентом в интеллектуальном образовательном сервисе, предназначенном для автоматизации процесса решения учебных задач школьного и университетского уровня. Предлагаемый подход основан на использовании искусственного интеллекта для генерации пошаговых объяснений решений и структурирования учебных материалов. Описаны основные компоненты системы управления контентом, включая хранение задач, их классификацию, обработку запросов пользователей и формирование объяснений. Предложенная модель позволяет повысить эффективность работы образовательного сервиса и обеспечить удобный доступ пользователей к учебному контенту.

Ключевые слова: искусственный интеллект, образовательные технологии, учебный контент, интеллектуальные системы, ИИ-ассистент

Введение. В условиях цифровизации образования активно развиваются интеллектуальные образовательные сервисы, использующие технологии искусственного интеллекта для поддержки учебного процесса. Такие системы позволяют автоматизировать решение учебных задач, предоставлять пояснения к решениям и формировать персонализированные рекомендации для обучающихся.

Одной из ключевых задач при разработке подобных систем является организация и управление учебным контентом. Контент должен быть структурирован, классифицирован по предметам и типам заданий, а также обеспечивать возможность генерации пошаговых объяснений решений.

Целью данной работы является разработка модели управления учебным контентом для интеллектуального сервиса решения учебных задач, обеспечивающей удобное хранение, обработку и представление образовательных материалов пользователям.

Основная часть. Интеллектуальный сервис решения учебных задач представляет собой программную систему, предназначенную для автоматизации процесса получения решений учебных задач с использованием ИИ-ассистента. Основная задача системы заключается в обработке пользовательских запросов, генерации решений и формировании пошаговых объяснений.

Структурная модель взаимодействия основных компонентов интеллектуального сервиса представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Модель управления учебным контентом в интеллектуальном сервисе решения учебных задач

Работа системы начинается с формирования пользователем запроса, содержащего текст учебной задачи. Запрос поступает в модуль обработки запросов, где осуществляется предварительный анализ входных данных, определение типа задания и подготовка данных для дальнейшей обработки.

Далее информация передается в модуль генерации решений, в котором используется модель искусственного интеллекта для формирования ответа. На данном этапе система формирует решение задачи и сопровождает его пошаговым объяснением, что позволяет пользователю понять последовательность выполнения действий.

Для обеспечения работы интеллектуального сервиса используется модуль хранения задач, предназначенный для хранения учебных заданий различных предметных областей. Каждая задача содержит текст задания, категорию, уровень сложности и возможные варианты решения.

Классификация и структурирование учебного контента осуществляется модулем классификации контента. В данном модуле задачи распределяются по предметам, типам заданий и уровню сложности, что обеспечивает удобство поиска и обработки информации.

После формирования решения результат передается в модуль представления результатов, который отвечает за отображение ответа пользователю. В данном модуле формируется структурированный вывод, включающий итоговый результат, пошаговое решение и пояснения к каждому этапу выполнения задачи.

Таким образом, предложенная архитектура интеллектуального сервиса обеспечивает эффективное взаимодействие между пользователем и функциональными модулями системы, а также позволяет организовать структурированное управление учебным контентом.

Заключение. В работе рассмотрена модель управления учебным контентом в интеллектуальном сервисе решения учебных задач. Предложенный подход позволяет организовать эффективную структуру хранения и обработки образовательных материалов, а

также обеспечить генерацию пошаговых объяснений решений с использованием технологий искусственного интеллекта.

Разработанная модель может быть использована при создании образовательных платформ, предназначенных для поддержки учебного процесса и автоматизации решения задач школьного и университетского уровня.

Список литературы

1. Russell, S. *Artificial Intelligence: A Modern Approach* / Stuart Russell, Peter Norvig. – 4th ed. – Pearson Education, 2021. – 1136 p.
2. *Systems of artificial intelligence in education: testing and validation methods* / A. Ivanov, D. Petrov, M. Sidorov // International Journal of Educational Technologies. – 2022. – Vol. 5, № 2. – Pp. 45–52.
3. ГОСТ Р 57197-2016. Системы искусственного интеллекта. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2016. – 20 с.
4. *Methods for evaluating the efficiency of intelligent systems* / V. Smirnov, A. Kuznetsov // Journal of Artificial Intelligence Research. – 2021. – Vol. 12, № 3. – Pp. 67–75.

UDC 004.89:37.016

MANAGEMENT MODEL OF EDUCATIONAL CONTENT IN AN INTELLIGENT SERVICE FOR SOLVING LEARNING TASKS

Namdag T.Ts.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kosareva E.M. –master of tech. sciences, assistant of the department of ICSD

Annotation. The article considers a model for managing educational content in an intelligent educational service designed to automate the process of solving learning tasks of school and university levels. The proposed approach is based on the use of artificial intelligence technologies to generate step-by-step explanations of solutions and to structure educational materials. The main components of the content management system are described, including storage of tasks, their classification, processing of user requests and generation of explanations. The proposed model allows improving the efficiency of educational services and providing convenient access to structured learning content for users.

Keywords: artificial intelligence, educational technologies, educational content, intelligent systems, AI assistant.

РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РУЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Войнилович Н.Ю., Галяк И.П., Ефименко Д.Д.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Коваленко И.В. – ст. преподаватель кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассматривается проблема низкой эффективности ручного тестирования веб-приложений, связанная с выполнением повторяющихся операций. Предлагается решение в виде комплексного программного средства (ПС) – браузерного расширения, которое интегрирует инструменты для генерации тестовых данных, аудита безопасности, перехвата сетевого трафика и автоматизированного формирования отчетов об ошибках с использованием большой языковой модели (LLM).

Ключевые слова: обеспечение качества (QA), автоматизация тестирования, безопасность веб-приложений, LLM, браузерное расширение, генерация отчетов, фаззинг, XSS, SQL-инъекция.

Введение. Современный цикл разработки программного обеспечения, основанный на методологиях Agile и DevOps, характеризуется короткими итерациями и частыми релизами. Это предъявляет повышенные требования к скорости и качеству работы отделов обеспечения качества [1]. Значительная часть времени специалистов по ручному тестированию расходуется не на поиск бизнес-логических ошибок, а на рутинные, повторяющиеся задачи. К ним относятся заполнение регистрационных форм, сбор сетевых логов, создание и оформление баг-репортов.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью сокращения временных затрат на вспомогательные операции в процессе ручного и исследовательского тестирования. Существующие инструменты, как правило, узкоспециализированы, что заставляет тестировщика постоянно переключать контекст, снижая общую производительность.

Целью работы является разработка программного средства, выполненного в виде браузерного расширения, для повышения эффективности ручного тестирования за счет объединения наиболее востребованных инструментов в едином пользовательском интерфейсе.

Основная часть Программное средство (далее ПС) направлено на решение ряда проблем, с которыми сталкиваются QA-инженеры.

Первой из них является трудоемкость подготовки тестового окружения. Для проверки функциональности форм тестировщику необходимо многократно вводить различные данные, что отнимает значительную часть времени. ПС решает эту проблему путем автозаполнения, анализируя DOM-атрибуты полей и сопоставляя их с внутренними словарями для заполнения форм за одну операцию.

Вторая проблема заключается в сложности сбора артефактов для отчета об ошибке. Качественный отчет об ошибке требует от инженера выполнения нескольких несвязанных действий для сбора скриншотов, URL и сетевых логов [2]. Предлагаемое ПС автоматизирует этот процесс, осуществляя фоновый перехват сетевого трафика и объединяя все необходимые артефакты в единый, готовый к отправке HTML-файл.

Третья проблема – это высокий порог входа в тестирование безопасности для функциональных тестировщиков. Проверка уязвимостей, таких как XSS или SQL-инъекции, требует специфических знаний. ПС снижает этот порог за счет интеграции с LLM [3]. Когда тестировщик описывает задачу, ПС передает нейросети не только запрос, но и полный

контекст поля ввода, что позволяет LLM сгенерировать узконаправленный и потенциально более эффективный вектор атаки.

Программное средство реализовано в виде браузерного расширения для браузеров на базе Chromium, реализующих архитектуру Manifest V3 [4]. Архитектура ПС является модульной и включает в себя несколько компонентов. Первым компонентом является Content Script, который отвечает за рендеринг пользовательского интерфейса, обработку действий пользователя и считывание атрибутов DOM-элементов. Второй компонент, Injected Script, внедряется в глобальный контекст веб-страницы для переопределения методов XMLHttpRequest и window.fetch, что позволяет перехватывать сетевые запросы и передавать их копии в Content Script. Третьим элементом является Background Service Worker, выполняющий логические операции. Особая роль данному компоненту отведена в подсистеме интеллектуальной генерации атак. Ввиду действия политики Cross-Origin Resource Sharing (CORS), блокирующей прямые запросы к сторонним API со страниц сайтов, взаимодействие с сервисом Groq реализовано через Service Worker. Он принимает от Content Script контекст целевого поля ввода, выполняет авторизованный запрос к модели llama-3.3-70b-versatile и возвращает сгенерированный вектор атаки обратно в интерфейс расширения. Взаимодействие компонентов при выполнении данного сценария представлено на диаграмме последовательности (рисунок 1).

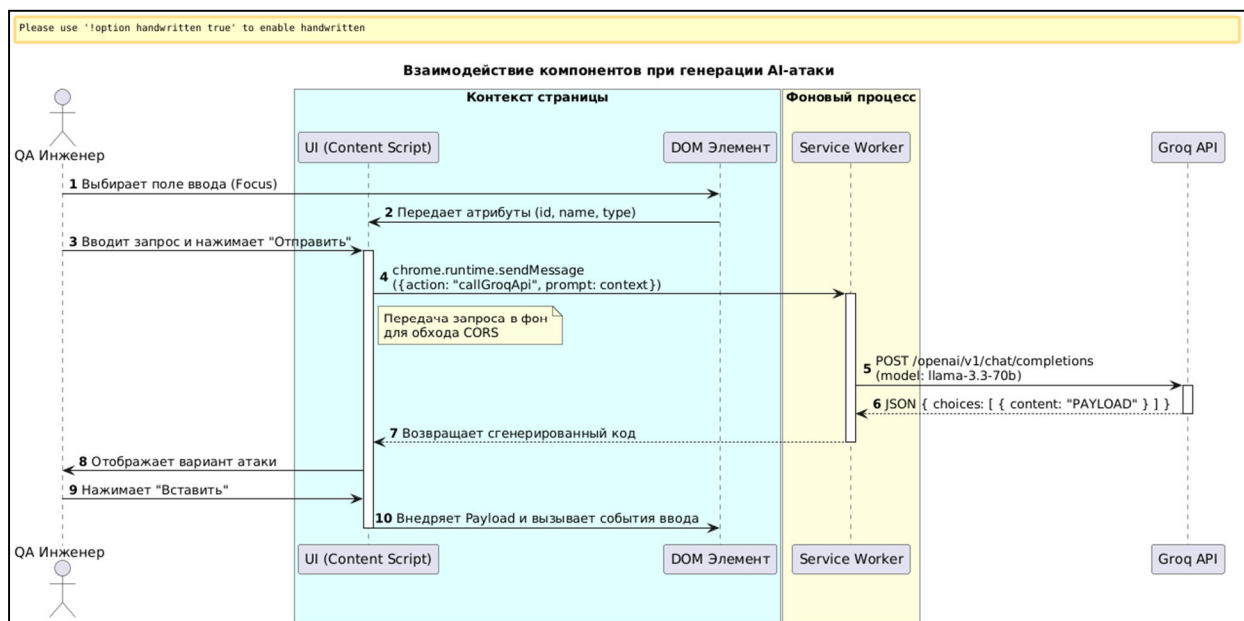


Рисунок 1 – Взаимодействие элементов при генерации атаки

Внедрение разработанного программного средства в технологический процесс обеспечения качества позволяет изменить подход к проведению исследовательского и регрессионного тестирования. Основной эффект достигается за счет минимизации времени, затрачиваемого на проведение тестов. В традиционном сценарии тестировщик вынужден оперировать набором разрозненных инструментов, переходя из браузера в текстовый редактор, консоль разработчика и графический редактор. Интеграция всех необходимых функций в единый интерфейс позволяет проводить проверки без прерывания пользовательской сессии, что, согласно предварительным оценкам, сокращает время обработки одного тестового сценария на 30-40%.

Особую практическую ценность представляет модуль интеллектуальной поддержки на базе LLM, который трансформирует расширение из простого инструмента автоматизации в систему поддержки принятия решений. Генерация векторов атак нейросетью, осведомленной о контексте конкретного DOM-элемента, повышает вероятность выявления уязвимостей типа

XSS и SQL Injection на ранних этапах жизненного цикла ПО, снижая стоимость их последующего исправления [5].

Использование модуля генерации отчетов обеспечивает стандартизацию выходных артефактов тестирования. Автоматическое прикрепление снимка экрана и таблицы сетевых логов к отчету исключает человеческий фактор, при котором разработчики часто получают неполные данные о дефекте. Это упрощает коммуникацию внутри команды разработки и ускоряет локализацию ошибок на стороне сервера, так как отчет уже содержит точные данные о статусах HTTP-ответов и теле запросов.

Заключение. В ходе выполнения работы спроектировано и реализовано программное средство в формате расширения для браузеров на базе Chromium. Созданный инструмент успешно решает задачи автоматизации рутинных операций ввода данных, перехвата сетевого трафика и документирования дефектов, подтверждая гипотезу о целесообразности объединения инструментов в единый программный комплекс.

Результаты разработки могут быть рекомендованы к внедрению в процессы ручного функционального тестирования веб-приложений для повышения производительности труда QA-инженеров. Дальнейшее развитие проекта предполагает интеграции с внешними системами управления проектами, в частности, реализацию прямой отправки сгенерированных отчетов в системы управления проектами посредством API, а также расширение базы сценариев для автоматического фаззинга без участия нейросети.

Список литературы

1. Hoffman, A. *Web Application Security: Exploitation and Countermeasures for Modern Web Applications* / Andrew Hoffman. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2020. – 340 p. – ISBN 978-1-4920-5311-8.
2. Wang, J. *Software Testing with Large Language Models: Survey, Landscape, and Vision* / Junjie Wang, Yuchao Huang, Chunyang Chen // *IEEE Transactions on Software Engineering*. – 2024. – Vol. 50, N 4. – Pp. 911–936.
3. Иванов, А. И. Интеграция больших языковых моделей в процессы автоматизированного тестирования защищенности веб-приложений / А. И. Иванов, В. С. Петров, Д. А. Смирнов // *Вопросы кибербезопасности*. – 2023. – № 5 (57). – С. 45–58.
4. Фрисби, М. *Building Browser Extensions: Create Modern Extensions for Chrome, Safari, Firefox, and Edge* / Matt Frisbie. – Berkeley: Apress, 2022. – 332 p. – ISBN 978-1-4842-8724-8.
5. *Large Language Models for Cyber Security: A Systematic Literature Review* / Y. Fang [и др.] // *ACM Computing Surveys*. – 2024. – Vol. 56, N 12. – Art. 302. – Pp. 1–34.

UDC 004.4'23

DEVELOPMENT OF THE INTEGRATED SOFTWARE TOOL FOR AUTOMATION OF MANUAL TESTING PROCESSES OF WEB APPLICATIONS

Voynilovich N.Yu., Galyak I.P., Efimenko D.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kovalenko I.V. – Senior Lecturer at the Department of Marketing

Annotation. This paper addresses the challenge of low efficiency in manual web application testing caused by the execution of repetitive operations. We propose a comprehensive software solution implemented as a browser extension that integrates tools for test data generation, security auditing, network traffic interception, and automated bug report generation leveraging Large Language Models (LLMs).

Keywords: quality assurance (QA), test automation, web application security, LLM, browser extension, report generation, fuzzing, XSS, SQL injection.

ВИЗУАЛЬНОЕ РЕГРЕССИОННОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ БИЗНЕС-ПРИЛОЖЕНИЙ

Трубеко В.В., Девялтовский Д.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Коваленко И.В. – магистр экономических наук, ст. преподаватель кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматривается процесс автоматизации контроля целостности пользовательских интерфейсов (UI) бизнес-приложений с использованием визуального регрессионного тестирования (VRT). Описана методика интеграции инструментов Playwright, Cypress и Applitoools с платформой Storybook. Проведен сравнительный анализ алгоритмов попиксельного сравнения и систем на базе искусственного интеллекта. Установлено, что использование VRT в связке со Storybook позволяет сократить время на верификацию UI-компонентов на 40 % и минимизировать риск возникновения дефектов отображения в сложных корпоративных системах.

Ключевые слова: визуальное регрессионное тестирование, Storybook, Playwright, Cypress, автоматизация тестирования, бизнес-приложения.

Введение. Современные бизнес-приложения (ERP, CRM-системы) характеризуются высокой плотностью интерфейсных элементов, сложными табличными данными и динамическим изменением состояний. Традиционное функциональное тестирование через проверку DOM-дерева (например, наличие текста в теге) не способно выявить ошибки стилизации: наложение элементов, некорректные отступы или искажение шрифтов после обновления библиотек стилей. В связи с этим актуальной задачей является внедрение методов визуального регрессионного тестирования (Visual Regression Testing, VRT), обеспечивающих идентичность эталонного и фактического графического представления системы [1].

Основная часть. Процесс базируется на сравнении эталонных (Baseline) и текущих (Actual) снимков интерфейса, часто выполняемом в изолированной среде Storybook.

Общий алгоритм VRT включает три ключевых этапа:

- 1 Захват эталонного снимка (Baseline) при стабильном состоянии интерфейса.
- 2 Выполнение изменений в коде и захват текущего снимка (Actual).
- 3 Сравнение изображений и генерация отчета о различиях (Diff-map).

Для оценки расхождения изображений I_1 и I_2 размера $M \times N$ в большинстве инструментов используется среднеквадратичная ошибка (MSE), представленная в формуле (1):

$$MSE = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [I_1(i,j) - I_2(i,j)]^2 \quad (1)$$

Однако для бизнес-приложений критически важно учитывать не только разницу в пикселях, но и визуальную значимость изменений. В ходе исследования были проанализированы три инструмента: Playwright VRT, Cypress Image Diff и облачное решение Applitoools (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ инструментов визуального тестирования

Параметр сравнения	<i>Playwright</i> VRT	<i>Cypress</i> Image Diff	<i>Applitoools</i> Eyes
Алгоритм сравнения	<i>Pixel-to-pixel</i>	<i>Pixel-to-pixel</i>	<i>Visual AI</i>
Интеграция со Storybook	Нативная	Через плагины	Через SDK
Кросс-браузерность	Высокая	Средняя	Очень высокая
Сложность поддержки	Низкая	Средняя	Минимальная
Стоимость	Бесплатно (Open Source)	Бесплатно (Open Source)	Коммерческая лицензия

При реализации на базе Playwright взаимодействие со Storybook происходит через запуск статического билда документации. Playwright подключается к экземпляру и итерирует все доступные «истории» (stories) [2]. Пример тестового сценария:

```
import { test, expect } from '@playwright/test';

test('Проверка компонента DataGrid в Storybook', async ({ page }) => {
  // Переход к конкретному компоненту
  await page.goto('http://localhost:6006/iframe.html?id=components-datagrid--default');

  // Сравнение со снимком с допустимым порогом расхождения 20%
  await expect(page).toHaveScreenshot('datagrid-baseline.png', {
    maxDiffPixelRatio: 0.2,
    threshold: 0.1
  });
});
```

Инструмент Applitools использует нейронные сети для игнорирования «шума» рендеринга на разных ОС, что снижает число ложных срабатываний [3].

Эксперимент на CRM-системе (45 компонентов) показал, что Playwright VRT выявил 12 дефектов верстки, не замеченных unit-тестами. Автоматизация сократила время регрессионной проверки интерфейса с 4 часов до 6 минут.

Заключение. Выполнен анализ современных инструментов визуального регрессионного тестирования применительно к бизнес-приложениям. Установлено, что связка Storybook + Playwright является наиболее оптимальной по соотношению затрат и качества для средних проектов. Для крупных систем с необходимостью поддержки множества браузеров целесообразно использование Applitools. Предложенная методика позволяет гарантировать визуальную стабильность интерфейса при частых релизах, что критически важно для поддержания доверия пользователей бизнес-ориентированного ПО.

Список литературы

1. Фримен, Э. Тестирование программного обеспечения. С чего начать / Э. Фримен. – М. : Питер, 2021. – 320 с.
2. Playwright Documentation. Visual comparisons [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://playwright.dev/docs/test-snapshots>. – Дата доступа: 03.03.2026.
3. Storybook Guide. Visual testing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://storybook.js.org/docs/visual-testing/>. – Дата доступа: 03.03.2026.

UDC 004.415.5

VISUAL REGRESSION TESTING OF GRAPHICAL INTERFACES OF BUSINESS APPLICATIONS

Trubeko V.V., Devyaltovsky D.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific supervisor: Kovalenko I.V. – Master of Economics, Senior Lecturer at the Department of ICSD

Annotation. The article discusses the process of automating the control of the integrity of user interfaces (UI) of business applications using visual regression testing (VRT). A method for integrating Playwright, Cypress, and Applitools tools with the Storybook platform is described. A comparative analysis of pixel-by-pixel comparison algorithms and artificial intelligence-based systems has been carried out. It has been found that using VRT in conjunction with Storybook reduces the time needed to verify UI components by 40% and minimizes the risk of display defects in complex corporate systems.

Keywords: visual regression testing, Storybook, Playwright, Cypress, test automation, business applications.

СЕМАНТИЧЕСКИЙ ПОИСК И ПОДБОР КНИГ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕГРИРОВАННОГО ИИ-АССИСТЕНТА

Коршов М.И.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Верхов К.А. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматривается проблема семантического разрыва в электронных книжных каталогах, из-за которой традиционные поисковые алгоритмы не справляются с ассоциативными запросами пользователей. В качестве решения была предложена модель интеллектуального поиска, объединяющая векторное представление данных и диалогового ИИ-ассистента. Было выявлено, что такой подход позволяет системе перейти от лексического сопоставления слов к глубокому пониманию контекста, что, в свою очередь, избавляет пользователя от необходимости знать точные метаданные книги и существенно повышает релевантность рекомендаций.

Ключевые слова: семантический поиск, ИИ-ассистент, семантический разрыв, векторный поиск, электронный каталог, искусственный интеллект

Введение. При использовании электронных библиотек и книжных онлайн-каталогов пользователи часто сталкиваются с проблемой поиска литературы по неточному или ассоциативному описанию. На практике читатель далеко не всегда знает точное название книги или фамилию автора, формулируя свой запрос через детали сюжета, жанровые особенности или общую атмосферу произведения. Традиционные поисковые алгоритмы, работающие на основе прямого лексического совпадения введенных ключевых слов с атрибутами базы данных, в таких ситуациях показывают крайне низкую эффективность. Возникает семантический разрыв – ситуация, при которой информационная система не способна сопоставить смысловое намерение пользователя с жестко структурированными метаданными каталога.

В данной статье рассматривается подход к преодолению семантического разрыва путем внедрения интегрированного ИИ-ассистента в процесс подбора книг. Применение технологий искусственного интеллекта и алгоритмов семантического поиска позволяет сместить фокус с поиска по символам на поиск по смыслу. ИИ-ассистент способен анализировать неструктурированные запросы на естественном языке, извлекать из них ключевые смысловые признаки и формировать релевантную выдачу даже при полном отсутствии прямых лексических совпадений, что существенно повышает качество работы рекомендательных систем.

Основная часть. Современные информационно-поисковые системы в электронных книжных каталогах преимущественно опираются на лексический анализ (алгоритмы семейства TF-IDF, BM25). В таких системах релевантность документа оценивается по частоте совпадения ключевых слов из запроса с текстом описания или метаданными книги. Данный подход демонстрирует высокую эффективность при поиске по точно известным атрибутам (ФИО автора, ISBN, точное название). Однако при поиске по абстрактному смыслу, сюжетным тропам или эмоциональной окраске произведения классический лексический поиск оказывается полностью неработоспособным. Ввиду нулевого или нерелевантного результата пользователь вынужден покидать пределы электронного каталога и обращаться к сторонним источникам (внешним поисковым системам, тематическим форумам) для выяснения точных атрибутов искомой книги. В результате возникает проблема семантического разрыва – фундаментального несоответствия между ассоциативным мышлением пользователя и жесткой структурой индексов реляционных баз данных [1].

Для преодоления данного ограничения в современных электронных системах применяется парадигма семантического поиска. На технологическом уровне ее реализация базируется на алгоритмах векторного поиска и использовании плотных векторных представлений текста. Текстовые описания книг и пользовательские запросы трансформируются нейросетевыми моделями в многомерные векторы, а процесс поиска сводится к вычислению метрик пространственной близости (например, косинусного расстояния) между вектором запроса и векторами документов. Это позволяет находить литературу по смысловой релевантности, даже если в текстах нет ни одного общего слова [2].

Однако внедрение исключительно векторного поиска не решает проблему комплексной обработки сложных, неструктурированных запросов. Эффективность системы многократно возрастает при интеграции в архитектуру сервиса диалогового ИИ-ассистента на базе больших языковых моделей. В рамках процесса подбора литературы ИИ-ассистент выполняет три ключевые функции [3]:

1 Интерпретация пользовательского намерения. Интерпретация включает в себя глубокий анализ запроса на естественном языке, выделение неявных сущностей (жанр, сеттинг, архетипы персонажей) и очистка ввода от информационного шума.

2 Оптимизация поискового вектора. Что означает преобразование интерпретированного запроса в структурированный формат (запрос), оптимальный для обращения к векторному индексу каталога.

3 Генерация аргументированной выдачи. В первую очередь – анализ полученной выборки релевантных книг и формирование интерактивного ответа, в котором система логически обосновывает пользователю, почему конкретное произведение соответствует его изначальным ожиданиям.

Сравнительная характеристика подходов к организации информационного поиска в книжных сервисах представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ парадигм поиска литературы

Критерий оценки	Лексический (традиционный) поиск	Семантический поиск с ИИ-ассистентом
Метод сопоставления данных	Поиск подстрок и частотный анализ совпадений терминов.	Вычисление векторной близости и контекстное понимание текста.
Обработка абстракций и синонимов	Требует постоянной поддержки и обновления словарей синонимов вручную.	Встроена в архитектуру нейросетевой модели по умолчанию.
Пользовательское взаимодействие	Однонаправленное (ввод запроса – получение статического списка).	Интерактивное (ведение диалога, уточнение контекста, аргументация выбора).

Таким образом, переход от прямого поиска по атрибутам к семантическому поиску с интегрированным ИИ-ассистентом меняет саму логику взаимодействия пользователя с электронным каталогом. Интеллектуальный агент берет на себя вычислительно сложную задачу перевода человеческих абстракций в машинные алгоритмы, выступая интеллектуальным шлюзом между неструктурированной потребностью клиента и базой данных.

Заключение. Проведенный анализ методов информационного поиска показал, что традиционные лексические алгоритмы обладают критической уязвимостью при обработке ассоциативных запросов в книжных онлайн-каталогах. Установлено, что применение технологий семантического векторного поиска в комплексе с диалоговыми ИИ-ассистентами позволяет эффективно решить проблему семантического разрыва. Данный подход обеспечивает выделение скрытого смысла из неструктурированных пользовательских формулировок и автоматизирует процесс подбора релевантной литературы.

Также определено, что внедрение ИИ-ассистента не только повышает точность поисковой выдачи, но и качественно трансформирует пользовательский опыт за счет

интерактивного взаимодействия и аргументации предлагаемых результатов. В практическом плане использование рассмотренных интеллектуальных технологий позволяет удерживать пользователя внутри экосистемы каталога, исключая необходимость обращения к сторонним поисковым ресурсам, что напрямую способствует повышению эффективности электронных систем продаж.

Список литературы

1. Маннинг, К. Введение в информационный поиск / К. Маннинг, П. Рагхаван, Х. Шютце. – Москва: Вильямс, 2011. – 528 с.
2. Шалагин, Н. Д. Обзор алгоритмов семантического поиска по текстовым документам / Н. Д. Шалагин // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – Т. 12, № 8. – С. 98–105.
3. Малышев, А. А. Использование метода RAG и больших языковых моделей в интеллектуальных образовательных экосистемах / А. А. Малышев, А. В. Смирнов // Информатика и образование. – 2024. – Т. 39, № 3. – С. 45–56.

UDC 004.891.2

SEMANTIC SEARCH AND BOOK SELECTION USING AN INTEGRATED AI ASSISTANT

Karshou M.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Verkhov K.A. – assistant of the department of ICSD

Annotation. The article addresses the problem of the semantic gap in electronic book catalogs, which prevents traditional search algorithms from effectively processing associative user queries. As a solution, an intelligent search model combining vector data representation and a conversational AI assistant is proposed. It was found that this approach enables the system to transition from lexical word matching to deep context understanding, which, in turn, relieves the user from needing exact book metadata and significantly improves search relevance.

Keywords: semantic search, AI assistant, semantic gap, vector search, electronic catalog, artificial intelligence

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ГЕНЕРИРОВАНИЯ СТАНДАРТНЫХ РАВНОМЕРНЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ

Алексеев С.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Боровиков С.М. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований по определению для различных алгоритмов количества стандартных равномерных псевдослучайных чисел, входящих в совокупность (период) до начала повторения значений этих чисел. Разработан программный комплекс на языке Python, реализующий методы анализа периодов: полный перебор, алгоритм Брента и статистический анализ. Проведено тестирование восьми классических алгоритмов генерирования псевдослучайных чисел, даны рекомендации по использованию алгоритмов.

Ключевые слова: стандартные равномерные псевдослучайные числа, алгоритмы генерирования случайных чисел, период повторения чисел.

Введение. Введение. Статистическое моделирование выходных параметров и эксплуатационных свойств электронных устройств (ЭУ) основано на получении реализаций случайных параметров. При компьютерном моделировании используют генераторы псевдослучайных чисел, где критически важной является длина периода – количество чисел до начала их повторения. Для задач, требующих миллионов независимых реализаций (например, в методах Монте-Карло), недостаточная длина периода ведет к корреляциям и искажению результатов исследования свойств ЭУ. Актуальной является задача выбора оптимального алгоритма генерации с учетом требуемого объема данных, производительности и достоверности получаемых характеристик.

Целью работы является экспериментальное исследование периодов классических и современных алгоритмов генерации стандартных равномерных псевдослучайных чисел, разработка методики их тестирования и формулировка рекомендаций по выбору генератора для задач с большим числом реализаций.

Основная часть. При выполнении исследований использованы научные работы [1–4]. Для проведения исследования был разработан программный комплекс на языке Python, включающий проверку восьми классических алгоритмов различных битностей: Middle-Square (1946), LCG-8bit (1949), LCG-16bit (1969), Xorshift-16 (2003), LCG-22bit (1986), LCG-24bit (1986), Xorshift-32 (2003), Xorshift-64 (2003). Для анализа периодов использовались три следующие метода:

- 1 Полный перебор (для алгоритмов с периодом ≤ 65 тыс. случайных чисел).
- 2 Алгоритм Брента (для периодов ≤ 100 млн случайных чисел) [1].
- 3 Статистический анализ на выборке 1 млн чисел (для периодов > 4 млрд. случайных чисел).

Эксперименты проводились, используя компьютер с процессором Intel Core i7-12700K. Время выполнения одного теста ограничивалось 30-ю секундами. Результаты тестирования (таблица 1) показали, что для классических алгоритмов с правильно подобранными параметрами (LCG-8bit, LCG-16bit, LCG-22bit, LCG-24bit) экспериментально полученные периоды полностью соответствуют теоретическим. В то же время алгоритм Middle-Square продемонстрировал период всего в 56 значений вместо примерно теоретически возможных 10 000, что подтверждает ограниченность его использования для важных инженерных задач.

Алгоритм	Количество неповторяющихся случайных чисел в периоде:		Метод определения количества случайных чисел в периоде
	теоретический подход	определено экспериментально	
1 Middle-Square	~10 000	56	Полный перебор
2 LCG-8bit	256	256	Полный перебор
3 LCG-16bit	65536	65536	Полный перебор
4 Xorshift-16	65535	65535	Полный перебор
5 LCG-22bit	4194304	4194304	Алгоритм Брента
6 LCG-24bit	16777216	16777216	Алгоритм Брента
7 Xorshift-32	$4,29 \times 10^9$	Статистический тест продолжительностью 30 секунд	Статистический
8 Xorshift-64	$1,8 \times 10^9$	Статистический тест продолжительностью 30 секунд	Статистический

Для современных алгоритмов (PCG32, Xoroshiro128+, Philox, ChaCha20 и др.) период настолько велик ($10^9 \dots 10^{17}$), что его прямой поиск методами Брента или перебора физически невозможен (расчётное время превышает возраст Вселенной!). Поэтому для их оценки применялись статистические тесты, которые подтвердили их высокое качество и пригодность для генерации очень больших объёмов данных.

По вычислительной сложности и скорости генерации современные алгоритмы можно разделить на следующие категории:

1 Сверхбыстрые алгоритмы (1...3 такта на число).

К ним относятся Xoroshiro128+ [2] и WyRand. Они основаны на битовых сдвигах и XOR, что делает их идеальными для задач с приоритетом производительности (графика, игровая логика).

2 Алгоритмы средней сложности (5...15 тактов на число).

В эту группу входят PCG32 и Philox. PCG32 комбинирует быстрый линейный конгруэнтный шаг с дополнительной битовой перестановкой, что улучшает статистические свойства [3] ценой увеличения сложности до 5–10 тактов на число. Philox использует несколько раундов умножения и XOR для обеспечения параллелизма, что требует 10...15 тактов. Эти алгоритмы предлагают оптимальный баланс между скоростью и качеством случайных чисел, подходят для научных расчётов и моделирования.

3 Сложные криптографические алгоритмы (20...60 тактов на число).

ChaCha20 и AES-CTR относятся к этой категории. Они выполняют множественные раунды преобразований (сложения, вращения, подстановки) для обеспечения криптографической стойкости, что увеличивает сложность до 20...60 тактов на число. Хотя их скорость существенно ниже, они гарантируют, что выходная последовательность практически неотличима от истинно случайной.

Рекомендации по выбору алгоритма для задач моделирования:

1 Для учебных целей и маломасштабных симуляций (до 50...100 тыс. реализаций) достаточно классических алгоритмов с периодом порядка $10^6 \dots 10^7$, таких как LCG-24bit или Xorshift-32. Их период может быть проверен экспериментально за приемлемое время, а скорость генерации составляет 5...10 тактов на число.

2 Для производственных задач моделирования (от 100 тыс. до миллиардов реализаций) следует выбирать современные алгоритмы с гарантированно большим периодом и проверенными статистическими свойствами:

а) PCG32, обеспечивает баланс скорости 5...10 тактов на число и высокое качество распределения, период $\sim 1,8 \times 10^{19}$;

б) Philox, является идеальным для параллельных вычислений, обеспечивает детерминированную генерацию на каждом ядре/узле, период $\sim 3,4 \times 10^{38}$.

3 Для криптографических задач или моделирования с повышенными требованиями к безопасности следует использовать специализированные алгоритмы: ChaCha20 или AES-CTR. Их сложность выше (20...60 тактов на число), но они обеспечивают криптографическую стойкость и надёжность.

4 Для задач, где скорость генерации критична, а требования к криптостойкости отсутствуют, можно использовать WyRand или Xoroshiro128+ (1...3 такта на число).

5 Период выбранного алгоритма должен минимум на порядок превышать объем требуемой выборки. Также важно учитывать разрядность: 64–128 бит подходят для встраиваемых систем, 512+ бит – для высоконадежных приложений.

Заключение. Исследование подтвердило, что для масштабного моделирования критичен выбор алгоритма с достаточным периодом и высокой вычислительной эффективностью. Классические генераторы пригодны лишь для учебных целей. Современные алгоритмы (PCG, Philox) обеспечивают необходимую длину периода и качество распределения для симуляций ЭУ, а криптографические методы гарантируют надежность в защищенных приложениях. Разработанная методика тестирования позволяет оценить пригодность генератора для конкретной задачи и избежать ошибок повторения данных.

Список литературы

1. Brent, R.P. An improved Monte Carlo factorization algorithm / R.P. Brent // *BIT Numerical Mathematics*. – 1980. – Vol. 20, N 2. – Pp. 176–184.
2. L'Ecuyer, P. TestU01: A C Library for Empirical Testing of Random Number Generators / P. L'Ecuyer, R. Simard // *ACM Transactions on Mathematical Software*. – 2007. – Vol. 33, N 4. – Article 22.
3. Vigna, S. An experimental exploration of Marsaglia's xorshift generators, scrambled / S. Vigna // *ACM Transactions on Mathematical Software*. – 2016. – Vol. 42, N 4. – Article 30.
4. O'Neill, M.E. PCG: A Family of Simple Fast Space-Efficient Statistically Good Algorithms for Random Number Generation / M.E. O'Neill // *Technical Report, Harvey Mudd College*. – 2014. – 58 p.

UDC 004.421.5

STUDY OF ALGORITHMS FOR COMPUTER GENERATION OF STANDARD PSEUDORANDOM NUMBERS WITH UNIFORM DISTRIBUTION

Alekseev S.A.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk,
Republic of Belarus*

Borovikov S.M. – Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor of the Department of ICSD

Annotation. The article presents the results of experimental studies to determine, for various algorithms, the number of standard, uniformly distributed pseudorandom numbers included in a set (period) before the values of these numbers begin to repeat. A Python software package has been developed that implements period analysis methods: exhaustive search, Brent's algorithm, and statistical analysis. Eight classical pseudorandom number generation algorithms have been tested, and recommendations for their use are provided.

Keywords: Standard uniformly distributed pseudo-random numbers, random number generation algorithms, number repetition period.

УДК 614.8.084

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С МОДУЛЕМ ДЕТЕКЦИИ ОСТАВЛЕННЫХ ВЕЩЕЙ, КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ В МЕСТАХ МАССОВОГО ПРЕБЫВАНИЯ ЛЮДЕЙ

Стома А.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бересневич А.И. – магистр техн. наук, ст. преп кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматриваются интегрированные системы видеонаблюдения с модулем детекции оставленных вещей, контроля и управления доступом, применяемые в местах массового пребывания людей. Анализируются преимущества комплексного подхода к обеспечению безопасности, включая использования интеллектуальной видеоналитики, алгоритма обнаружения неподвижных объектов в зоне наблюдения дольше заданного времени, централизованного мониторинга и интеграции с СКУД. Рассматриваются ключевые аспекты в повышении безопасности мест массового пребывания людей, снижения влияния человеческого фактора, оптимизации работы служб безопасности.

Ключевые слова: интегрированная система безопасности, система видеонаблюдения, видеонаблюдения, система контроля и управления доступом, модуль детекции оставленных вещей

Введение. Комплексные системы безопасности объединяют различные технологии и программы для всестороннего наблюдения, анализа происшествий и контроля доступа на защищаемых территориях. Помимо стандартного видеонаблюдения, современные версии этих систем используют интеллектуальные модули для автоматического обнаружения угроз (например, забытых вещей) и управления проходом сотрудников и гостей. Такие интегрированные решения особенно важны для мест с высокими требованиями к безопасности, где находится большое количество людей и требуется быстрое реагирование на события.

Основная часть. При реализации систем безопасности крупных объектов часто используют интеграцию подсистем между собой различными способами. Интегрированная система безопасности (ИСБ) – это программно-аппаратный комплекс, состоящий из связанных друг с другом информационно и функционально подсистем безопасности разного назначения, работающих по единому алгоритму и имеющих общие каналы связи, программное обеспечение, базы данных.

Преимуществами ИСБ являются:

- более быстрая реакция на происходящее;
- точный и развернутый анализ текущих событий;
- упрощение проектирования;
- снижение затрат на оборудование, его установку, монтаж и эксплуатацию;
- экономия проводной и кабельной продукции;
- удобство в управлении подсистем.

Основными недостатками интегрированных систем является высокая стоимость внедрения и обслуживания, сложность настройки, зависимость от конкретного производителя, поэтому ИСБ необходимо монтировать из совместимых модулей, лучше всего одной фирмы.

Объединение систем в одно целое позволяет более полно контролировать безопасность, объединяя информацию, получаемую с камер видеонаблюдения с информацией из СКУД и архивными данными. Интеграция систем позволяет проводить полный анализ ситуации, оперативно выявлять нарушения и реагировать на них. Таким образом в месте с массовым

пребываниям людей создается база информационной документации, позволяющая в онлайн режиме осуществлять обмен данными между различными отделами и службами [1].

Современные программные комплексы предоставляют целый спектр инструментов для ситуационного контроля объектов различного рода. В рамках обеспечения безопасности в большинстве видеосистем, размещенных в общественных местах (банки, торговые центры, рынки, вокзалы, аэропорты, метро) большой популярностью пользуется модуль оставленных предметов [2]. Данный модуль автоматически обнаруживает предметы, которые находятся в контролируемой зоне и остаются без движения в течение заданного времени. Используется для обнаружения забытых вещей, в том числе потенциально опасных.

Главным преимуществом данного модуля является снижение нагрузки на оператора службы безопасности. Человек физически не способен непрерывно анализировать весь видеопоток, что ведет за собой потенциально опасные ситуации в местах с большим потоком людей. Модуль работает круглосуточно и при обнаружении подозрительного предмета формируется тревожное событие, что позволяет оперативно направить сотрудников на проверку и снизить риски.

В настоящее время выделяют два класса алгоритмов, позволяющих решить задачу обнаружения оставленных предметов:

- алгоритмы, основанные на поиске объектов переднего плана;
- алгоритмы, основанные на трекинге (слежении за движущимися объектами).

Главным преимуществом детектора, основанного на трекинге, является возможность обнаружения человека, оставившего предмет, однако этот метод предъявляет высокие требования к производительности системы, дает сбои при наблюдении за сценами с высокой интенсивностью движения. Метод, основанный на поиске объектов переднего плана, показывает высокую точность детектирования оставленных предметов при условии корректной установки исходного фона, это значит, что если система «увидит» чистый фон сцены хотя бы на нескольких секундах, детектор будет показывать высокие результаты обнаружения оставленных предметов. Кроме того, детектор обладает низкой ресурсоемкостью, а разработанные модификации данного метода повышают точность детектирования и снижают количество ложных срабатываний [2].

Для небольших и средних объектов применяют модули встроенные непосредственно в видеокамеру, такое техническое решение снижает нагрузку на сервер и сеть, но ограничено возможностями самой камеры. В местах с массовым пребыванием людей используют серверные модули, они обладают большей гибкостью, поддерживают более сложные алгоритмы.

Типовые решения применения видеонаблюдения с модулем детекции оставленных вещей:

1 Комплекс «Музей/Торгово-развлекательный центр». Предназначен для контроля состояния объектов, имеющих высокую культурную или материальную ценность: картин, скульптур, витрин с ювелирными изделиями, сейфов, банкоматов и т.д. Использование интеллектуального модуля обнаружения оставленных/убранных предметов дает возможность автоматизировать наблюдение за объектами, для которых строго определено место хранения, оперативно реагировать на изменение местоположения охраняемых предметов и предотвращать кражи и избежать финансовых потерь.

2 Комплекс «Вокзал/Аэропорт/Метро». Позволяет службам безопасности крупных транспортно-логистических узлов повысить уровень эффективности предотвращения террористических актов. Применение детектора оставленных предметов Satvision Smart Systems даёт возможность не только обнаружить подозрительный предмет и оповестить органы правопорядка, но и быстро выделить фрагмент видеозаписи, позволяющий выявить человека или группу лиц, оставивших предмет, а также найти владельцев потерянных вещей.

3 Комплекс «Безопасный город». Дает возможность правоохранительным органам использовать ситуационную видеоаналитику для выявления потенциально опасных ситуаций в местах массового скопления людей (на площадях и улицах города, в парках и на стадионах

и т.п.) и оперативно принимать контртеррористические меры для охраны правопорядка и обеспечения безопасности жизни граждан [3].

В условиях мест с массовым скоплением людей, в особенности мест с пребыванием детей, наличие такого модуля особенно актуально ввиду высокой плотности посетителей и повышенных требований к обеспечению безопасности.

Заключение. Для повышения безопасности в местах с массовым пребыванием людей оптимальным решением являются интегрированные систем видеонаблюдения и контроля и управления доступом. Эти системы, несмотря на высокую стоимость и сложность внедрения, значительно усиливают защиту, снижают влияние человеческого фактора, позволяют контролировать сотрудников, оптимизируют операционные расходы за счет комплексного управления безопасностью.

Список литературы

1. Кулинченко, В.Н. ТЕХНОЛОГИИ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ И ВИДЕОАНАЛИТИКИ / В.Н. Кулинченко, А.В. Ворухев, А.И. Кучеров. – Гомель : Факультет физики и информационных технологий, 2023. – 62 с.
2. *macroscop.com* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://macroscop.com/o-kompanii/blog/obnaruzhenie-ostavlennyh-predmetov>. – Дата доступа: 06.03.2026.
3. *satvision-cctv.ru* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://satvision-cctv.ru/upload/iblock/c58/ymjg8gdjd8iqobdpo5e6ugr870nf07e6/4.-SISTEMA-OBNARUZHENIYA-OSTAVLENNYKH-PREDMETOV.pdf>. – Дата доступа: 06.03.2026.

UDC 614.8.084

THE USE OF INTEGRATED VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS WITH A MODULE FOR DETECTING ABANDONED ITEMS, MONITORING AND ACCESS CONTROL IN PLACES OF MASS PRESENCE OF PEOPLE

Stoma A.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Beresnevich A.I.. – Master of Tech. Sci., Senior Lecturer at the Department of PICS

Annotation. The article discusses integrated video surveillance systems with a module for detecting abandoned items, monitoring and access control, used in places of mass presence of people. The advantages of an integrated approach to security are analysed, including the use of intelligent video analytics, an algorithm for detecting stationary objects in the surveillance area for longer than a set time, centralized monitoring and integration with ACS. The key aspects in improving the security of places of mass stay of people, reducing the influence of the human factor, and optimizing the work of security services are considered.

Keywords: integrated security system, video surveillance system, video surveillance, access control and management system, abandoned items detection module

ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ UX ДЛЯ БИЗНЕС-ПРИЛОЖЕНИЙ

Гугалев А.С.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Косарева Е.М. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье проводится сравнительный анализ трёх методов автоматизации контроля пользовательского опыта (UX) в корпоративных информационных системах: инструментального аудита доступности, визуального регрессионного тестирования и мониторинга воспринимаемой производительности. Для каждого метода определены измеримые критерии оценки – автоматизируемость, стабильность тестов и влияние выявляемых дефектов на работу конечного пользователя. На основе анализа данных отраслевых стандартов W3C и документации ведущих инструментов автоматизации обоснована рациональная стратегия обеспечения качества UX для бизнес-ориентированных программных продуктов.

Ключевые слова: автоматизация UX, бизнес-приложения, UI-тестирование, визуальное тестирование, WCAG, Lighthouse, пользовательский опыт

Введение. В сегменте корпоративного программного обеспечения (ERP, CRM, банковские системы) качество пользовательского интерфейса напрямую влияет на операционную эффективность организации. Сложные многоступенчатые формы и перегруженные данными экраны повышают когнитивную нагрузку на персонал и увеличивают вероятность ошибок ввода [1]. В условиях непрерывной поставки программного обеспечения (CI/CD) традиционные методы ручного UX-тестирования становятся узким местом: их трудоёмкость несовместима с темпом коротких итераций [2].

Ключевая проблема автоматизации UX-контроля состоит в операционализации субъективного понятия «удобство» через измеримые технические метрики, допускающие верификацию программными средствами без участия человека на этапе регрессионного тестирования [3]. Целью настоящей работы является систематизация и сравнительная оценка трёх доминирующих методов автоматизации UX-контроля по критериям, значимым для бизнес-ориентированных систем

Основная часть. Переход к автоматизированному контролю UX основан на инженерном подходе к юзабилити, согласно которому интерфейс должен соответствовать измеримым нормативным требованиям по доступности, визуальной целостности и отзывчивости [4].

В современной практике выделяются три самостоятельных метода автоматизации UX-контроля:

1 Инструментальный аудит доступности (Accessibility-as-Code). Метод основан на программной проверке соответствия интерфейса стандарту WCAG 2.1: инструменты типа Axe-core встраиваются в конвейер сборки и автоматически проверяют контрастность, семантическую разметку и структуру DOM. По данным исследования Deque Systems, охватившего более 13 000 страниц реальных приложений, такие средства выявляют в среднем 57% проблем доступности без участия человека [5]; оставшиеся ~43% (сложные сценарии клавиатурной навигации, контекстные ошибки восприятия) требуют ручной экспертизы.

2 Визуальное регрессионное тестирование (Visual Regression Testing). Инструменты попиксельного сравнения (Percy, Applintools Eyes) фиксируют эталонные снимки интерфейса и при каждом прогоне обнаруживают отклонения: смещения элементов, изменения шрифтов, нарушения вёрстки [6]. Метод незаменим при масштабных обновлениях библиотек UI-компонентов, однако незначительные визуальные изменения, не влияющие на работу

пользователя, способны вызвать ложноположительные срабатывания, устранение которых требует регулярного обновления базовых снимков и повышает стоимость поддержки в Agile-среде [7].

3 Мониторинг метрик воспринимаемой производительности (Perceived Performance Metrics). Поскольку скорость реакции системы напрямую определяет продуктивность персонала, UX неотделим от производительности интерфейса. Google Lighthouse измеряет метрики LCP, TBT и CLS – три из пяти ключевых показателей актуальной методологии Lighthouse 10 [8] – и позволяет своевременно обнаруживать снижение отзывчивости интерфейса по мере усложнения бизнес-логики. Ограничение метода – чувствительность результатов к нагрузке на тестовое окружение, что требует стабилизации инфраструктуры для получения воспроизводимых значений.

Для сравнительного анализа выбраны три критерия, обусловленные спецификой корпоративной эксплуатации: автоматизируемость (доля дефектов, обнаруживаемых без участия человека), стабильность тестов (частота ложноположительных срабатываний и стоимость поддержки при частых релизах) и влияние на UX (критичность дефектов для выполнения бизнес-операций: «критическое» – полная блокировка работы пользователя, «высокое» – существенное затруднение навигации, «среднее» – замедление без блокировки).

По автоматизируемости аудит доступности и мониторинг производительности оцениваются как «высокие»: Ахе-соре выявляет 57% дефектов автоматически [5], Lighthouse полностью автоматизирует сбор LCP, TBT, CLS [8]; визуальный регрессионный метод – «средний», так как требует ручной разметки эталонов [6]. По стабильности лидирует аудит доступности – проверки детерминированы и опираются на формальные правила WCAG; мониторинг производительности занимает среднюю позицию из-за чувствительности к нагрузке окружения; визуальное тестирование наименее стабильно [7]. По влиянию на UX нарушения доступности критичны – они способны полностью исключить категорию пользователей из работы с системой [3]; визуальные дефекты существенно затрудняют навигацию, но редко блокируют задачу; снижение производительности замедляет бизнес-процессы и повышает вероятность ошибок оператора [1].

Сводные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ методов автоматизации UX

Метод	Основная проверяемая метрика	Автоматизируемость	Стабильность тестов	Влияние на UX
<i>Accessibility Audit</i>	<i>WCAG 2.1 compliance score</i>	Высокая [5]	Высокая	Критическое
<i>Visual Regression</i>	<i>Visual Consistency Score</i>	Средняя	Низкая [7]	Высокое
<i>Performance Audit</i>	<i>LCP, TBT, CLS (Lighthouse 10)</i>	Высокая [8]	Средняя	Среднее

Анализ данных таблицы 1 показывает, что аудит доступности обеспечивает наилучшее сочетание высокой автоматизируемости и стабильности при максимальной критичности выявляемых дефектов для конечного пользователя, что делает его приоритетным методом для обязательного включения в CI/CD-конвейер. Мониторинг производительности сопоставим по уровню автоматизации, но меньшая стабильность результатов и менее критичный характер дефектов определяют его роль как дополнительного слоя контроля, целесообразного при усложнении бизнес-логики приложения. Визуальный регрессионный анализ оправдан при масштабных обновлениях дизайн-системы или библиотек UI-компонентов, но высокие затраты на поддержку эталонной базы ограничивают его применение в качестве рутинного инструмента в условиях коротких итераций. В совокупности два высокоавтоматизируемых метода – аудит доступности и мониторинг производительности – способны выявить значительную долю UX-дефектов ещё до начала ручного тестирования [2], позволяя

специалистам по качеству сосредоточиться на проверке сложных пользовательских сценариев, не поддающихся формализации.

Заключение. В результате проведённого исследования установлено, что автоматизация UX-тестирования позволяет перевести субъективные оценки удобства интерфейса в область измеримых технических показателей. Из трёх рассмотренных методов инструментальный аудит доступности демонстрирует наилучшее соотношение автоматизируемости, стабильности и критичности обнаруживаемых дефектов, что обосновывает его включение в CI/CD-конвейер в качестве обязательного шага. Мониторинг метрик воспринимаемой производительности целесообразно применять как дополнительный слой контроля. Визуальное регрессионное тестирование рекомендуется использовать точно – при обновлениях дизайн-системы. Комбинирование первого и третьего методов обеспечивает гарантированный базовый уровень качества интерфейса, минимизирует риски критических ошибок взаимодействия и позволяет специалистам по тестированию сосредоточиться на верификации сложных пользовательских сценариев, не поддающихся формализации.

Список литературы

1. Crispin, L. *Agile Testing: A Practical Guide for Testers and Agile Teams* / L. Crispin, J. Gregory. – Boston : Addison-Wesley, 2009. – 536 p. – ISBN 978-0-321-53446-0.
2. Humble, J. *Continuous Delivery: Reliable Software Releases through Build, Test, and Deployment Automation* / J. Humble, D. Farley. – Boston : Addison-Wesley, 2010. – 512 p. – ISBN 978-0-321-60191-3.
3. W3C. *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1* / World Wide Web Consortium // W3C Recommendation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/> (дата обращения: 03.03.2026).
4. Nielsen, J. *Usability Engineering* / J. Nielsen. – Boston : Academic Press, 1993. – 362 p. – ISBN 978-0-12-518406-9.
5. Deque Systems. *Automated Accessibility Coverage Report: How Much Can Automation Catch?* / Deque Systems // Deque Research [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.deque.com/automated-accessibility-coverage-report/> (дата обращения: 03.03.2026).
6. Applitools. *The State of Visual AI Report 2023* / Applitools // Applitools Research [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://applitools.com/state-of-visual-ai-report/> (дата обращения: 03.03.2026).
7. Meszaros, G. *xUnit Test Patterns: Refactoring Test Code* / G. Meszaros. – Boston : Addison-Wesley, 2007. – 883 p. – ISBN 978-0-321-20790-9.
8. Google Chrome Developers. *Lighthouse Performance Scoring* / Google // Chrome Developers Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.chrome.com/docs/lighthouse/performance/performance-scoring> (дата обращения: 03.03.2026).
9. Martin, R. C. *Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design* / R. C. Martin. – Boston : Prentice Hall, 2017. – 432 p. – ISBN 978-0-13-449416-6.

UDC 004.415.53

REVIEW AND COMPARATIVE ANALYSIS OF UX TEST AUTOMATION METHODS FOR BUSINESS APPLICATIONS

Gugalev A.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific advisor: Kosareva E.M. – Assistant Lecturer of the Department of ICSD

Annotation. The article presents a comparative analysis of three methods for automating user experience (UX) quality control in corporate information systems: automated accessibility auditing, visual regression testing, and perceived performance monitoring. Each method is evaluated against three criteria – degree of automation, test stability, and the criticality of detected defects to end-user operations. Based on an analysis of W3C industry standards and leading automation tool documentation, a rational quality assurance strategy for business-oriented software products is substantiated.

Keywords: UX automation, business applications, UI testing, visual testing, WCAG, Lighthouse, user experience.

АВТОМАТИЗАЦИЯ СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ RPA

Карлюк П.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Верхов К.А. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. Проведен сравнительный анализ эффективности традиционных методов управления складской логистикой и технологии роботизированной автоматизации процессов (RPA). Установлено, что использование программных роботов для заполнения форм документов позволяет минимизировать ошибки и сократить временные затраты. Обоснована методика интеграции RPA-решений в существующую инфраструктуру склада.

Ключевые слова: складская логистика, автоматизация, процесс, RPA

Введение. Широкое распространение цифровых технологий и стремительный рост объемов товарооборота в современных цепях поставок выдвигают задачу повышения эффективности управления процессами организации на одно из первых мест. В условиях глобализации и усложнения логистических цепочек традиционные методы обработки информации часто становятся серьезным препятствием для динамичного развития бизнеса. Управление операциями на складе в классическом виде неразрывно связано с огромным объемом ручного труда и бумажным документооборотом. Это неизбежно приводит к увеличению временных затрат, возникновению критических ошибок при вводе данных и общему снижению производительности труда персонала [1].

В данной статье показано, что применение технологии роботизированной автоматизации процессов позволяет существенно повысить точность и скорость выполнения рутинных операций в складской логистике. Использование программных роботов обеспечивает автоматическое выполнение задач обработки данных, интеграцию внешних информационных систем и снижение влияния человеческого фактора, что способствует повышению эффективности управления ресурсами склада.

Основная часть. Процесс складской логистики представляет собой сложную многоуровневую систему, которая включает в себя несколько ключевых этапов:

1 Планирование поступления товарно-материальных ценностей (ТМЦ). Данный процесс, с точки зрения склада, включает в себя получение сроков поставок от подразделений организации. На основании данной информации осуществляется планирование загрузки складских площадей, подготовка зон приемки и распределение персонала.

2 Приемка ТМЦ на складах. В свою очередь, процесс приемки заключается в проверке ТМЦ по количеству и/или качеству на основании товарно-транспортной накладной (ТТН-1) или других сопроводительных документов в целях подтверждения выполнения обязательств продавцом (поставщиком). В случае обнаружения в ходе приемки недостатки товара, несоответствия документов и фактического положения лица, осуществляющее приемку, должно приостановить процесс, принять меры по обеспечению сохранности товара, вызвать представителя и оформить факт выявленной недостатка актом о расхождении. Если приемка прошла успешно, то ТМЦ перемещается в зону размещения и поступает на учет склада [2].

3 Размещение ТМЦ. Процесс размещения инициируется поступлением ТМЦ в зону размещения. Суть процесса заключается в размещении товара по местам хранения, а также отражение его движения в книге складского учета или карточке складского учета.

4 Хранение ТМЦ. Данный процесс представляет собой деятельность по обеспечению количественной и качественной сохранности ТМЦ в течение всего периода их нахождения на

складе. В ходе хранения могут проводиться как плановые, так и внеплановые инвентаризации, а также контроль сроков годности и технического состояния упаковки.

5 Подготовка к отгрузке ТМЦ. Процесс подготовки начинается с получения заявок/заказов. Он включает в себя отбор ТМЦ из мест хранения в соответствии с перечнем, проверку целостности, его упаковку и маркировку. На данном этапе также подготавливается пакет необходимых документов (ТТН, ТН, CMR).

6 Отгрузка ТМЦ. Данный процесс является завершающей стадией складского цикла и заключается в физической передаче ТМЦ со склада представителю транспортной компании или покупателю. Отгрузка производится только при наличии надлежащим образом оформленной доверенности и подписания сопроводительных документов. Моментом окончания отгрузки считается переход материальной ответственности.

Подавляющее большинство операций выполняется вручную или с использованием простейших электронных таблиц, что обуславливает высокую зависимость от человеческого фактора. Операции создания документов базируются на унифицированных формах документации, согласно законодательству Республики Беларусь.

Несмотря на четкую регламентацию, описанный традиционный подход ведения складских операций в современных условиях становится узким местом организации. Высокая доля ручного труда при заполнении унифицированных форм, риск потери данных при переносе информации создают барьеры для масштабирования бизнеса. В условиях дефицита времени и роста требований к точности, склады нуждаются в комплексной автоматизации, включающей помимо автоматизации процессов их частичную роботизированную автоматизацию, которая позволит делегировать рутинные задачи программным роботам, оставляя за сотрудниками право принятия решений.

Далее в таблице 1 представлены качественные изменения в управлении складом при автоматизации складской логистики на основе технологии RPA.

Таблица 1 – Качественные изменения в управлении складом

Процесс	Автоматизация	Роботизированная автоматизация
Планирование поступления ТМЦ	Внесение данных в систему о предстоящих отгрузках через API.	Использование робота для получения данных из системы, не имеющей публичного API.
Приемка ТМЦ на складах	Внесение данных о ТМЦ в централизованную систему для учета на складе.	Заполнение унифицированных форм документов на основании данных из системы.
Размещение ТМЦ	Система автоматически распределяет ТМЦ по складу, учитывая условия хранения и габариты.	Заполнение карточек складского учета.
Хранение ТМЦ	Проведение инвентаризации заключается в необходимости внесения фактических данных со склада. Мониторинг остатков.	Заполнение форм инвентаризационной описи на основании данных из системы.
Подготовка к отгрузке ТМЦ	Выбор ТМЦ учитывая метод FIFO и сроки годности.	Заполнение унифицированных форм документов, создание упаковочного листа на основании данных из системы.

Представленные данные подтверждают, что использование классической автоматизации в связке с RPA позволяет устранить разрывы в едином цифровом контуре склада. Программные роботы эффективно выполняют роль посредника между закрытыми корпоративными системами и прикладными программами, где прямая интеграция невозможна.

Закключение. Проведен анализ рабочих процессов склада, который подтвердил, что внедрение RPA значительно повышает эффективность складской логистики. Автоматизация таких задач, как заполнение отчетных форм и получение данных из различных систем, ускоряет обработку заявок и снижает риск ошибок, связанных с человеческим фактором. Роботизированная автоматизация не заменяет первичные системы учета, таких как warehouse

management system (WMS), а дополняет их, закрывая разрывы в тех местах, где интеграция через API невозможна или экономически нецелесообразно.

Также было установлено, что применение программных роботов позволяет не только ускорить транзакционные операции, но и освободить квалифицированный персонал для участия в более сложных бизнес-процессах. Это позволяет организации в целом и складу в частности гораздо быстрее адаптироваться к динамичным изменениям в законодательстве и требованиях современного рынка. В долгосрочной стратегической перспективе масштабирование технологии RPA способствует планомерному снижению операционных издержек за счет самооптимизации и высокой точности выполнения алгоритмов.

Список литературы

1. Рынок складской недвижимости Беларуси: нулевая вакантность и возвращение к спекулятивному строительству [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lognews.ru/rynok-skladskoy-nedvizhimosti-belarusi-nulevaya-vakantnost-i-vozvrashchenie-k-spekulyativnomu>. Дата доступа: 04.03.2026.

2. ИСМ от 03.09.2008 № 1290 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/3SMwbN>. – Дата доступа: 04.04.2026.

UDC 004.9:658.7

AUTOMATION OF WAREHOUSE LOGISTICS BASED ON RPA TECHNOLOGY

Karliuk P.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Verkhov K.A. – assistant of the department of ICSD

Annotation. A comparative analysis of the effectiveness of traditional warehouse logistics management methods and robotic process automation (RPA) technology was conducted. It was found that the use of software robots to fill out document forms minimizes errors and reduces time costs. A methodology for integrating RPA solutions into the existing warehouse infrastructure was substantiated.

Keywords: warehouse logistics, automation, process, RPA

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ АНАЛОГОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ БРСМ

Куприянова К.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Шелест А.В. – магистр техники и технологии, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. Проведен анализ существующих решений в области автоматизации учета участников молодежных мероприятий, управления студенческими активами и документооборота в первичных организациях БРСМ вузов. Выявлены ключевые недостатки универсальных CRM/ERP-систем и платформ для мероприятий при решении специализированных задач молодежной организации. Разработаны требования к специализированному программному средству, сочетающему лучшие практики выбранных аналогов и учитывающему специфику БРСМ. Предложена комбинированная эталонная модель функциональности.

Ключевые слова: автоматизация, первичная организация БРСМ, молодежное объединение, вуз, документооборот, учет участников мероприятий, календарное планирование

Введение. Деятельность первичных организаций Белорусского республиканского союза молодежи (БРСМ) в учреждениях высшего образования характеризуется большим объемом рутинных операций: учет членов и актива, регистрация участников мероприятий, подготовка различных видов документов (ходатайства, докладные записки, освобождения от занятий), ведение календаря событий, сбор и анализ статистики посещаемости и активности.

Ручное ведение учета и документооборота приводит к значительным временным затратам секретарей БРСМ, ошибкам в данных и низкой оперативности информирования студентов. В условиях цифровизации возникает потребность в специализированном программном средстве, адаптированном под задачи первичной организации БРСМ в вузе [1].

Цель работы – провести сравнительный анализ существующих решений автоматизации аналогичных процессов и обосновать необходимость разработки специализированной системы для рабочего места секретаря первичной организации БРСМ.

Основная часть. Для определения места разрабатываемого программного средства на рынке был проведен анализ существующих решений. Программное средство автоматизации деятельности организации БРСМ ориентировано на учебные заведения. Поэтому аналоги определяются среди программных решений, применяемых в следующих областях: CRM/ERP-системы для образовательных учреждений, платформы для организации мероприятий, решения для молодежных организаций, системы документооборота и автоматизации студенческих объединений. В результате были выбраны наиболее близкие по функциональному назначению программные продукты: Booklux (Youth organization scheduling software) [2], Teamup [3], 1С:Университет ПРОФ [4] и Eventbrite [5] (таблица 1).

Таблица 1 – Описание функциональности аналогов

Аналог	Назначение	Основная функциональность
Youth organization scheduling software	Планирование деятельности организации	Календарь, управление расписанием, push-уведомления, отчеты и аналитика, экспорт данных.
Teamup	Управление событиями, ресурсами и расписаниями	Многоуровневые календари, уровни доступа, совместная работа команд, виджеты, статистика и журналы отслеживания активности пользователей.

Продолжение таблицы 1

Аналог	Назначение	Основная функциональность
1С:Университет ПРОФ	Комплексная автоматизация процессов образовательных учреждений	Расписание, управление студентами, работа с договорами и различными документами, планирование учебного процесса, личный кабинет обучающегося.
Eventbrite	Организация мероприятий и билеты	Создание событий, регистрация, статистика и аналитика.

Сравнение выбранных аналогов проводилось по критериям: управление мероприятиями, регистрация участников, поддержка документооборота, учет пользователей, календарь, уведомления, статистика, гибкие фильтры, возможность экспорта данных, поддержка уровней доступа (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительный анализ автоматизации ключевых функций

Функция	Booklux	Teamup	1С:Университет ПРОФ	Eventbrite
Управление мероприятиями	Да	Да	Да	Да
Регистрация участников	Да	–	–	Да
Поддержка документооборота	–	–	Да	–
Учет пользователей	Да	–	Да	–
Календарь	Да	Да	Да	Да
Уведомления	Да	Да	–	Да
Статистика	Да	Частично	Да	Да
Гибкие фильтры	–	Да	Да	Да
Экспорт данных	Да	–	Да	Да
Уровни доступа	Да	Да	Да	–

Сравнительный анализ ключевых функций показал следующее: все четыре решения поддерживают управление мероприятиями и календарное планирование. Регистрация участников полноценно реализована в Booklux и Eventbrite, тогда как в других рассматриваемых системах данная функция отсутствует или реализована ограниченно. Генерация документов отсутствует практически во всех аналогах, за исключением частичной поддержки в 1С:Университет ПРОФ. Учет студентов полноценно реализован только в 1С:Университет ПРОФ. Уведомления присутствуют в Booklux, Teamup и Eventbrite. Статистика и аналитика по мероприятиям и посещаемости доступны во всех системах, но с разной глубиной. Гибкие фильтры и выгрузка данных лучше всего реализованы в Teamup и 1С. Работа с ролями и уровнями доступа сильна в Booklux и Teamup.

Таким образом, ни одно из перечисленных решений в полной мере не закрывает потребности первичной организации БРСМ, особенно в части генерации специфических вузовских документов, интеграции с учебным процессом и ведения статистики актива БРСМ.

Деятельность первичной организации БРСМ в учреждениях высшего образования имеет ряд особенностей, которые усложняют применение универсальных программных решений. В отличие от коммерческих систем управления мероприятиями, деятельность молодежных организаций тесно связана с внутренними регламентами вуза и необходимостью подготовки официальных документов. В большинстве существующих систем подобная функциональность отсутствует, так как они ориентированы либо на коммерческие мероприятия, либо на общий документооборот предприятий.

Также важной задачей является ведение статистики активности студентов, позволяющей анализировать вовлеченность обучающихся в общественную деятельность. Подобная аналитика необходима для формирования отчетности, оценки эффективности проводимых

мероприятий и планирования дальнейшей работы организации. Однако большинство рассмотренных решений предоставляет лишь базовые инструменты статистики, не учитывающие специфику молодежных объединений в вузах.

Учитывая перечисленные особенности, можно сделать вывод о целесообразности разработки специализированного программного средства, которое будет учитывать специфику деятельности первичных организаций БРСМ.

На основании проведенного сравнительного анализа сформированы основные требования к разрабатываемому программному средству:

- наличие интерактивного календаря с визуальным отображением мероприятий;
- возможность онлайн-регистрации участников и подтверждения участия;
- автоматическая генерация документов (ходатайств, докладных записок, освобождений);
- поддержка системы ролей и уровней доступа для различных категорий пользователей;
- отправка push-уведомлений пользователям о создании мероприятий, изменениях в расписании, напоминания о ближайших мероприятиях;
- ведение статистики посещаемости и активности студентов;
- возможность выгрузки данных по выбранным фильтрам и формирования аналитических отчетов.

Заключение. Сравнительный анализ подтвердил, что универсальные платформы лишь частично удовлетворяют запросам БРСМ, не обеспечивая связь с учебным процессом и специфический документооборот. Основные ограничения аналогов связаны с отсутствием инструментов учета актива и генерации вузовских форм. Реализация специализированной системы позволит автоматизировать работу секретаря, сократить ручные операции и повысить оперативность взаимодействия со студентами.

Список литературы

1. Положение о первичной организации ОО «БРСМ» в учреждении образования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://brsm.by/>. – Дата доступа: 05.03.2026.
2. Booklux. Youth organization scheduling software [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.softwaresuggest.com/booklux>. – Дата доступа: 05.03.2026.
3. Teamup [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://teamup-apps.com/>. – Дата доступа: 05.03.2026.
4. IC: Университет ПРОФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://solutions.ic.ru/catalog/university-prof>. – Дата доступа: 05.03.2026.
5. Eventbrite. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eventbrite.com/help/en-us/>. – Дата доступа: 05.03.2026.

UDC 004.4

COMPARATIVE ANALYSIS OF PROGRAM ANALOGUES FOR AUTOMATION OF THE BRSM ORGANIZATION ACTIVITIES

Kupryianova K.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Shelest A.V. – Master of Engineering and Technology, Cand. of Sci., assistant at the department of ICSD

Annotation. An analysis of existing solutions in the field of automation of registration of participants of youth events, management of student assets and document management in primary organizations of BRSM of universities has been carried out. Key shortcomings of universal CRM/ERP systems and platforms for events have been identified when solving specialized tasks of a youth organization. Requirements for a specialized software tool have been developed, combining the best practices of selected analogues and taking into account the specifics of BRSM. A combined reference model of functionality has been proposed.

Keywords: automation, primary organization of the BRSM, youth association, university, document management, registration of event participants, calendar planning

УДК 004.89:004.4

ВСТРОЕННЫЙ ИИ-АССИСТЕНТ В ТИКЕТ-СЕРВИСЕ: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ОБРАЩЕНИЙ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА

Михайловская М.С.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Верхов К.А. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассмотрено применение встроенного ИИ-ассистента в тикет-сервисе для автоматизации обработки обращений. Показано, что использование методов обработки естественного языка сокращает время первичной обработки заявок, снижает нагрузку на первую линию поддержки и повышает качество сервиса. Определены направления развития программного средства, включая интеграцию базы знаний и защиту персональных данных.

Ключевые слова: тикет-сервис, ИИ-ассистент, техническая поддержка, обработка обращений, NLP, интеллектуальная маршрутизация, Service Desk, автоматизация

Введение. Эксплуатация цифровых продуктов сопровождается постоянным потоком инцидентов, вопросов и запросов на изменение, а увеличение числа обращений приводит к росту нагрузки на специалистов технической поддержки, задержкам обработки и ошибкам маршрутизации. В данной статье рассматриваются возможности применения встроенного ИИ-ассистента в тикет-сервисе для повышения эффективности обработки обращений, а также требования, учитываемые при проектировании такого программного средства.

Основная часть. Исследование, посвященное анализу пользовательских запросов на этапе эксплуатации и сопровождения программного продукта, показывает, что скорость и качество реакции на обращения напрямую влияют на конкурентоспособность программного продукта, а сами процессы обработки обращений относятся к существенной части жизненного цикла ПО [1]. В современной практике служб технической поддержки тикет-сервис используется как организационно-техническая основа регистрации, учета и контроля исполнения обращений пользователей. С точки зрения сервисного менеджмента тикет-сервис следует рассматривать как инструмент поддержки процессов управления услугами и инцидентами. В исследованиях по ITSM и Service Desk подчеркивается значимость централизованной регистрации обращений, отслеживания их статусов, маршрутизации задач между исполнителями и накопления данных о ходе обработки заявок [2, 3]. Поэтому современный тикет-сервис следует рассматривать как основу сервисного процесса, в которой встроенный ИИ-ассистент может выступать средством интеллектуализации первичной обработки обращений.

Необходимость такой интеллектуализации обусловлена характером самих пользовательских обращений. Значительная часть входящих заявок представлена в виде свободного текста с различной степенью детализации и неоднозначности, что затрудняет их оперативную обработку. В статье о современных способах обработки запросов в службу технической поддержки рассматривается применение технологий искусственного интеллекта для автоматизации обработки пользовательских запросов [4]. Это позволяет рассматривать встроенный ИИ-ассистент как средство интеллектуальной предобработки обращений, способное повысить оперативность и согласованность их дальнейшей обработки.

Из указанной функциональной роли ИИ-ассистента вытекает и его практическая ценность. Она проявляется в нескольких направлениях. Во-первых, ассистент обеспечивает круглосуточный первичный прием обращений через веб-интерфейс, мессенджер либо внутренний портал, что уменьшает зависимость пользователя от режима работы службы поддержки. Во-вторых, он способен автоматически выделять намерение пользователя,

определять категорию обращения, оценивать его срочность и подготавливать маршрут передачи в нужную группу поддержки. В-третьих, при наличии базы знаний система может предлагать типовой ответ либо релевантную инструкцию до подключения специалиста. В работах, посвященных автоматизации поддержки и применению чат-ботов, подобные механизмы связываются с ускорением обработки запросов, повышением доступности сервиса и снижением нагрузки на операторов.

Тикет-сервис со встроенным ИИ-ассистентом обеспечивает переход от регистрации обращений к интеллектуальной поддержке сервисного процесса. В исследованиях, посвященных организации работы службы поддержки, в качестве значимого направления выделяется контроль показателей эффективности и качества обработки обращений [5]. В связи с этим перспективное программное средство должно включать не только модуль диалога, но и аналитический контур, обеспечивающий контроль SLA, выявление повторяющихся инцидентов, оценку точности классификации, фиксацию истории эскалаций и сбор обратной связи для последующей настройки моделей обработки текста.

Такой подход закономерно подводит к вопросу о распределении функций между автоматизированной системой и специалистом поддержки. Наиболее рациональной представляется гибридная модель взаимодействия пользователя, ИИ-ассистента и специалиста поддержки. Полностью автономная обработка подходит лишь для типовых обращений, тогда как нестандартные инциденты, вопросы с правовыми последствиями и запросы, требующие доступа к чувствительным данным, должны передаваться человеку. В этом случае ИИ-ассистент берет на себя сбор первичных сведений, извлечение сущностей, поиск релевантных материалов базы знаний и формирование черновика ответа, а сотрудник подтверждает результат либо выполняет дальнейшую обработку.

Вместе с тем внедрение подобной модели требует учета не только функциональных, но и организационно-правовых ограничений. Поскольку тикет-сервис со встроенным ИИ-ассистентом связан с обработкой пользовательских обращений, при его проектировании необходимо обеспечить законность и обоснованность работы с данными. Правовые основы такой обработки закреплены в Законе Республики Беларусь № 99-З [6], а разъяснения Национального центра защиты персональных данных акцентируют внимание на принципах соразмерности цели, недопустимости избыточности, прозрачности и ограничения сроков хранения данных [7]. Одновременно с этим использование ИИ-компонента требует системного подхода к управлению рисками и распределению ответственности: соответствующие ориентиры задаются международными стандартами ISO/IEC 42001:2023 и ISO/IEC 23894:2023 [8, 9]. Следовательно, архитектура программного средства должна предусматривать разграничение прав доступа, журналирование действий, контроль качества автоматически сформированных ответов и обязательное участие человека при обработке критичных категорий заявок.

Заключение. Встроенный ИИ-ассистент следует рассматривать не как дополнительный интерфейс, а как функциональное ядро интеллектуализации тикет-сервиса. Его использование позволяет сократить время первичной обработки обращений, повысить качество маршрутизации, снизить нагрузку на первую линию поддержки и обеспечить накопление более ценных аналитических данных о сервисных процессах.

Наиболее перспективными направлениями развития программного средства являются омниканальный прием обращений, интеграция с базой знаний, автоматическая категоризация и приоритизация заявок, гибридный режим генерации ответов с подтверждением специалистом, а также внедрение контуров контроля качества и механизмов ответственного использования ИИ. Практическая эффективность такого решения достигается только при соблюдении требований сервисного менеджмента, защите персональных данных и системном управлении рисками.

Список литературы

1. Gribkov, E. I. *Neural network model for user request analysis during software operations and maintenance phase* / E. I. Gribkov, Y. P. Yekhlakov. – Tomsk : Business Informatics, 2020. – 7–18 с.
2. Иванов, Р. В. ITSM в ITIL – структурно-образующий подход к проектированию, внедрению и управлению ИТ-системами класса Help (Service) Desk / Р. В. Иванов, А. Е. Михайленко. – Санкт-Петербург : Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2008. – 215–224 с.
3. Шинкаренко, Е. В. Служба технической поддержки ServiceDesk / Е. В. Шинкаренко, А. Е. Михайленко. – Красноярск : Управление бизнес-процессами, 2015. – 632–633 с.
4. Современные способы обработки запросов в службу технической поддержки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-sposoby-obrabotki-zaprosov-v-službu-tehnicheskoy-podderzhki>. – Дата доступа: 06.03.2005.
5. Организация работы службы поддержки. Отслеживание ее показателей и эффективности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-raboty-služby-podderzhki-otslezhivanie-ee-pokazateley-i-effektivnosti>. – Дата доступа: 06.03.2005.
6. О защите персональных данных: Закон Республики Беларусь от 7 мая 2021 г. № 99-3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H12100099>. – Дата доступа: 06.03.2005.
7. Требования к обработке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cpd.by/zachita-personalnyh-dannyh/operatoru/trebovaniya-k-obrabotke/>. – Дата доступа: 06.03.2005.
8. ISO/IEC 42001:2023. *Information technology – Artificial intelligence – Management system* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/42001>. – Дата доступа: 06.03.2005.
9. ISO/IEC 23894:2023. *Information technology – Artificial intelligence – Guidance on risk management* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/77304>. – Дата доступа: 06.03.2005.

UDC 004.89:004.4

**INTEGRATED AI ASSISTANT IN A TICKET SERVICE: IMPROVING
REQUEST PROCESSING EFFICIENCY AND DIRECTIONS
FOR SOFTWARE DEVELOPMENT**

Mikhailouskaya M.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Verkhov K.A. – assistant of the department of ICSD

Annotation. The article examines the use of an integrated AI assistant in a ticket service for automating request processing. It is shown that natural language processing methods reduce initial ticket handling time, decrease the workload of first-line support, and improve service quality. The main directions for software development, including knowledge base integration and personal data protection, are identified.

Keywords: ticket service, AI assistant, technical support, request processing, NLP, intelligent routing, Service Desk, automation

РАЗРАБОТКА ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА С ФУНКЦИЕЙ ДЕТЕКЦИИ КРИТИЧЕСКИХ ЗВУКОВ В ЗАДАННОМ ДИАПАЗОНЕ ДЕЦИБЕЛ И ЭКСТРЕННЫМ ОПОВЕЩЕНИЕМ НАСЕЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ МОБИЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Мишук В.Е.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Бересневич А.И. – магистр техн. наук, ст. преподаватель кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматривается идея разработки специализированной системы акустического мониторинга, предназначенной для реагирования на критические звуки в заданном диапазоне частот и децибел в условиях городской среды и местах массового пребывания людей. Анализируются принципы работы модуля обнаружения, основанного на обработке характеристик звука и сравнении с заданными диапазонами для отсеивания не подходящих во избежание ложных срабатываний. Идея интегрирования системы с протоколами экстренного оповещения, обеспечивающей мгновенную рассылку геолокационных сигналов тревоги на мобильные устройства граждан, находящихся в радиусе срабатывания системы. Рассматриваются ключевые аспекты повышения ситуационной осведомлённости, сокращения времени реагирования и минимизации рисков для граждан.

Ключевые слова: акустический мониторинг, система обнаружения звуков, интеллектуальная детекция, экстренное оповещение населения, геолокация, Cell Broadcast, безопасность мест массового пребывания.

Введение. Современные системы безопасности мест массового пребывания людей в основном осуществляются через видеокамеры (визуальный контроль). Однако критически важные события часто идентифицируются по звуку (крики, шум падения, звуки разрушений), который не всегда может быть передан видеокамерой. Традиционные методы оповещения (громкоговорители, сирены) не всегда эффективны в условиях городского шума и не позволяют адресно проинформировать только тех граждан, которым угрожает непосредственная опасность. Также они способны лишь больше разжечь панику и дезориентировать граждан. Разработка систем, которые способны автоматически отслеживать критические звуки и мгновенно оповещать людей в зоне риска через их мобильные устройства, является актуальной задачей повышения безопасности.

Основная часть. Система акустического мониторинга представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий из чувствительных датчиков (микрофонов), модуля обработки сигналов и модуля оповещения. В отличие от стандартных приборов, показывающих уровень шума, задачей системы является не просто измерение уровня громкости в децибелах, а классификация источника звука. Ключевым элементом является модуль детекции, работающий в заданном диапазоне, например, от 80 дБ и выше, что позволяет игнорировать фоновый шум и фокусироваться на потенциально опасных акустических событиях [1].

1 Алгоритмы обработки и фильтрации. Для идентификации угроз рекомендуется использовать методы спектрального анализа и машинного обучения. Звуковой сигнал преобразуется в спектрограмму, после чего искусственный интеллект может сравнить его с заданными шаблонами. Важнейшей задачей является отсеивание ложных срабатываний, так как система должна отличать звук разбитого стекла, петарды криков нескольких людей от хлопка двери, грома, плача ребенка. В местах массового пребывания людей, где высока плотность случайных звуков, шумов, качество фильтрации должно быть приоритетной задачей.

2 Принцип геолокационного оповещения. После подтверждения факта критического события, превышение порога громкости и совпадение полученной спектрограммы с заданным шаблоном, система определяет координаты инцидента и включает модуль экстренного оповещения. Интеграция с сотовыми сетями позволяет использовать технологию Cell Broadcast, при которой сигнал тревоги рассылается на все мобильные устройства, подключенные к базовым станциям в заданном радиусе, например 500 метров от места срабатывания датчика [2]. Это гарантирует получение сигнала гражданами с ограниченными возможностями, а также людям, у которых отключен звук на телефоне. Это позволяет избежать паники среди населения, находящегося за пределами опасной зоны.

3 Преимущества и недостатки подхода. При оценке эффективности внедрения систем акустического мониторинга с функцией экстренного оповещения необходимо учитывать как их явные преимущества перед традиционными методами обеспечения безопасности, так и существующие ограничения, связанные с технической реализацией и инфраструктурными требованиями.

Преимуществами системы являются:

- реакция на автоматическое оповещение гораздо быстрее, чем при визуальном обнаружении через видеокамеры или при звонке очевидца.
- информирование только людей в зоне реальной опасности не допускает поднятие паники вне зоны, где была зафиксирована угроза.
- в отличие от видео, звуковые датчики работают одинаково эффективно днем и ночью, а также в условиях ограниченной обзорности и недостаточной видимости.
- автоматизация процесса первичного обнаружения позволяет снизить нагрузку на операторов служб экстренного реагирования.

К недостаткам можно отнести сложность настройки алгоритмов распознавания под конкретную акустическую среду города, высокую стоимость высокоточных датчиков и зависимость от инфраструктуры сотовых операторов для реализации рассылки. Недостатками также являются высокая стоимость высокоточных акустических датчиков и необходимость их размещения с определенной плотностью, обеспечивая точную детекцию источника звука, увеличивают бюджет внедрения системы, особенно на крупных территориях со сложной архитектурой. Зависимость от инфраструктуры сотовых операторов для реализации механизма рассылки геолоцированных оповещений накладывает ограничения на зону покрытия, требует заключения соглашений с провайдерами связи и создает риски сбоев при перегрузке сетей в момент чрезвычайной ситуации.

Однако, несмотря на перечисленные недостатки, развитие технологий обработки сигналов и повсеместное распространение мобильной связи создают предпосылки для постепенного преодоления указанных ограничений. Совершенствование методов машинного обучения позволяет повышать точность распознавания звуков, а внедрение стандартов 4G и 5G и технологии Cell Broadcast открывает новые возможности для надежного и быстрого оповещения населения.

4 Интерес представляет зарубежный опыт интеграции систем детекции угроз с мобильными протоколами оповещения. В частности, израильская национальная система оповещения «Цева Адом» (ивр. צבע אדום – «Красный цвет») демонстрирует эффективность подхода, основанного на автоматическом выявлении источника опасности с помощью радиолокационных средств и последующей рассылке сигнала тревоги населению, находящемуся в зоне потенциального поражения [3]. С 2014 года оповещения системы доступны через мобильные приложения, а в настоящее время Командование тыла Израиля использует технологию Cell Broadcast, позволяющую мгновенно рассылать геолоцированные предупреждения на все мобильные устройства в опасном радиусе даже при перегруженности сетей [4]. Адаптация данного принципа для задач акустической детекции критических уровней шума позволяет создать локальный «цифровой периметр» безопасности в местах массового пребывания людей [5].

Заключение. Разработка и внедрение систем акустического мониторинга с функцией детекции критических звуков и последующим оповещением населения через мобильные устройства является перспективным направлением повышения безопасности в местах массового пребывания людей. Системы позволяют сократить время реагирования экстренных служб, предупредить граждан адресно, без лишней паники, повышая их шансы на избежание опасности. Технические сложности, связанные с фильтрацией шумов и интеграцией с телеком-операторами, не должны останавливать развитие данного направления, что позволит создать более эффективный уровень общественной безопасности.

Список литературы

1. Быков А.В, Методы и алгоритмы обнаружения и классификации акустических сигналов в системах безопасности : учеб. пособие / А.В. Быков, Н.Н. Смирнов. – Москва : МГТУ им. Баумана, 2021. – 120 с.
2. Петров, И.С. Системы оповещения населения: от сирен до Cell Broadcast / И.С. Петров – Технологии гражданской безопасности, 2023. – 51 с.
3. Цева адом / Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Цева_адом – Дата доступа: 06.03.2026.
4. «Тыловой вой». Как дозвониться всему Израилю на выключенные телефоны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://m.47news.ru/articles/271258/>. – Дата доступа: 06.03.2026.
5. New: Local authorities will be able to send emergency burst messages to cell phones [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ch10.co.il/en/news/952474/> – Дата доступа: 06.03.2026.

UDC 62.783.1

THE USE OF INTEGRATED VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS WITH A MODULE FOR DETECTING ABANDONED ITEMS, MONITORING AND ACCESS CONTROL IN PLACES OF MASS PRESENCE OF PEOPLE

Mishuk V.E.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Beresnevich A.I.. – Master ofTech. Sci., Senior Lecturer at the Department of PICS

Annotation. The article discusses the concept of developing a specialized acoustic monitoring system designed to respond to critical sounds within a specified frequency and decibel range in urban environments and places of mass gathering. The operating principles of the detection module are analyzed, which is based on processing sound characteristics and comparing them with predefined ranges to filter out irrelevant sounds in order to prevent false alarms. The idea of integrating the system with emergency notification protocols is considered, enabling instant distribution of geolocated alert signals to the mobile devices of citizens within the system's activation radius. Key aspects of improving situational awareness, reducing response time, and minimizing risks to citizens are examined.

Keywords: acoustic monitoring, sound detection system, intelligent detection, emergency public notification, geolocation, safety of mass gathering places.

МЕТОД РАСЧЕТА ОЖИДАЕМОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Силенкова Д.С., Зацепина М.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Боровиков С.М. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассматривается метод оценки ожидаемой надежности программного обеспечения, основанный на использовании метрик производственной среды разработки и характеристик программного продукта, а также на модели перехода от прогнозной плотности ошибок к вероятности безотказной работы в течение заданного периода времени. Приводится последовательность вычислений и демонстрируется применение метода на примере исходных данных.

Ключевые слова: надёжность программного обеспечения, интенсивность отказов, вероятность безотказной работы, методика расчёта.

Введение. Оценка надежности программного обеспечения является важной задачей анализа качества систем. При ограниченных времени и ресурсах экспериментальные методы не всегда применимы, поэтому используются расчетные подходы, позволяющие получить прогнозные показатели на основе формализованных моделей и исходных данных.

Целью данной работы является демонстрация порядка последовательного определения ожидаемой надежности программного обеспечения с использованием нормативных коэффициентов и заданных исходных данных.

Основная часть. Для демонстрации метода расчета ожидаемой надежности программного обеспечения используется следующий набор исходных данных: прогнозный объём программного обеспечения $L=28$ KLOC, календарное время тестирования $T=400$ ч, средний процент времени прогона программы $\tau=2,5\%$, расчетный период эксплуатации $t=720$ ч, прогнозируемое число обращений к программе $\eta=1$ ч⁻¹, производительность вычислительной системы $R=5 \cdot 10^6$ операций в секунду. Язык реализации C++, коэффициенты расширения и ветвления принимаются согласно справочным данным. Базовая плотность ошибок принята равной $F_0=6,0$ ошибок на KLOC. Коэффициенты организационного уровня и квалификации разработчиков приняты: $K_{орг}=1,00$ и $K_{кв}=1,00$.

Метрика производственной среды разработки определяется по формуле:

$$D = K_{орг} * K_{квал} = 1 * 1 = 1, \quad (1)$$

где $K_{орг}$ – коэффициент, учитывающий особенность проектной организации;
 $K_{квал}$ – коэффициент, учитывающий квалификацию и опыт программистов.

Коэффициент сложности программного обеспечения формируется с учетом наличия факторов, влияющих на трудоёмкость разработки и тестирования, и вычисляется по формуле:

$$K_{слож} = 1 + \sum_{i=1}^m k_i = 1 + k_1 + k_2 = 1 + 0,08 + 0,06 = 1,14, \quad (2)$$

где k_i – коэффициент повышения сложности прикладной компьютерной программы за счет наличия у нее i -й характеристики.

Метрика характеристик программного продукта отражает совокупное влияние сложности, новизны и используемых средств разработки и определяется выражением:

$$S = K_{слож} * K_{нов} * K_{ср.разр} * K_{мод} = 1,14 * 0,81 * 1,2 * 0,65 = 0,72 \quad (3)$$

62-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов

где $K_{\text{нов}}$ – коэффициент, учитывающий степень новизны компьютерной программы;
 $K_{\text{ср.разр}}$ – коэффициент средств разработки компьютерной программы;
 $K_{\text{мод}}$ – коэффициент, учитывающий процент использования стандартных модулей в компьютерной программе.

Прогнозная начальная плотность ошибок характеризует ожидаемое количество скрытых дефектов в программном коде и определяется по формуле:

$$F_0 = F_B * D * S = 8,5 * 1 * 0,72 = 6,122 \text{ ошибок/KLOC}, \quad (4)$$

где $F_B = 8,5$ ошибок/KLOC – базовая (усредненная) плотность ошибок для АСУ;
 D – метрика, учитывающая характеристику производственной среды разработки программы;
 S – метрика, учитывающая характеристики разрабатываемой компьютерной программы.

Полученное значение используется в качестве исходного параметра при дальнейшем анализе эксплуатационных характеристик, поскольку наличие скрытых дефектов оказывает непосредственное влияние на вероятность возникновения отказов в процессе функционирования. На следующем этапе методики учитываются динамические характеристики выполнения программы, позволяющие связать статическую оценку дефектности с условиями эксплуатации.

Число выполняемых команд программы определяется выражением:

$$B = L * E_L * E_{\text{ц}} = 28000 * 6 * 40 = 3,36 * 10^6 \text{ команд}, \quad (5)$$

где L – прогнозный объем будущей компьютерной программы в выполняемых строках кода, LOC;
 E_L – коэффициент расширения кода программы относительно числа строк кода L , определяется используемым языком программирования, для (C++) $E_L \geq 6,0$;
 $E_{\text{ц}}$ – коэффициент увеличения числа выполняемых процессором команд за счет наличия в компьютерной программе условных переходов, ветвлений и других особенностей (ввод-вывод данных, считывание информации с внешних носителей, ожидание в очереди, обработка прерываний).

Значение $E_{\text{ц}}$ следует выбирать на основе экспертной оценки с учетом алгоритма выполнения компьютерной программой своих функций, экстремального характера входных данных, числа ветвлений в программе, записи и считывания данных с внешних носителей и т. п. В случае неопределенности рекомендуется выбрать значение от 20 до 50.

Пиковая скорость выполнения программы вычисляется по формуле:

$$V_{\text{пик}} = \frac{R}{B} = \frac{5 * 10^8}{3,36 * 10^6} = 148,81 \text{ с}^{-1}, \quad (6)$$

где R – скорость пикового быстродействия компьютера, операций в секунду;
 B – число команд программы.

Начальная интенсивность отказов программного обеспечения описывает ожидаемую частоту отказов на начальном этапе эксплуатации и определяется выражением:

$$\lambda_0 = 60 * K_{\Sigma} * V_{\text{пик}} * F_0 * L * 10^{-6} = 29,39 \text{ ч}^{-1} \quad (7)$$

Эксплуатационная интенсивность отказов программного обеспечения:

$$\lambda_{\text{экс}} = \frac{\lambda_0}{Q} = \frac{29,3862}{5,55} = 5,29 \text{ ч}^{-1}, \quad (8)$$

где Q – коэффициент эффективности тестирования, который рассчитывается по формуле:

$$Q = \exp\left(\frac{60 \cdot 10^{-6} \cdot K_{\Sigma} \cdot R \cdot t_{\Sigma}}{B}\right) = \exp\left(\frac{60 \cdot 10^{-6} \cdot 19,2 \cdot 5 \cdot 10^8 \cdot 10}{3,36 \cdot 10^6}\right) = 5,55. \quad (9)$$

Коэффициент эффективности тестирования показывает снижение отказов после испытаний и учитывает влияние объема и длительности тестирования на эксплуатационные показатели. Вероятность безотказной работы программного обеспечения в течение календарного времени τ определяется по формуле:

$$P(\tau) = (P_1)^{\eta \cdot \tau} = (\exp(-\lambda_{\text{экс}} \cdot t_1))^{\eta \cdot \tau} = 0,999985887^{720} = 0,990, \quad (10)$$

где η – прогнозное число обращений к программе в час;

P_1 – вероятность безотказной работы одного усредненного набора исходных данных.

Заключение. Рассмотрен метод последовательной оценки ожидаемой надежности программного обеспечения. Приведена последовательность расчёта основных показателей и получено численное значение вероятности безотказной работы за заданный интервал. Метод применим для прогнозной оценки эксплуатационных характеристик ПО в учебных и выпускных работах.

Список литературы

1. Боровиков С.М. Теоретические основы конструирования, технологии и надёжности. – Минск: Дизайн ПРО, 1998. – 336 с.
2. Боровиков С.М., Цырельчук И.Н., Троян Ф.Д. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/25651>. Дата доступа: 05.01.2026.
3. Надёжность в технике. Термины и определения: ГОСТ 27.002-2015 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://megaporm.ru/Data2/1/4293754/4293754027.pdf>. Дата доступа: 06.01.2026.

UDC 004.052

METHOD FOR CALCULATING EXPECTED SOFTWARE RELIABILITY

Silenkova D.S., Zatsepina M.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Borovikov S.M. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This paper considers a computational method for estimating the expected reliability of software. The method is based on the use of development environment metrics and software product characteristics, as well as on a model for transforming the predicted defect density into the probability of failure free operation over a specified time interval. The calculation procedure is presented and illustrated using a set of input data. The proposed approach can be applied in coursework and graduation projects.

Keywords: software reliability, failure intensity, probability of failure free operation, calculation methodology.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА АНАЛИЗА ПОВЕДЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ВЕБ-САЙТА

Отгонбаатар Е.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Лихачевский Д.В. - канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассматривается разработка программного средства анализа поведения пользователей веб-сайта. Система предназначена для автоматического сбора, обработки и визуализации данных о действиях посетителей веб-ресурса. Предлагаемое решение позволяет фиксировать посещения страниц, переходы между разделами, взаимодействие с элементами интерфейса и длительность пользовательских сессий. На основе полученных данных формируются аналитические отчеты, позволяющие владельцам веб-ресурсов оценивать эффективность структуры сайта и принимать решения по оптимизации интерфейса и контента.

Ключевые слова: веб-аналитика, анализ поведения пользователей, веб-приложение, REST API, визуализация данных.

Введение. Современный рынок электронной коммерции характеризуется высокой конкуренцией и растущими требованиями пользователей к функциональности и удобству интернет-магазинов. Согласно исследованиям, персонализированные рекомендации повышают конверсию на 15-30% и увеличивают средний чек на 10-20% [1]. Особую актуальность приобретают системы, способные анализировать поведение пользователей в реальном времени и адаптировать контент под индивидуальные предпочтения.

Целью данной работы является разработка веб-приложения интернет-магазина спортивных товаров с интегрированной системой персонализации, обеспечивающей повышение конверсии и улучшение пользовательского опыта за счет интеллектуального анализа поведения пользователей.

Основная часть. Приложение построено на основе трехуровневой клиент-серверной архитектуры и включает следующие компоненты:

- Frontend-приложение на базе React 18 с использованием TypeScript для типобезопасности и Material-UI v5 для адаптивного интерфейса.
- Backend-сервер на Spring Boot 3.2, обеспечивающий REST API и реализующий бизнес-логику.
- База данных MySQL 8.0 для хранения информации о товарах, пользователях, заказах и аналитических данных с оптимизированной структурой индексов.
- Модуль персонализации, реализующий алгоритмы машинного обучения для формирования рекомендаций на основе анализа поведения пользователей.

Взаимодействие компонентов осуществляется через RESTful API с использованием JSON. Для безопасности применяется JWT-аутентификация с временем жизни токена 24 часа.

Архитектура программного средства основана на клиент-серверной модели и включает серверную и клиентскую части. Серверная часть реализована в архитектурном стиле REST и отвечает за обработку запросов, хранение данных и предоставление аналитической информации через API. Клиентская часть предназначена для визуализации статистических данных и отображения аналитических отчетов.

Архитектура программного средства

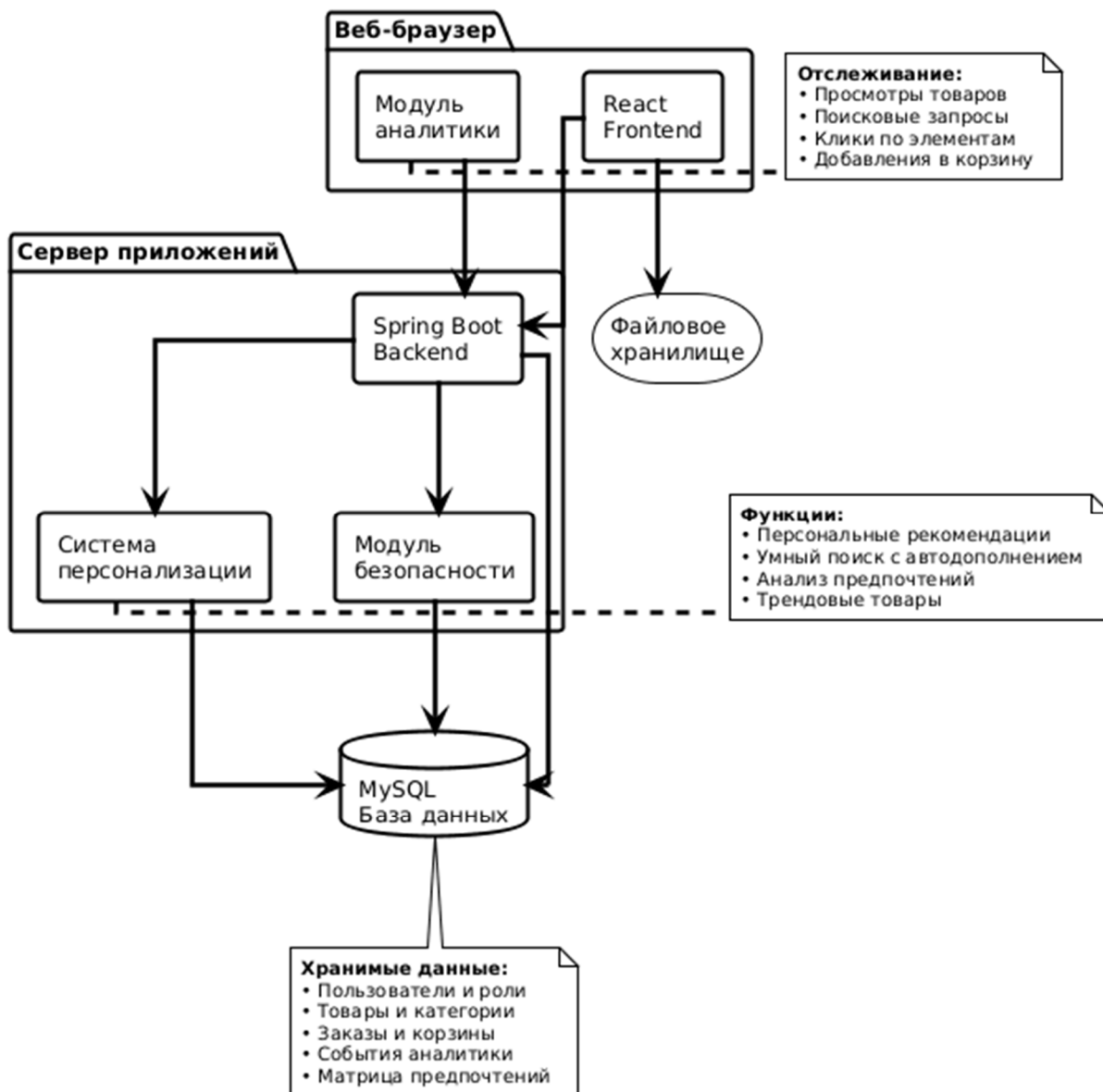


Рисунок 1 – Архитектура программного средства анализа поведения пользователей

Серверная часть системы принимает данные о действиях пользователей и сохраняет их в базе данных. Для хранения информации используется реляционная модель данных, включающая сущности пользователя, сессии, события и страницы сайта. Такая структура позволяет эффективно хранить и анализировать информацию о пользовательской активности.

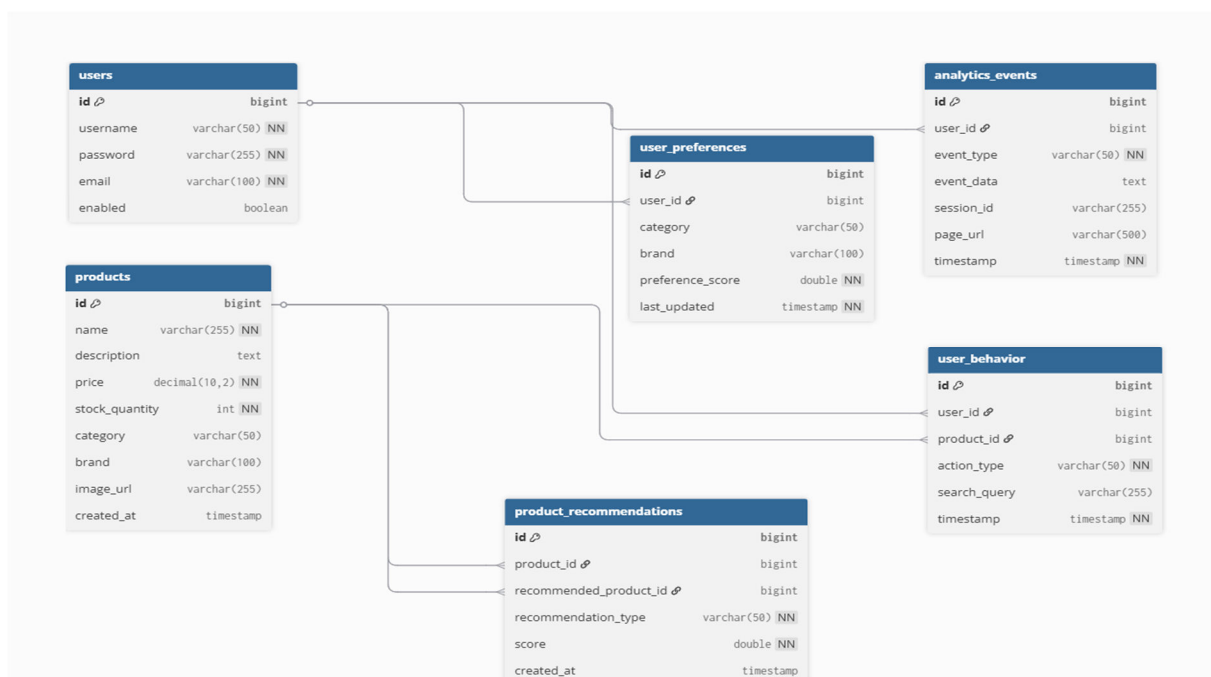


Рисунок 2 – Схема модели данных системы веб-аналитики

Заключение. Разработанное приложение объединяет функции онлайн-ритейла и предиктивной аналитики. Использование гибридной рекомендательной системы и умного поиска напрямую работает на улучшение пользовательского опыта. В перспективе планируется внедрение глубокого обучения (Deep Learning) для рекомендаций, интеграция платежных шлюзов и систем складского учета.

Список литературы

1. Веб-технологии и интернет-программирование / Л. П. Бабенко, А. В. Ицукова. – М. : Юрайт, 2023. – 425 с.
2. Разработка веб-приложений на основе React и Redux / А. Н. Васильев. – СПб. : Питер, 2022. – 368 с.
3. Приемы объектно-ориентированного проектирования. / Дж. Влиссидес. – СПб. : Питер, 2020. – 366 с.
4. Spring Framework. Разработка веб-приложений на Java / В. А. Дронов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2023. – 512 с.
5. MySQL и MariaDB. Базы данных для веб-приложений / Д. Н. Колосниченко. – СПб. : БХВ-Петербург, 2022. – 432 с.
6. React [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mui.com/>. – Дата доступа: 15.01.2026.

UDC 004.9

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE TOOL FOR ANALYZING USER BEHAVIOR ON A WEBSITE

Otgonbaatar E.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhachevsky D.V. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the department of ICSD

Annotation. The work considers the development of a software tool for analyzing the behavior of website users. The system is designed for automatic collection, processing and visualization of data on the actions of visitors to a web resource. The proposed solution allows recording page visits, transitions between sections, interaction with interface elements and the duration of user sessions. Based on the data obtained, analytical reports are generated, allowing web resource owners to evaluate the effectiveness of the site structure and make decisions on optimizing the interface and content.

Keywords: web application, online store, personalization, recommendation system, collaborative filtering, React, Spring Boot, user analytics

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УСПЕШНОСТИ НОВЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО ВЫБОРА

Папко К.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Шелест А.В. – магистр техники и технологии

Аннотация. В статье рассматривается проблема оценки потенциальной успешности продуктовых идей до их вывода на рынок. Обосновывается ограниченность концепции «объективной потребности» и предлагается использование метода сравнительного потребительского выбора как инструмента прогнозирования рыночной реакции. На основе теоретического анализа и эмпирического исследования оцениваются продуктовые идеи торговых марок, представленных на рынке Республики Беларусь. Формулируются практические рекомендации по снижению рисков внедрения новых продуктов.

Ключевые слова: продуктовая идея, потребительское поведение, инновации, сравнительный выбор, co-creation, рыночная неопределенность

Введение. В условиях высокой конкурентной среды и ускоряющейся динамики потребительских предпочтений проблема оценки потенциальной успешности новых продуктов приобретает особую значимость. По данным Национальный статистический комитет Республики Беларусь [1], предприятия Республики Беларусь осуществляют инновационную деятельность, однако уровень коммерческой результативности внедряемых новшеств остается неоднородным. Существенная доля новых продуктов не достигает устойчивого рыночного спроса, что обуславливает необходимость разработки инструментов предварительной оценки их перспективности.

Традиционно успешность продукта связывается с наличием потребности. Однако понятие потребности является сложным и контекстно-зависимым. Классическая модель иерархии потребностей А. Маслоу [2] подвергалась эмпирической критике и не подтверждается как универсальная последовательная структура. Современные исследования [3] демонстрируют, что предпочтения формируются под влиянием множества факторов: культурного контекста, маркетингового воздействия, социального окружения, когнитивных искажений и эмоциональных реакций.

С точки зрения поведенческой экономики, представленной в работах Д. Канемана [4], решения потребителей основываются не только на рациональной оценке полезности, но и на восприятии относительной привлекательности альтернатив, уровне неопределенности и ожидаемом эмоциональном эффекте. В этой связи уровень «объективной потребности» не может рассматриваться как достаточный предиктор успешности продукта.

Таким образом, возникает исследовательская задача: разработать инструмент предварительной оценки потенциальной успешности продуктовой идеи до её вывода на рынок с учетом поведенческих факторов и механизма сравнительного выбора.

Основная часть. В целях эмпирической проверки предложенного подхода было проведено исследование, направленное на оценку восприятия новых вкусовых продуктов, активно вводимых на рынок. В исследование были включены продуктовые линейки следующих производителей, представленных в Республике Беларусь:

- 1 ОАО «Савушкин продукт» с торговой маркой «ТОП».
- 2 ООО «Фрито Лей Манфактуринг» с торговой маркой «Lay's».
- 3 ООО «Мондэлис Русь» с торговой маркой «Alpen Gold».

Эмпирическое исследование проводилось в форме анкетирования, направленного на оценку восприятия новых вкусовых продуктов, представленных на рынке Республики

Беларусь. Сбор данных осуществлялся методом онлайн-опроса с использованием электронной анкеты [5].

В исследовании приняли участие 57 респондентов. Возраст участников варьировался от 16 до 40 лет, при этом наибольшую долю составили респонденты в возрасте 21–30 лет. Гендерная структура выборки характеризуется преобладанием мужской аудитории: около 72 % мужчин и 28 % женщин. Выборка формировалась целенаправленно и включала активных потребителей соответствующих категорий продуктов (молочная продукция, картофельные чипсы и шоколадные изделия).

В качестве объектов оценки были выбраны новые вкусовые продукты трёх производителей, представленных на рынке Республики Беларусь:

- ОАО «Савушкин продукт» (торговая марка «ТОП») – 17 продуктов;
- ООО «Фрито Лей Манфактуринг» (торговая марка «Lay's») – 22 продукта;
- ООО «Мондэлис Русь» (торговая марка «Alpen Gold») – 10 продуктов.

Таким образом, в рамках исследования было проанализировано 49 продуктовых позиций, относящихся к категории новых вкусовых решений.

На первом этапе респондентам предлагалось оценить идею продукта – насколько вероятно, что у них возникнет желание приобрести его для пробного потребления (оценка по шкале от 1 до 5). Данный показатель отражает потенциальную привлекательность концепции и степень первоначального интереса.

На втором этапе оценивалась реализация продукта – насколько вероятно повторное приобретение после фактического потребления. В случае отсутствия опыта пробного потребления респонденты данный вопрос не заполняли. Таким образом, фиксировался переход от когнитивного интереса к поведенческой готовности к повторной покупке.

Подобная дифференциация позволяет разделить два принципиально разных аспекта успешности:

- 1 Привлекательность идеи как маркетингового стимула.
- 2 Фактическую удовлетворенность продуктом.

Первичная оценка идеи демонстрирует потенциал продукта на этапе вывода на рынок, поскольку именно концепция определяет готовность потребителя совершить пробную покупку. В то же время оценка реализации отражает устойчивость спроса и способность продукта закрепиться в потребительской корзине.

В ходе анализа была рассчитана разница между средней оценкой идеи и средней оценкой реализации по формуле 1.

$$\Delta = x - y \quad (1)$$

где Δ – разница между средней оценкой идеи и средней оценкой реализации;

x – это средняя оценка привлекательности идеи продукта;

y – это средняя оценка реализации продукта.

Полученные значения предоставлены на рисунке 1.

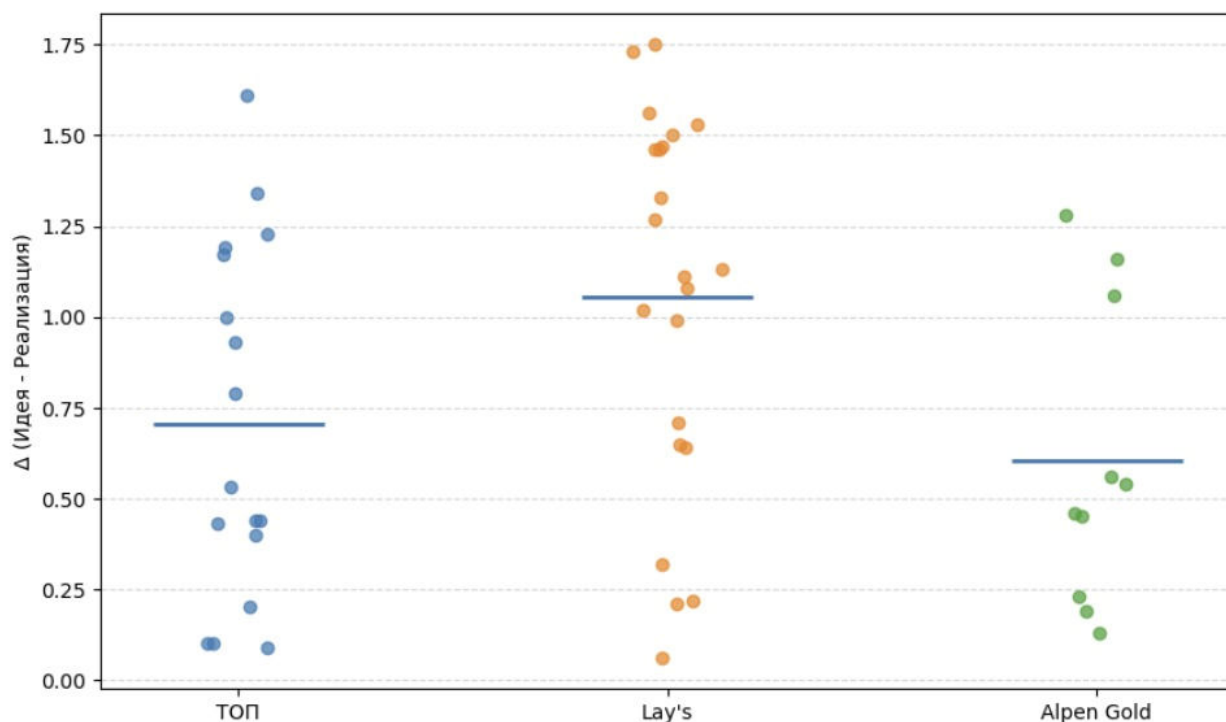


Рисунок 1 – Распределение разницы между оценкой идеи и реализации по брендам

Статистический анализ показал, что во всех рассматриваемых группах наблюдается положительное значение показателя Δ , что свидетельствует о тенденции превышения первоначальной оценки идеи над последующей оценкой реализации продукта. Иными словами, в ряде случаев ожидания, сформированные концепцией продукта, оказывались выше фактического потребительского опыта.

Среднее отклонение между оценками составило 0,84, стандартное отклонение – 0,51. Полученные значения демонстрируют умеренный уровень расхождения между ожиданием и реальным восприятием продукта.

Таким образом, результаты подтверждают гипотезу о том, что идея продукта играет ключевую роль на этапе привлечения внимания и формирования намерения пробной покупки. Концепция способна сформировать повышенные ожидания и стимулировать первичное потребление. Однако долгосрочная успешность продукта определяется степенью соответствия ожиданий фактическому качеству и вкусовым характеристикам.

Следовательно, в сегменте активных потребителей в возрасте 16-40 лет идея оказывает более выраженное влияние на решение о первичной покупке, тогда как повторное потребление зависит преимущественно от удовлетворенности продуктом.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о необходимости тестирования не только маркетинговой идеи продукта, но и его прототипа до масштабного вывода на рынок, что способствует снижению эффекта завышенных ожиданий и повышению устойчивости спроса.

Заключение. Проведенное исследование подтверждает, что концепция объективной потребности не может выступать единственным основанием прогнозирования успешности продукта. Предпочтения формируются под влиянием множества факторов, включая эмоциональные реакции, уровень неопределенности и социальный контекст.

Предложенный метод предварительной оценки, основанный на сравнительном выборе и вовлечении потребителей в процесс генерации идей [6], позволяет выявить относительную привлекательность продукта до его вывода на рынок. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности внедрения механизмов тестирования идей на ранних стадиях разработки в практике предприятий Республики Беларусь.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования предложенного подхода для снижения риска неудачного запуска новых продуктов и повышения обоснованности управленческих решений.

Список литературы

1. Belstat Иновации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/nauka-i-innovatsii/innovatsii/>. – Дата доступа : 30.02.2024.
2. Maslow's Hierarchy of Needs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.simplypsychology.org/maslow.html>. – Дата доступа : 03.03.2026.
3. Tay, L., & Diener, E. (2011). Needs and subjective well-being around the world. *Journal of Personality and Social Psychology*, 101(2), 354–365.
4. Управление рисками (Серия «Harvard Business Review: 10 лучших статей») = On Managing Risk. – М.: Альпина Паблишер, 2022. – 206 с.
5. Опрос [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScxF5HG6JlgwtLhDz1h_G4F1uhtwtUsMF_INc5F4bCPd0TGlg/viewform?usp=dialog. – Дата доступа : 03.03.2026.
6. Прахалад, К.К. Будущее конкуренции : Создание уникальной ценности вместе с потребителями: пер. с англ. / К.К. Прахалад, В. Рамасвами. – Москва : Олимп-Бизнес, 2006. – 352 с.

UDC 659.44

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL SUCCESS OF NEW PRODUCTS BASED ON CONSUMER CHOICE ANALYSIS

Papko K.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Shelest A.V. – Master of Engineering and Technology

Annotation. The article examines the problem of assessing the potential success of product ideas prior to their market launch. The limitations of the concept of “objective need” are substantiated, and the use of a comparative consumer choice method as a tool for forecasting market response is proposed. Based on theoretical analysis and empirical research, product ideas of brands represented in the Republic of Belarus are evaluated. Practical recommendations aimed at reducing the risks associated with the introduction of new products are formulated.

Keywords: product idea, consumer behavior, innovation, comparative choice, co-creation, market uncertainty

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ РАСЧЁТОВ СТИПЕНДИЙ СТУДЕНТАМ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Пташук К.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Лихачевский Д.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматривается концепция разработки программного средства для автоматизации процесса учёта расчётов со студентами-стипендиатами в учреждениях высшего образования. Программное средство разработано с целью оптимизации таких основных подпроцессов, как установление вида стипендии согласно критериям, расчёт стипендии с учетом надбавок и вычетов, предоставление расчётных листов студентам.

Ключевые слова: программное средство, стипендия, студент, учёт расчётов, учреждение высшего образования

Введение. В высших учебных заведениях одной из актуальных задач является автоматизация учёта расчётов со студентами, получающими стипендии. В ряде университетов данный процесс до сих пор реализуется с использованием бумажных документов, электронных таблиц Excel, а также отдельных программных продуктов, таких как 1С. Применение нескольких разрозненных инструментов для обработки и хранения информации создаёт ряд трудностей, например, увеличивается время обработки данных, возрастает вероятность ошибок при начислении дополнительных выплат, снижается прозрачность процесса для самих студентов, возможности анализа и контроля данных остаются ограниченными. В статье рассматривается программное средство, предназначенное для оптимизации процесса учёта расчётов со студентами-стипендиатами, с помощью которого можно будет упростить коммуникацию между студентами и университетом по вопросам начисления стипендий.

Основная часть. Автоматизация процесса учета расчетов со студентами-стипендиатами позволяет трансформировать учетную политику вуза, предоставляя следующие возможности:

1 Сокращение времени, требуемого для расчёта всех стипендий с учётом надбавок и вычетов.

2 Сокращение времени обращения студента и получения им ответа при желании получить расчётный лист.

3 Устранение бумажного документооборота, использование электронного хранения и обработки данных.

4 Анализ и сбор статистики по размерам стипендий, причинам, по которым студенты лишились стипендии.

Для достижения описанных выше возможностей разработано веб-приложение, которое включает в себя следующие ключевые компоненты:

1 Интерфейс для студента, который предоставляет возможность просмотра размера выплаты и получения расчётного листа.

2 Интерфейс для сотрудника деканата, который предоставляет функции администрирования по студентам, стипендиям, вычетам, надбавкам, а также функции просмотра аналитики.

2 Интерфейс для бухгалтера, который предоставляет функции расчёта выплат, формирования нужных документов, смены статуса выплат.

4 База данных, в которой будет храниться информация о студентах, размерах стипендий, конкретных выплатах.

Предметная область разработки веб-приложения обширная, включающая в себя несколько объёмных подпроцессов. Для формирования основной функциональности программного средства необходимо было рассмотреть существующие аналоги подпроцессов. Хотя решений, полностью специализированных на расчётах со студентами, сравнительно немного, отдельные модули по работе со стипендиями присутствуют в составе крупных ERP-систем, используемых учреждениями высшего образования [1]. Кроме того, существуют международные SaaS-платформы, автоматизирующие часть процессов, которые также можно рассматривать как конкурентов по функциональности, даже если они не ведут расчётные операции согласно локальному законодательству.

На основе функциональности существующих аналогов были описаны основные возможности нового программного средства, которые отражены с помощью диаграммы вариантов использования (рисунок 1).

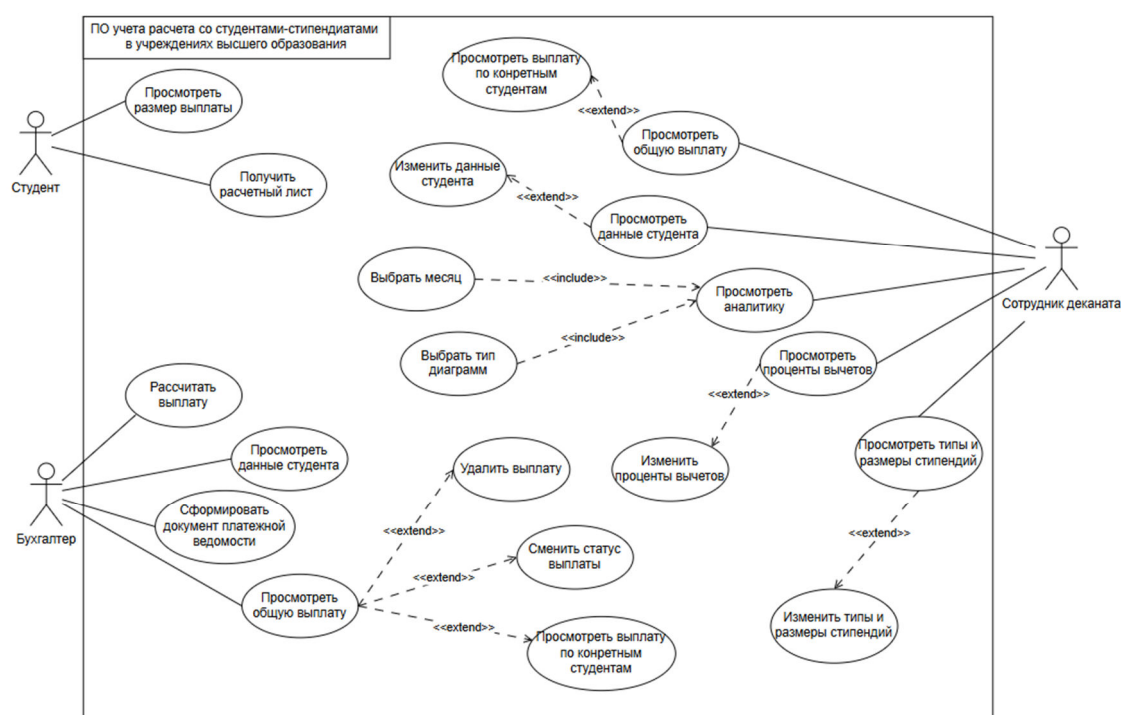


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

Данная диаграмма вариантов использования детально структурирует и отражает ключевые функциональные задачи для трех основных групп пользователей: сотрудника деканата, студента и бухгалтера. Каждая из указанных ролей наделена специфическим набором полномочий, которые коррелируют с их должностными обязанностями в рамках бизнес-процесса.

В системе реализовано строгое разграничение программных прав доступа, что гарантирует целостность и безопасность обрабатываемой финансовой информации: если для студента приоритетными являются функции мониторинга и получения отчетности, то для сотрудников администрации предусмотрены инструменты глубокого редактирования и управления базой данных. Совокупность описанных функциональных возможностей охватывает все этапы жизненного цикла начислений от первичного занесения приказа до формирования итоговых платежных ведомостей. Таким образом, представленной архитектуры функций достаточно для полноценной автоматизации и бесперебойной реализации процесса учета расчетов со студентами-стипендиатами в масштабах всего учебного заведения.

Заключение. Представленное программное средство представляет собой законченное решение для автоматизации стипендиального обеспечения в вузах. Внедрение системы позволяет минимизировать влияние человеческого фактора, обеспечить прозрачность финансовых потоков и создать удобную цифровую среду для взаимодействия студентов и административных подразделений.

Централизованный подход к хранению информации не только упрощает текущую работу бухгалтерии и деканата, но и закладывает основу для дальнейшей интеграции в общеуниверситетскую экосистему (например, через API с системами электронного обучения или банковскими сервисами). Перспективы развития проекта включают внедрение модуля прогнозирования расходов стипендиального фонда на основе методов машинного обучения, что позволит более эффективно планировать бюджет университета на долгосрочный период.

Список литературы

1. Топ 10: ERP для образования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.clouderp.ru/tags/1s_dlja_obrazovanija/ – Дата доступа: 04.03.2026.

UDC 004.9

WEB-APPLICATION FOR STUDENT SCHOLARSHIP MANAGEMENT IN HIGHER EDUCATION

Ptashuk K.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhachevsky D.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This article discusses the concept of developing a software tool to automate the accounting of payments to scholarship recipients at higher education institutions. The software was developed to optimize key subprocesses such as determining the scholarship type according to criteria, calculating the scholarship taking into account allowances and deductions, and providing payslips to students.

Keywords: software, grants, student, accounting, higher education institution

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКИ ОПЕРАТОРА В ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМАХ

Рудько В.Н.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Алефиренко В.М. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Рассмотрены основные методы оценки когнитивной нагрузки оператора при взаимодействии с человеко-машинными системами. Проведен сравнительный анализ субъективных, поведенческих и физиологических методов с точки зрения принципов их применения, преимуществ, ограничений и возможностей использования в сложных системах управления. Показано, что субъективные методы отличаются простотой применения, поведенческие позволяют оценивать влияние нагрузки на результаты деятельности оператора, а физиологические обеспечивают более объективную информацию о его состоянии и пригодны для мониторинга в реальном времени. Отмечено, что наиболее перспективным является комбинированный подход, объединяющий несколько методов оценки когнитивной нагрузки. Сделан вывод о значимости учета когнитивной нагрузки при проектировании адаптивных человеко-машинных интерфейсов и повышении надежности работы оператора в критических условиях.

Ключевые слова: когнитивная нагрузка, оператор, человеко-машинная система, методы оценки

Введение. Современные человеко-машинные интерфейсы широко применяются в различных системах управления. В таких системах оператору необходимо быстро воспринимать и обрабатывать большой объем информации, особенно в условиях ограниченного времени и высокой ответственности. В подобных ситуациях важную роль играет когнитивная нагрузка, от которой во многом зависит скорость реакции оператора, точность оценки ситуации и качество принимаемых решений [1–3].

В данной работе рассматриваются методы оценки когнитивной нагрузки оператора при взаимодействии с человеко-машинными системами. Основное внимание уделяется сравнению субъективных, поведенческих и физиологических методов, а также анализу их возможностей применения в сложных системах управления.

Основная часть. При работе с человеко-машинными интерфейсами оператору необходимо одновременно следить за несколькими параметрами системы, анализировать поступающую информацию и принимать решения. Такая деятельность требует значительных когнитивных ресурсов человека, включая внимание, память и процессы мышления. В результате возникает когнитивная нагрузка, которая может возрастать по мере усложнения задач и увеличения объема обрабатываемой информации [1–3].

На уровень когнитивной нагрузки влияет ряд факторов. К ним относятся количество отображаемых параметров, структура интерфейса, временные ограничения на принятие решений и степень автоматизации системы. Если оператору приходится одновременно контролировать большое количество данных, возрастает риск информационной перегрузки, что может привести к снижению эффективности работы и увеличению вероятности ошибок [1–3].

Для оценки когнитивной нагрузки используются различные методы. В большинстве исследований выделяют три основные группы методов: субъективные, поведенческие и физиологические. Они отличаются источниками информации и способом получения данных о состоянии оператора [2, 3].

Кроме того, уровень когнитивной нагрузки может меняться в зависимости от условий работы оператора. В ситуациях, когда требуется быстро принимать решения или работать в условиях повышенной ответственности, нагрузка значительно возрастает. Это может

приводить к снижению точности выполнения задач и увеличению количества ошибок. Поэтому анализ когнитивной нагрузки рассматривается как важный элемент исследования надежности человеко-машинных систем [2, 3].

Субъективные методы оценки когнитивной нагрузки основаны на самооценке оператора. Они позволяют определить, насколько сложной оператор считает выполняемую задачу и насколько сильным является умственное напряжение. Одним из наиболее распространенных инструментов является метод NASA-TLX, который широко используется при анализе взаимодействия человека с техническими системами. Преимуществом субъективных методов является простота применения и отсутствие необходимости в специальном оборудовании. Однако их результаты могут зависеть от особенностей оператора и условий выполнения задачи [2].

Поведенческие методы основаны на анализе действий оператора в процессе выполнения задач. В качестве показателей могут использоваться время реакции, количество ошибок, скорость выполнения операций и общая эффективность работы. При увеличении когнитивной нагрузки оператор обычно реагирует медленнее и допускает больше ошибок. Такие методы позволяют оценивать влияние нагрузки на деятельность человека, однако они отражают в основном внешние проявления когнитивного состояния [2, 3].

Физиологические методы основаны на регистрации различных биометрических показателей. К ним относятся электроэнцефалография, айтрекинг, анализ вариабельности сердечного ритма и кожно-гальванической реакции. Использование таких методов позволяет получить более объективную информацию о состоянии оператора и отслеживать изменения когнитивной нагрузки в процессе работы [1–3].

В последние годы все большее внимание уделяется применению носимых сенсоров. Они позволяют проводить мониторинг физиологических параметров оператора в условиях, приближенных к реальной работе системы. Например, электроэнцефалография используется для анализа активности мозга, а системы айтрекинга позволяют изучать направление взгляда и особенности зрительного внимания. Дополнительную информацию о состоянии оператора могут давать показатели сердечного ритма и электродермальной активности [2, 4].

Основным преимуществом физиологических методов является их объективность. Кроме того, современные технологии позволяют автоматически обрабатывать полученные данные, в том числе с использованием методов машинного обучения. Однако такие методы требуют специального оборудования и более сложной обработки результатов, что может ограничивать их применение в некоторых условиях [1, 2, 4].

Важно отметить, что каждый из методов имеет свои ограничения. Субъективные методы отражают восприятие оператора, поведенческие методы показывают результаты его деятельности, а физиологические методы характеризуют текущее состояние организма. Поэтому во многих исследованиях используется комбинированный подход, позволяющий получить более полную оценку когнитивной нагрузки [1–3].

Снижение когнитивной нагрузки также связано с правильной организацией человеко-машинного интерфейса. Удобное расположение элементов управления, структурированное представление информации и использование визуальных подсказок помогают оператору быстрее воспринимать данные и принимать решения. По этой причине при проектировании интерфейсов большое внимание уделяется учету когнитивных особенностей пользователя [1, 4].

Методы оценки когнитивной нагрузки различаются по точности, сложности применения и возможностям использования в реальных условиях. Каждый из них имеет свои преимущества и ограничения, поэтому выбор метода зависит от целей исследования и условий эксплуатации системы. Основные характеристики рассмотренных методов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение методов оценки когнитивной нагрузки оператора [1–3]

Метод	Основной принцип	Преимущества	Ограничения
Субъективные	Самооценка оператором уровня когнитивной нагрузки с использованием опросников и шкал (например, NASA-TLX)	Простота применения; отсутствие необходимости в специальном оборудовании; удобство при сравнении интерфейсов	Зависимость от индивидуального восприятия оператора; невозможность непрерывного мониторинга
Поведенческие	Анализ времени реакции, количества ошибок, скорости и эффективности выполнения задач	Позволяют оценить влияние нагрузки на выполнение задач; относительно просты в применении	Косвенная оценка когнитивного состояния; результаты зависят от сложности задания
Физиологические	Регистрация биометрических показателей (EEG, eye-tracking, HRV, кожно-гальваническая реакция и др.)	Более объективная оценка; возможность мониторинга в реальном времени	Требуется специальное оборудование; сложность обработки и интерпретации данных

Как видно из таблицы, субъективные методы отличаются наибольшей простотой применения, однако их результаты могут зависеть от индивидуального восприятия оператора. Поведенческие методы позволяют анализировать эффективность выполнения задач, но не всегда дают прямую информацию о состоянии когнитивных процессов. Наиболее объективные результаты обеспечивают физиологические методы, однако их применение связано с использованием специального оборудования и сложностью обработки данных.

Выбор метода оценки определяется целями исследования: субъективные и поведенческие подходы подходят для предварительного анализа, а физиологические методы – для точного мониторинга состояния оператора в реальном времени.

При выборе метода оценки когнитивной нагрузки важно учитывать не только его точность, но и условия практического применения. В лабораторных исследованиях, где имеется возможность контролировать внешние факторы и использовать специализированное оборудование, наибольший интерес представляют физиологические методы. Они позволяют регистрировать изменения состояния оператора в динамике и получать более объективные данные о протекании когнитивных процессов. Однако в реальных условиях эксплуатации сложных систем их использование может быть затруднено из-за чувствительности оборудования к помехам, необходимости калибровки и сложности интерпретации полученных сигналов [1–4].

Субъективные и поведенческие методы в этом отношении являются более доступными для практического применения. Субъективные шкалы позволяют быстро получить обобщенную оценку воспринимаемой нагрузки после выполнения задания, а поведенческие показатели дают возможность выявить влияние нагрузки на результативность деятельности оператора. Вместе с тем использование только одного метода не всегда позволяет в полной мере охарактеризовать текущее состояние человека. Например, увеличение времени реакции или количества ошибок может быть связано не только с ростом когнитивной нагрузки, но и с утомлением, стрессом, недостаточной подготовкой оператора либо особенностями организации интерфейса [2, 3].

Мультимодальный подход, совмещающий субъективные, поведенческие и физиологические данные, обеспечивает наиболее полную и достоверную оценку состояния оператора. Такой подход особенно актуален для интеллектуальных и адаптивных человеко-машинных систем, в которых результаты оценки когнитивной нагрузки могут использоваться для автоматической корректировки интерфейса, перераспределения функций между человеком и автоматикой, а также предупреждения оператора о риске перегрузки [1, 2, 4].

Перспективны адаптивные интерфейсы, динамически меняющие способ представления данных и степень автоматизации в зависимости от текущей нагрузки пользователя. Использование адаптивных интерфейсов позволяет снизить информационную перегрузку оператора, повысить эффективность восприятия информации и уменьшить вероятность ошибок при управлении сложными техническими системами.

Заключение. Проведенный анализ показал, что для оценки когнитивной нагрузки оператора в человеко-машинных системах могут применяться различные методы. Субъективные методы отличаются простотой применения, поведенческие методы позволяют анализировать результаты деятельности оператора, а физиологические методы дают более объективную информацию о состоянии человека и могут использоваться для мониторинга в реальном времени.

Наиболее эффективным подходом является использование нескольких методов одновременно. Комбинирование различных способов оценки позволяет получить более точное представление о состоянии оператора и повысить надежность анализа. Перспективным направлением развития человеко-машинных систем является также внедрение адаптивных интерфейсов, которые могут учитывать уровень когнитивной нагрузки пользователя и снижать риск информационной перегрузки.

Список литературы

- 1 Ioniță, A.-R. *Mind, Machine, and Meaning: Cognitive Ergonomics and Adaptive Inter-faces in the Age of Industry 5.0* / A.-R. Ioniță, D.-C. Anghel, T. Boudouh // *Applied Sciences*. – 2025. – Vol. 15. – Art. 7703. – DOI: 10.3390/app15147703.
- 2 Iarlori, S. *An Overview of Approaches and Methods for the Cognitive Workload Estimation in Human–Machine Interaction Scenarios through Wearables Sensors* / S. Iarlori, D. Perpetuini, M. Tritto [u др.] // *BioMedInformatics*. – 2024. – Vol. 4. – C. 1155–1173. – DOI: 10.3390/biomedinformatics4020064.
- 3 Abbas, A. N. *Analyzing State of Operators and the Impact of AI-Enhanced Decision Support in Control Rooms: A Human-in-the-Loop Specialized Reinforcement Learning Framework* / A. N. Abbas, C. W. Amazu, J. Mietkiewicz [u др.] // *arXiv*. – 2024. – arXiv:2402.13219.
- 4 Johnson, C. J. *Cognitive Workload Considerations for Human–Machine Integrated Formations* / C. J. Johnson, A. R. Marathe. – Aberdeen Proving Ground : DEVCOM Army Research Laboratory, 2025. – 22 c. – ARL-TN-1248.

UDC 331.101.1:004.5

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING OPERATOR COGNITIVE WORKLOAD IN HUMAN–MACHINE SYSTEMS

Rudzko V.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alefrenko V. M. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The article examines the main methods for assessing an operator’s cognitive workload in human–machine systems. A comparative analysis of subjective, behavioral, and physiological methods is carried out in terms of their application principles, advantages, limitations, and suitability for use in complex control systems. It is shown that subjective methods are easy to apply, behavioral methods make it possible to assess the impact of workload on operator performance, and physiological methods provide more objective information about the operator’s state and are suitable for real-time monitoring. It is noted that the most promising approach is a combined one that integrates several cognitive workload assessment methods. The paper concludes that taking cognitive workload into account is important for the design of adaptive human–machine interfaces and for improving operator reliability under critical conditions.

Keywords: cognitive workload, operator, human–machine system, assessment methods

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ PAGE OBJECT И SCREENPLAY ПАТТЕРНОВ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ СЦЕНАРИЕВ В БИЗНЕС-ПРИЛОЖЕНИЯХ

Шипуль А.Р.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Косарева Е.М. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматриваются архитектурные подходы к построению автоматизированных тестов пользовательского интерфейса – Page Object Model и Screenplay. Актуальность исследования обусловлена усложнением корпоративных бизнес-приложений и необходимостью обеспечения масштабируемости и сопровождаемости тестовой архитектуры. Проведен сравнительный анализ паттернов по критериям связности компонентов, повторного использования кода, устойчивости к изменениям интерфейса и прозрачности бизнес-логики. Установлено, что при автоматизации сложных многошаговых сценариев Screenplay обеспечивает более гибкую и устойчивую архитектуру по сравнению с классической моделью Page Object.

Ключевые слова: автоматизация тестирования, Page Object Model, Screenplay, бизнес-приложения, UI-тестирование, масштабируемость

Введение. Усложнение архитектуры современных ERP-, CRM- и банковских систем с их многоэтапными формами и динамическими элементами делает автоматизацию тестирования критическим фактором обеспечения качества.

Одной из ключевых проблем при автоматизации сложных сценариев является поддерживаемость тестов. Изменения структуры интерфейса, добавление промежуточных шагов или модификация бизнес-логики часто приводят к необходимости переработки большого объема тестового кода. Для минимизации подобных рисков применяются архитектурные паттерны проектирования тестов. Наиболее распространенным из них является Page Object Model, описанный в рекомендациях проекта Selenium [1]. Альтернативным подходом выступает паттерн Screenplay, активно развиваемый в рамках фреймворка Serenity BDD [2].

Целью работы является сравнительный анализ эффективности указанных паттернов при автоматизации сложных сценариев в бизнес-приложениях.

Основная часть. При автоматизации тестирования пользовательских интерфейсов корпоративных информационных систем ключевое значение приобретает выбор архитектурного подхода к построению тестовой системы. В условиях роста числа модулей, усложнения бизнес-процессов и регулярных изменений интерфейса именно структура тестовой архитектуры определяет её сопровождаемость и устойчивость к изменениям.

Сложный сценарий здесь определяется как многошаговый процесс (например, оформление финансовой транзакции) с разветвленной логикой, зависимостью от ролей пользователя и передачей состояния между экранами.

Сравнительный анализ архитектурных подходов выполняется по следующим критериям:

- связанность компонентов тестовой системы;
- возможность повторного использования кода;
- устойчивость к изменениям пользовательского интерфейса;
- прозрачность и читаемость бизнес-логики сценариев;
- масштабируемость архитектуры при увеличении числа сценариев.

Одним из наиболее распространённых подходов к организации UI-тестов является Page Object Model. Данный паттерн предполагает представление каждой страницы веб-приложения в виде отдельного программного класса, инкапсулирующего элементы интерфейса и методы

взаимодействия с ними [1]. Тестовый сценарий формируется посредством последовательного обращения к соответствующим объектам страниц.

Структурная организация тестовой системы при использовании Page Object Model (рисунок 1):

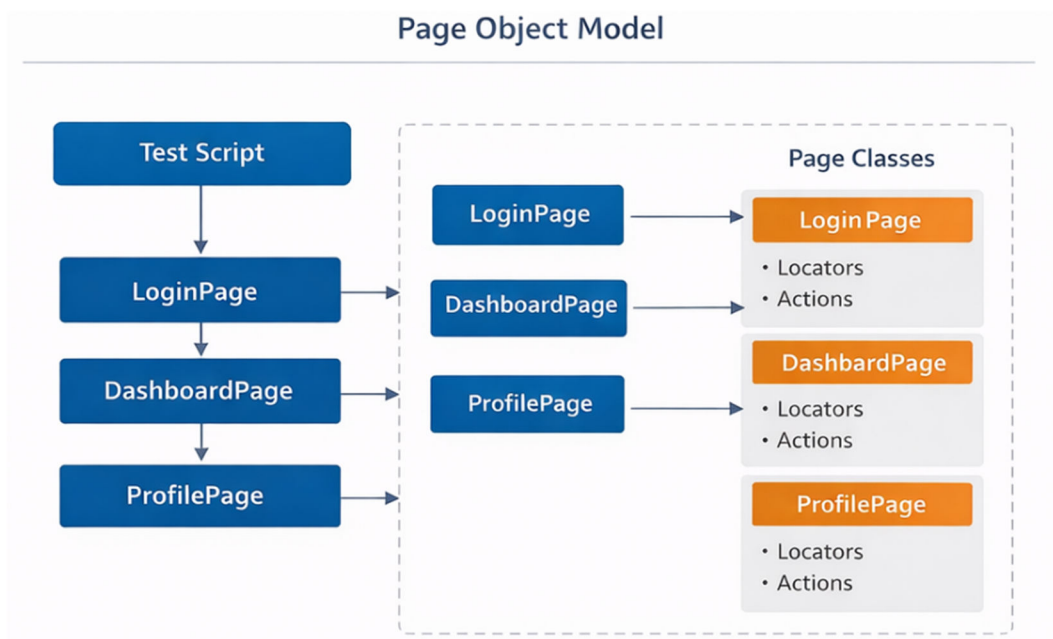


Рисунок 1 – Структурная схема взаимодействия тестового сценария с Page Object Model

Применение Page Object Model позволяет централизовать локаторы элементов, сократить дублирование кода и обеспечить базовую структурированность тестовой архитектуры. На начальном этапе внедрения автоматизации POM демонстрирует высокую эффективность благодаря простоте понимания и относительно невысоким требованиям к архитектурному проектированию. Особенно оправданным данный подход является в проектах с ограниченным числом экранов и линейной логикой пользовательских сценариев.

Кроме того, Page Object способствует разделению тестовой логики и технической реализации взаимодействия с интерфейсом. Это упрощает адаптацию тестов при незначительных изменениях DOM-структуры страницы. В небольших командах такой подход снижает порог входа в автоматизацию, поскольку структура «одна страница – один класс» интуитивно понятна даже начинающим инженерам.

Однако при масштабировании проекта начинают проявляться структурные ограничения данной модели. По мере увеличения количества страниц и сценариев классы Page Object усложняются, аккумулируя в себе как описание элементов, так и последовательность бизнес-действий. В результате один класс может содержать десятки методов, отражающих различные варианты использования страницы. Это приводит к нарушению принципа единственной ответственности и к постепенному росту связанности между компонентами тестовой системы [6].

Высокая связанность выражается в том, что изменение логики взаимодействия на одной странице способно повлиять на несколько тестовых сценариев одновременно. При наличии цепочек переходов между страницами формируются неявные зависимости, усложняющие рефакторинг. В условиях частых релизов и регулярных изменений интерфейса это приводит к увеличению времени поддержки тестов.

Дополнительной проблемой становится повторное использование действий. Например, операция поиска клиента или авторизации пользователя может присутствовать в нескольких модулях системы. В рамках Page Object такие действия зачастую реализуются в разных

классах страниц, что приводит к дублированию кода и повышению вероятности расхождения реализаций. Аналогичные проблемы сопровождения тестовых архитектур описаны в работах по шаблонам тестирования [3, 4].

Альтернативным подходом является паттерн Screenplay, основанный на модели взаимодействия «Актёр – Задача – Взаимодействие» [2, 5]. В данном случае тест описывает поведение пользователя, а не структуру страницы. Центральным элементом архитектуры выступает актёр, обладающий определёнными способностями и выполняющий задачи, состоящие из атомарных взаимодействий.

Общая схема организации тестовой системы в соответствии с паттерном Screenplay (рисунок 2):

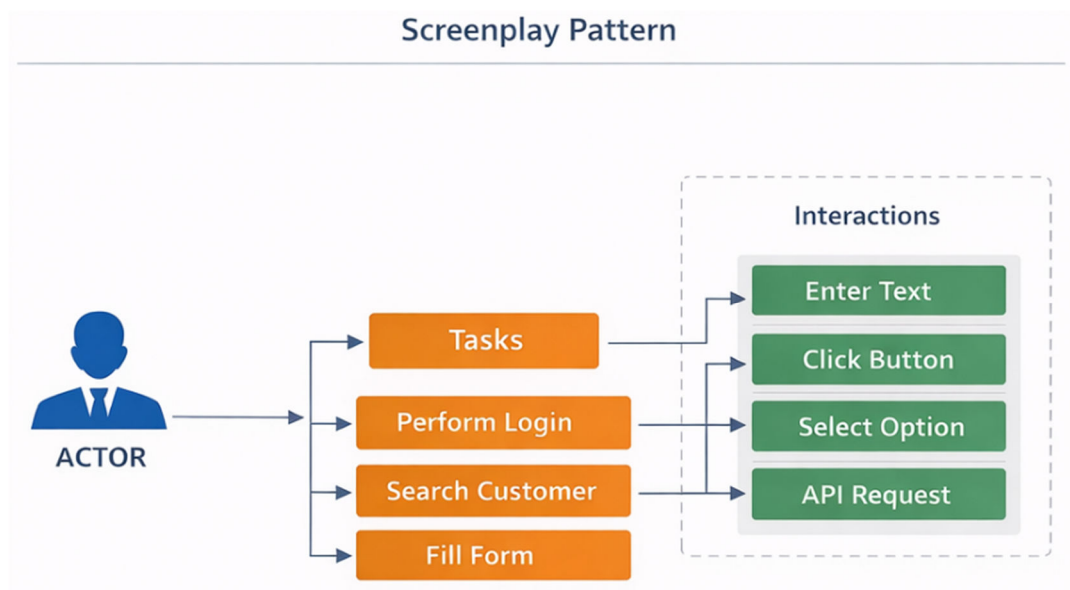


Рисунок 2 – Структурная схема архитектуры Screenplay

Screenplay обеспечивает глубокую декомпозицию: действия становятся переиспользуемыми атомарными блоками, абстрагированными от конкретных страниц до уровня бизнес-операций.

Данный подход согласуется с принципами объектно-ориентированного проектирования и способствует лучшей модульности системы. Изменение интерфейса требует корректировки только соответствующих взаимодействий или описаний элементов, не затрагивая бизнес-задачи целиком. Это существенно сокращает область влияния изменений и уменьшает риск возникновения каскадных ошибок в тестах.

Дополнительным преимуществом является повышение прозрачности сценариев. Тестовые отчеты формируются как последовательность логически завершенных действий пользователя, что делает их понятными не только разработчикам, но и аналитикам или менеджерам проекта.

Сравнительный анализ показывает, что Page Object является эффективным решением для небольших проектов с ограниченным числом сценариев и стабильным интерфейсом. Он обеспечивает быстрый старт автоматизации и минимальные архитектурные издержки. В то же время при автоматизации крупных бизнес-приложений с длительным жизненным циклом Screenplay демонстрирует более высокую устойчивость к изменениям и лучшую масштабируемость. Исследования в области автоматизации подтверждают, что более глубокая декомпозиция тестовой логики способствует снижению затрат на сопровождение в долгосрочной перспективе [7, 8].

Следует отметить, что внедрение Screenplay требует предварительного архитектурного проектирования и более высокой квалификации команды. На начальном этапе это может

увеличить трудозатраты и усложнить структуру проекта. Однако при длительном сопровождении системы данный подход позволяет избежать накопления технического долга, характерного для чрезмерно разросшихся Page Object-классов.

Таким образом, различия между рассматриваемыми паттернами проявляются прежде всего при работе со сложными, многошаговыми бизнес-сценариями, где критическое значение приобретают модульность, переиспользование и устойчивость к изменениям.

Заключение. В результате проведенного анализа установлено, что выбор между Page Object Model и Screenplay зависит от масштаба проекта и стратегических целей автоматизации. Page Object остается рациональным решением при ограниченных ресурсах и относительно простой структуре приложения.

При автоматизации сложных многошаговых сценариев в корпоративных системах Screenplay обеспечивает более гибкую архитектуру, снижает связанность компонентов и повышает устойчивость тестов к изменениям пользовательского интерфейса. Таким образом, для крупных бизнес-приложений с длительным циклом сопровождения применение Screenplay является более эффективным с точки зрения масштабируемости и поддерживаемости автоматизированной тестовой системы.

Список литературы

1. Freeman, S. *Growing Object-Oriented Software, Guided by Tests* / S. Freeman, N. Pryce. – Boston : Addison-Wesley, 2009. – 768 p. – ISBN 978-0-321-50362-6.
2. Meszaros, G. *xUnit Test Patterns: Refactoring Test Code* / G. Meszaros. – Boston : Addison-Wesley, 2007. – 883 p. – ISBN 978-0-321-20790-9.
3. Crispin, L. *Agile Testing: A Practical Guide for Testers and Agile Teams* / L. Crispin, J. Gregory. – Boston : Addison-Wesley, 2009. – 536 p. – ISBN 978-0-321-53446-0.
4. Fewster, M. *Software Test Automation: Effective Use of Test Execution Tools* / M. Fewster, D. Graham. – Harlow : Addison-Wesley, 1999. – 592 p. – ISBN 978-0-201-33140-3.
5. Smart, J. F. *BDD in Action: Behavior-Driven Development for the Whole Software Lifecycle* / J. F. Smart. – Shelter Island : Manning Publications, 2015. – 440 p. – ISBN 978-1-61729-165-4.
6. Martin, R. C. *Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design* / R. C. Martin. – Boston : Prentice Hall, 2017. – 432 p. – ISBN 978-0-13-449416-6.
7. Fowler, M. *Patterns of Enterprise Application Architecture* / M. Fowler. – Boston : Addison-Wesley, 2002. – 560 p. – ISBN 978-0-321-12742-6.
8. *Selenium Documentation. Page Object Models* / Selenium Project // Selenium Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.selenium.dev/documentation/test_practices/encouraged/page_object_models/ (дата обращения: 02.03.2026).
9. *Serenity BDD Screenplay Pattern* / Serenity BDD // Serenity Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://serenity-bdd.info/docs/screenplay> (дата обращения: 02.03.2026).

UDC 004.415.533

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF PAGE OBJECT AND SCREENPLAY PATTERNS IN AUTOMATING COMPLEX SCENARIOS IN BUSINESS APPLICATIONS

Shipul A.R.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Scientific advisor: Kosareva E.M. – Assistant Lecturer, Department of ICSD

Annotation. The article examines architectural approaches to building automated user interface tests, namely the Page Object Model and the Screenplay pattern. The relevance of the study is determined by the increasing complexity of corporate business applications and the need to ensure scalability and maintainability of test architecture. A comparative analysis of the patterns was carried out based on the criteria of component coupling, code reusability, resistance to interface changes, and transparency of business logic. It has been established that when automating complex multi-step scenarios, the Screenplay pattern provides a more flexible and sustainable architecture compared to the classical Page Object model.

Keywords: test automation, Page Object Model, Screenplay, business applications, UI testing, scalability

МЕТОД ОЦЕНКИ ОЖИДАЕМОЙ НАДЁЖНОСТИ ПРИКЛАДНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ

Силенкова Д.С., Зацепина М.И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Боровиков С.М. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассматривается метод оценки ожидаемой надёжности прикладной компьютерной программы до начала написания кода на языке программирования. Метод учитывает особенности организации, разрабатывающей программное обеспечение, квалификацию программистов и основные характеристики планируемой к разработке компьютерной программы. На конкретном примере проиллюстрировано применение метода.

Ключевые слова: надёжность прикладной компьютерной программы, интенсивность проявления скрытых дефектов, вероятность безотказной работы программы

Введение. Оценка эксплуатационной надёжности ПО на этапе проектирования критична для определения рентабельности разработки и итоговых характеристик системы.

Цель работы – расчет ожидаемой надёжности прикладного ПО на конкретном примере..

Основная часть. Для иллюстрации метода расчета ожидаемой надёжности прикладной компьютерной программы использованы следующие исходные данные:

– прогнозный объём компьютерной программы $L = 30$ KLOC (KLOC – англоязычный вариант размерности «тысяч строк программного кода»);

– календарное рабочее время тестирования компьютерной программы $T = 700$ ч;

– средний процент времени прогона компьютерной программы (r) при её тестировании, зависит от области применения программы, принято $r = 2,5\%$ [1, 3];

– заданный период эксплуатации τ , для которого определяют проектный уровень эксплуатационной надёжности компьютерной программы, $\tau = 720$ ч;

– прогнозное число обращений в час к компьютерной программе (η) в течение заданного периода эксплуатации $\tau = 720$ ч, принято $\eta = 2$ ч⁻¹;

– указанное в технической документации пиковое быстродействие процессора, используемого в компьютере, $R = 5 \cdot 10^8$ операций в секунду;

– язык программирования для написания программного кода: C++.

Для выбора коэффициентов, определяющих метрики компьютерной программы использованы работы [1–3]. Последовательность оценки ожидаемой надёжности программы:

1 Уточняем метрику производственной среды разработки компьютерной программы (D):

$$D = K_{\text{орг}} \cdot K_{\text{квал}} = 0,76 \cdot 1,3 = 0,988 \quad (1)$$

где $K_{\text{орг}}$ – коэффициент, учитывающий особенность проектной организации; принято $K_{\text{орг}} = 0,76$ (организация, эксплуатирующая компьютерную информационную систему) [1, 3];

$K_{\text{квал}}$ – коэффициент, учитывающий квалификацию программистов, принято $K_{\text{квал}} = 1,3$ (младший программист – Junior Developer) [1, 3].

2 Определяем коэффициент сложности программного обеспечения ($K_{\text{слож}}$), учитывающий наличие факторов (m), влияющих на трудоёмкость разработки и тестирования компьютерной программы:

$$K_{\text{слож}} = 1 + \sum_{i=1}^m k_i = 1 + k_1 + k_2 = 1 + 0,08 + 0,06 = 1,14, \quad (2)$$

где k_i – коэффициент повышения сложности прикладной компьютерной программы за счёт наличия у нее i -й характеристики; принято $m = 2$, коэффициенты k_i получены по [2].

3 Находим метрику S , учитывающую характеристики разрабатываемой компьютерной программы: влияние сложности ($K_{\text{слож}}$), новизны ($K_{\text{нов}}$), используемых средств разработки ($K_{\text{ср.разр}}$) и степени использования в программе готовых программных модулей ($K_{\text{мод}}$). Коэффициенты выбраны с учётом документа [2].

$$S = K_{\text{слож}} \cdot K_{\text{нов}} \cdot K_{\text{ср.разр}} \cdot K_{\text{мод}} = 1,14 \cdot 0,81 \cdot 1,2 \cdot 0,77 \approx 0,853. \quad (3)$$

4 Определяем начальную плотность ошибок в компьютерной программе (F_0), характеризующую ожидаемое количество скрытых дефектов в программном коде после устранения ошибок, вызванных нарушением правил языка программирования:

$$F_0 = F_B \cdot D \cdot S = 8,5 \cdot 0,988 \cdot 0,853 = 7,163 \text{ ошибок/KLOC} \quad (5)$$

где $F_B = 8,5$ ошибок/KLOC – базовая (усреднённая) плотность ошибок для прикладных компьютерных программ, предназначенных для АСУ [1, 3].

5 Даём оценку прогнозному значению количества команд, выполняемых программой:

$$B = L \cdot E_L \cdot E_{\text{ц}} = 30000 \cdot 6 \cdot 30 = 5,4 \cdot 10^6 \text{ команд}, \quad (6)$$

где E_L – коэффициент расширения кода программы относительно числа строк кода L , определяется используемым языком программирования, для (C++) $E_L \geq 6,0$.

$E_{\text{ц}}$ – коэффициент увеличения числа выполняемых процессором команд за счёт наличия в программе условных переходов, ветвлений и других особенностей (ввод-вывод данных, считывание с внешних носителей, ожидание в очереди, обработка прерываний).

Значение $E_{\text{ц}}$ выбирается на основе экспертной оценки с учетом алгоритма программы, характера входных данных и сложности операций, а при неопределенности рекомендуется диапазон 20–50 (принято $E_{\text{ц}} = 30$).

6 Определяем пиковую скорость выполнения команд компьютерной программы ($V_{\text{пик}}$) для пикового быстродействия процессора:

$$V_{\text{пик}} = \frac{R}{B} = \frac{5 \cdot 10^8}{5,4 \cdot 10^6} = 92,5926 \text{ с}^{-1}. \quad (7)$$

7 Находим начальную интенсивность отказов λ_0 (интенсивность проявления скрытых ошибок), т.е. интенсивность отказов программы до начала её тестирования:

$$\lambda_0 = 60 \cdot K_{\Sigma} \cdot V_{\text{пик}} \cdot F_0 \cdot L \cdot 10^{-6} = 60 \cdot 19,2 \cdot 92,5926 \cdot 7,163 \cdot 30 \cdot 10^{-6} = 22,9216 \text{ ч}^{-1}, \quad (8)$$

где K_{Σ} – коэффициент увеличения интенсивности отказов из-за суммарного действия изменчивости входных данных и рабочей нагрузки на компьютерную программу со стороны эксплуатационной среды (ввод данных, использование принтера, ожидание операций в очереди и т. д); для компьютерных программ, используемых для АСУ, $K_{\Sigma} = 19,2$ [1, 3].

8 Находим проектное значение коэффициента тестирования Q компьютерной программы в предположении, что тестирование программы выполняется в течение заданного (бюджетного) календарного рабочего времени T [1]:

$$Q = \exp \left[\frac{60 \cdot 10^{-6} \cdot K_{\Sigma} \cdot R \cdot T \cdot (r/100)}{B} \right] = \exp \left[\frac{60 \cdot 10^{-6} \cdot 19,2 \cdot (5 \cdot 10^8) \cdot 700 \cdot (2,5/100)}{5,4 \cdot 10^6} \right] = 6,47. \quad (9)$$

9 Определяем эксплуатационную интенсивность отказов компьютерной программы ($\lambda_{\text{экс}}$):

$$\lambda_{\text{экс}} = \frac{\lambda_0}{Q} = \frac{22,9216}{6,47} = 3,5428 \text{ ч}^{-1}. \quad (10)$$

10 Вероятность безотказной работы программы в течение календарного времени τ (принята во внимание работа [1] и документ [4]):

$$P(\tau) = (P_1)^{\eta \tau} = \left[\exp \left(-\lambda_{\text{экс}} \cdot \frac{B}{(3600 \cdot 0,7 \cdot R)} \right) \right]^{\eta \tau} = \\ = \left[\exp \left(-3,5428 \cdot \frac{5,4 \cdot 10^6}{(3600 \cdot 0,7 \cdot 5 \cdot 10^8)} \right) \right]^{2 \cdot 720} = 0,978373 \approx 0,98. \quad (11)$$

где P_1 – вероятность безотказной обработки одного усредненного набора исходных данных.

Заклучение. Иллюстрация применения метода примером позволит лучше осмыслить подход, используемый для оценки ожидаемой надёжности планируемой к разработке прикладной компьютерной программы.

Список литературы

1. Боровиков, С. М. Надёжность разрабатываемых прикладных компьютерных программ для информационных систем = Reliability of developed application computer programs of information systems / С. М. Боровиков, А. В. Будник, В. Т. Лё // Проблемы инфокоммуникаций : научный журнал. – 2025. – № 1. – С. 25–34.
2. Постановление министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь 27 июня 2007 г. № 91 «Об утверждении укрупнённых норм затрат труда на разработку программного обеспечения» [Электронный ресурс]. – URL: <https://news-newsby-org.narod.ru/doc-rzn/pos05/postn05236/index.htm> (дата обращения 24.02.2025).
3. McCall J.A., Randell W., Dunham J., Lauterbach L. Software reliability, measurement, and testing guidebook for software reliability measurement and testing // RL-TR-92-52: Final Technical Report, Vol II (of two) / Science Applications International Corp., Research Triangle Institute. – Rome Laboratory, NY 13441-5700, 1992. – 256 p. – URL: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA256164.pdf> (дата обращения 24.02.2025).
4. ГОСТ 27.205-97 Надёжность в технике. Проектная оценка надёжности сложных систем с учётом технического и программного обеспечения и оперативного персонала. Основные положения. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2005. – 22 с.

UDC УДК 004.4' 242:004.6-027.45

METHOD FOR ASSESSING THE EXPECTED RELIABILITY OF APPLIED COMPUTER PROGRAMS

Silenkova D.S., Zatssepina M.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Borovikov S.M. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This paper examines a method for assessing the expected reliability of an application program before coding it in a programming language. The method takes into account the characteristics of the software development organization, the qualifications of the programmers, and the key characteristics of the planned computer program. A specific example illustrates the application of the method.

Keywords: software reliability, the intensity of the manifestation of hidden defects, the probability of failure-free operation of the program

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО РЕАЛИЗАЦИИ КЛИЕНТСКОГО СЕРВИСА АВТОМАТИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С СЕРВИСНОЙ КОМПАНИЕЙ

Василевич П.М.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Верхов К.А. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматривается разработка программного средства для автоматизации взаимодействия клиента с сервисной компанией по ремонту электроники. Программное средство позволит управлять жизненным циклом заявок на ремонт, клиентской базой, коммуникацией и каталогом услуг для повышения качества обслуживания в сервисной компании.

Ключевые слова: программное средство, клиентский сервис, автоматизация взаимодействия, сервисная компания.

Введение. В условиях высокой конкуренции на рынке ремонтных услуг эффективная организация взаимодействия с заказчиками становится ключевым фактором успеха для сервисных компаний [1]. Зачастую управление заявками, ведение клиентской базы и коммуникация с клиентами осуществляются с использованием разрозненных инструментов или ручных методов, что приводит к ряду проблем: потере истории обращений, ошибкам при оформлении документов, низкой скорости обработки заказов и неэффективной обратной связи с клиентом. Эти факторы негативно сказываются на лояльности потребителей и репутации компании.

В данной статье рассматривается концепция и функционал программного средства, разработанного для автоматизации полного цикла обслуживания в сервисной компании по ремонту электронных устройств. Внедрение описываемой системы позволит минимизировать влияние человеческого фактора, ускорить процессы приема и выдачи техники, обеспечить эффективное управление коммуникацией с клиентами и программами лояльности, а также провести анализ работы сервисной компании.

Основная часть. Разработка программного средства для автоматизации взаимодействия с сервисной компанией направлена на создание единой цифровой среды для управления взаимодействием сервисного центра с клиентом, объединяющей процессы обработки заявок и коммуникацией.

Разрабатываемое программное средство решает следующие задачи:

- создание единого информационного пространства для хранения данных о клиентах и их историях обращений, заявках и услугах, что облегчает управление и доступ к ним;
- предоставление клиенту возможности отслеживать статус ремонта в режиме реального времени, что снижает нагрузку на колл-центр;
- автоматическое формирование квитанций, актов выполненных работ и гарантийных талонов на основе данных заявки, что минимизирует ошибки ручного ввода;
- внедрение системы скидок и промокодов для удержания постоянных клиентов;
- анализ ключевых показателей работы компании для принятия управленческих решений;

Функциональные возможности системы и описание взаимодействия ролей с программным продуктом описаны в диаграмме вариантов использования. Данная диаграмма представлена на рисунке 1.

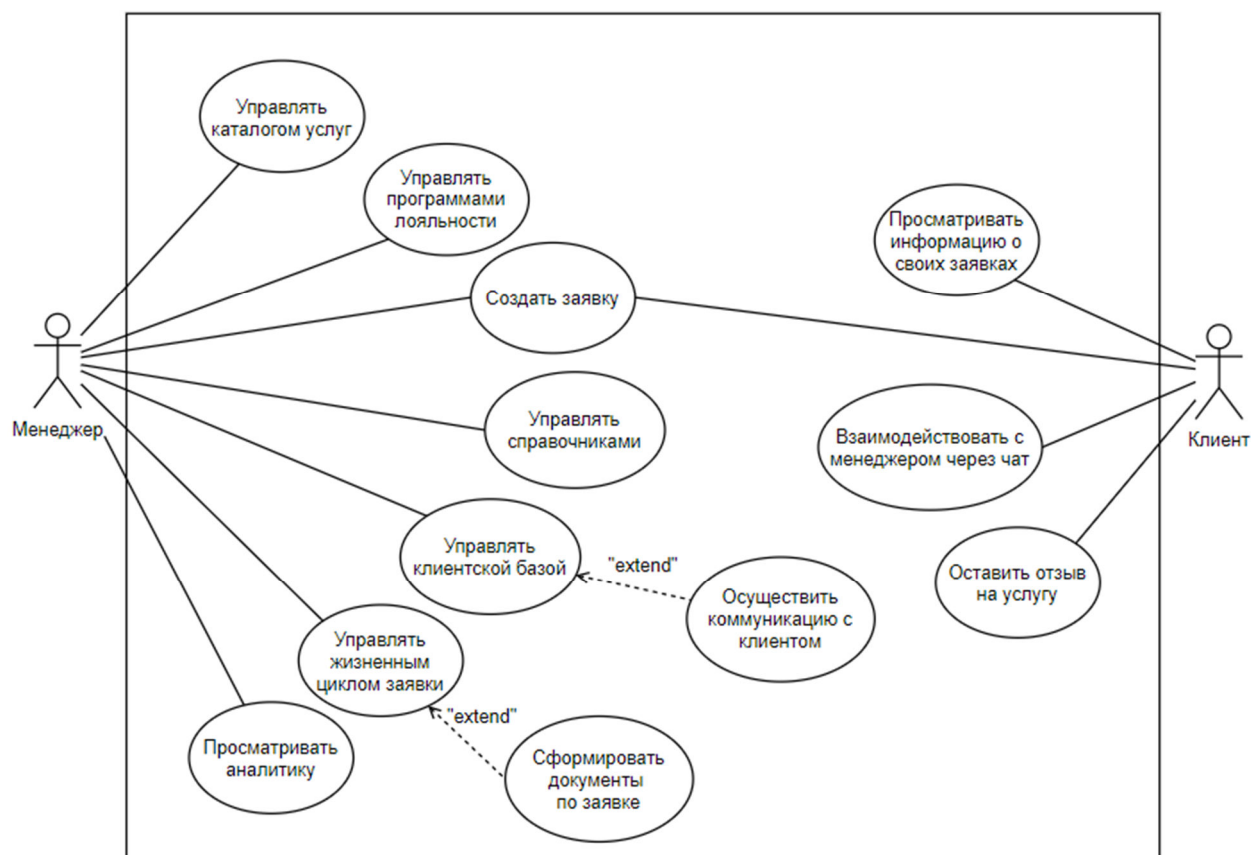


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

На диаграмме выделено две роли: Менеджер и Клиент.

Менеджер имеет возможность управлять каталогом услуг, заявками, справочниками (типы и модели устройств, категории услуг), клиентской базой и программами лояльности, а также просматривать аналитику.

Клиент может создать заявку, просматривать информацию о своих заявках, оставлять отзывы на услуги, а также взаимодействовать с менеджером через чат.

Назначение и границы программного средства были описаны с помощью контекстной диаграммы, представленной на рисунке 2.

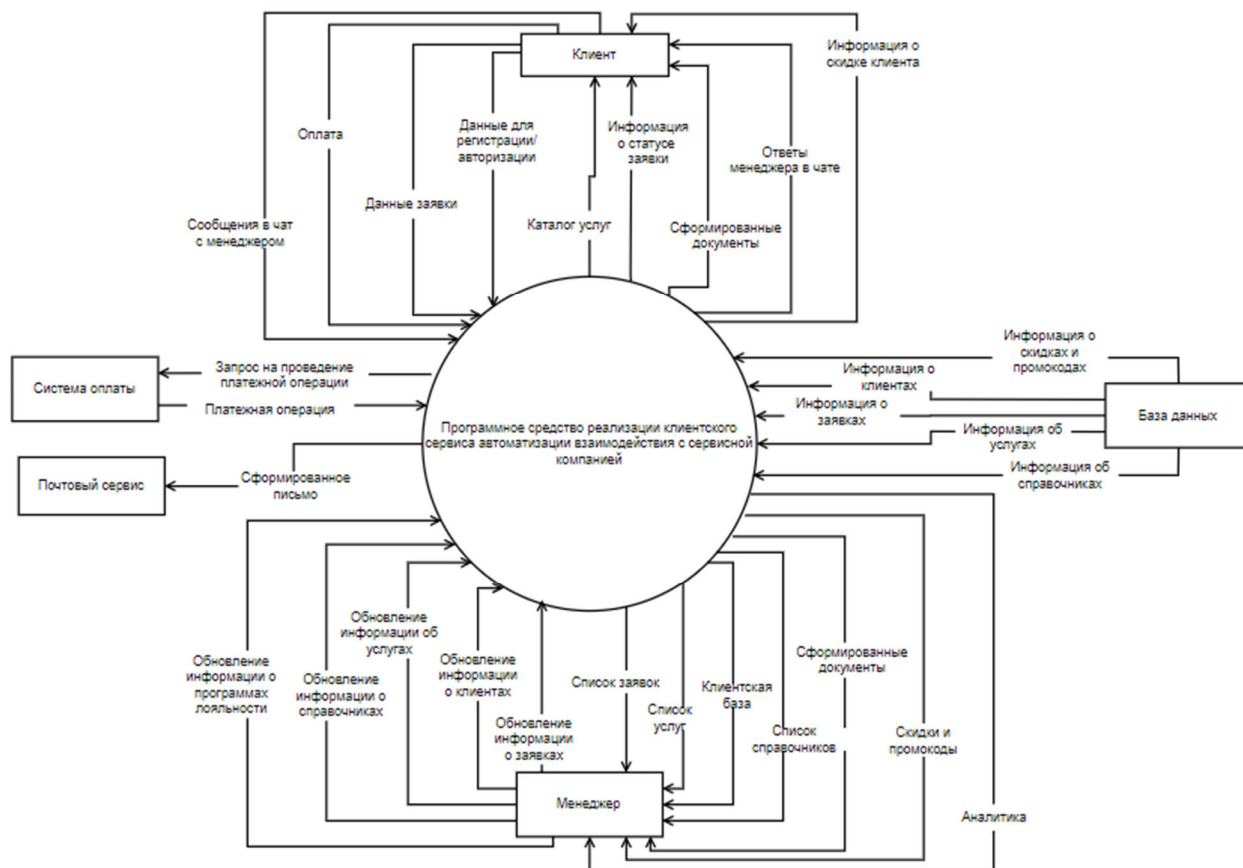


Рисунок 2 – Контекстная диаграмма

Представленное программное средство охватывает все этапы взаимодействия клиента с сервисной компанией, от первого обращения до постгарантийного обслуживания, обеспечивая автоматизацию рутинных операций и предоставляя инструменты для стратегического планирования.

Заключение. Разработанное программное средство предоставляет сервисным компаниям эффективный инструмент для автоматизации взаимодействия с клиентами и управления процессами ремонта электроники. Система обеспечивает централизованное хранение данных, управление жизненным циклом заявок и прозрачность коммуникации, что позволяет оптимизировать операционную деятельность компании.

Внедрение описанного программного средства способствует достижению следующих целей:

- повышение качества обслуживания и уровня лояльности клиентов за счет оперативного информирования о статусах ремонта и использования программ лояльности;
- минимизация рутинных операций и ошибок персонала благодаря автоматизации документооборота и расчетов;
- обеспечение руководства компании аналитической информацией для прогнозирования спроса и принятия обоснованных управленческих решений.

Резюмируя вышесказанное, можно утверждать, что разработанное программное средство является эффективным инструментом цифровой трансформации сервисного центра. Оно не только оптимизирует повседневную работу менеджеров, но и существенно повышает конкурентоспособность бизнеса на насыщенном рынке ремонтных услуг, закладывая фундамент для долгосрочного роста и улучшения деловой репутации компании.

В качестве направления для дальнейшего развития системы рассматривается интеграция с платежными шлюзами для онлайн-оплаты услуг и внедрение модулей автоматического уведомления клиентов через популярные мессенджеры.

Список литературы

1. Клиентский сервис: основные правила и способы развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://okdesk.ru/blog/razvitiie-klientskogo-servisa/>. – Дата доступа: 01.03.2026.

UDC 004.42

**SOFTWARE TOOL FOR IMPLEMENTING CUSTOMER SERVICE
OF AUTOMATING INTERACTION WITH A SERVICE COMPANY**

Vasilevich P.M.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Verkhov K.A. – assistant of the department of ICSD

Annotation. The article discusses the development of a software tool for automating client interaction with an electronics repair service company. The software tool enables the management of the repair request lifecycle, client base, communication, and service catalog to improve the quality of service in the service company.

Keywords: software tool, customer service, interaction automation, service company.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В УПРАВЛЕНИИ КОМПЬЮТЕРОМ

Яцковец М.А., Завалей В.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Скиба И.Г. – магистр, ассистент кафедры ЭВМ

Аннотация: В данной статье анализируются перспективы использования компьютерного зрения для управления ПК. Рассматриваются ключевые методы взаимодействия (жестовое управление, трекинг головы и глаз), реализуемые на базе стандартных веб-камер. Выявляются основные технические и эргономические барьеры внедрения.

Ключевые слова: нейросети, компьютерное зрение, человеко-машинное взаимодействие

Введение. Массовое распространение технологий компьютерного зрения в мобильных приложениях наглядно демонстрирует её зрелость. Даже на устройствах с ограниченными ресурсами успешно реализован надежный трекинг головы и жестов в реальном времени, что доказывает преодоление основных технических барьеров для внедрения подобных решений. Однако наблюдается существенный разрыв между использованием технологий в развлекательных целях и их внедрением в более профессиональную среду персональных компьютеров. В данной работе исследуются перспективы внедрения компьютерного зрения в управление персональным компьютером.

Основная часть. Современное компьютерное зрение предлагает три ключевых способа взаимодействия и регистрации действий. Каждый из них базируется на отслеживании специфических точек тела человека и интерпретации их движений.

Наиболее естественным способом ввода является перенос моторики рук в цифровое пространство. Современные алгоритмы (например, архитектуры, используемые в решениях MediaPipe или OpenPose) позволяют строить 3D-модель кисти по RGB-изображению, отслеживая ключевые точки, такие как суставы пальцев. Примером способа ввода может быть позиция указательного пальца, интерпретируемая как курсор, а «щипок» как триггер клика. В качестве технологической базы используются легковесные сверточные нейросети, обученные на синтетических данных, специально подобранных для повышения устойчивости к перекрытиям, когда пальцы закрыты преградой. В массовом ПО распознавание рук ограничивается определением простейших жестов (например, «палец вверх») для активации эмодзи-реакций в платформах видеосвязи.

Навигация на основе положения головы позволяет использовать голову пользователя как указатель, так и аналог джойстика. Алгоритмы решают задачу Perspective-n-Point, определяя ориентацию головы в пространстве на основе 2D-проекции лица. Как дополнительные средства управления, вертикальные наклоны головы можно использовать для скроллинга текста, горизонтальные – для переключения вкладок или окон. Для команд нажатия клавиш можно использовать жесты лица: поднятие бровей, моргание или открытие рта. Это реализуется через анализ геометрии лицевой сетки, содержащей множество опорных точек лица, или через векторную оценку положения головы в пространстве [1]. Для обычного потребителя использование наклонов и поворотов головы сосредоточено преимущественно в развлекательном сегменте приложений для управления масками или игровыми механиками, практически не применяясь в более серьезных задачах.

Отслеживание положения глаз позволяет определять точку фиксации взгляда на экране. В данном случае взгляд может использоваться для быстрого перемещения курсора. Метод основывается на том, что нейросети сегментируют область радужной оболочки и зрачка, а затем сопоставляют их положение с вектором головы для вычисления финальной координаты

на плоскости монитора [2]. Технологии отслеживания взгляда на данный момент применяются в основном для отслеживания внимания пользователя.

Изначально для точного трекинга тела требовались дорогостоящие системы с нателными датчиками и маркерами, доступные лишь специализированным компаниям. В то же время для отслеживания взгляда требуются высокоточные и дорогостоящие инфракрасные датчики. Большим скачком вперед стало появление сенсоров глубины (например, Microsoft Kinect), которые позволили отказаться от надеваемой электроники, но все еще требовали покупки отдельного устройства. Сегодня, благодаря прогрессу в нейросетях, мы переходим к использованию обычных камер, встроенных в каждый современный ноутбук. Современные алгоритмы способны вычислять глубину и геометрию движений, позволяя реализовать качественное управление на любой веб-камере.

Несмотря на доступность алгоритмов, массовое внедрение систем компьютерного зрения в качестве основного инструмента ввода ограничивается рядом эргономических и технических факторов. В отличие от нажатия физической кнопки, взгляд или положение головы всегда активны. Системе часто бывает сложно отделить случайное действие от осознанной команды. Это требует разработки сложных алгоритмов фильтрации и контекстного понимания, чтобы избежать непреднамеренных взаимодействий. Длительное использование средств управления, связанных с активным движением, быстро вызывает мышечную усталость. Поэтому решения, основанные на жестах и движениях головой, непригодны для продолжительной работы. Они больше подходят для коротких сессий или специфических задач. Обычные веб-камеры чувствительны к освещению, поэтому неправильно поставленный свет и низкая освещенность снижают точность определения ключевых точек, что ведет к недопустимым проблемам с управлением.

Заключение. Методы компьютерного зрения имеют огромный потенциал в задачах облегчения и расширения взаимодействия человека и компьютера. Стремительное совершенствование нейросетевых архитектур и аппаратного обеспечения, вероятно, позволит в ближайшей перспективе минимизировать технические сложности, обеспечив стабильную работу алгоритмов в различных условиях эксплуатации. Это создаст возможности для массовой интеграции бесконтактного управления в программное обеспечение широкого профиля в качестве эффективного дополнения к традиционным средствам ввода.

Социально-экономическая значимость в данном контексте также крайне велика. Использование стандартных веб-камер для отслеживания взгляда и движений обеспечит полноценный доступ к компьютерам для разнообразного спектра пользователей.

Список литературы

1. Fine-Grained Head Pose Estimation Without Keypoints / N. Ruiz, E. Chong and J. M. Rehg // *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2018
2. MPIIGaze: Real-World Dataset and Deep Appearance-Based Gaze Estimation / X. Zhang, Y. Sugano, M. Fritz, A. Bulling [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1711.09017> – Дата доступа: 13.02.2026

UDC 004.5

PROSPECTS FOR USING COMPUTER VISION IN COMPUTER CONTROL

Yatskovets M.A., Zavalei V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Skiba I.G. – Assistant of the department of ECS

Annotation: This article analyzes the potential for using computer vision for PC control. Key interaction methods (gesture control, head and eye tracking) implemented using standard webcams are discussed. The main technical and ergonomic barriers to implementation are identified.

Keywords: neural networks, computer vision, human-machine interaction

ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ И КОРРЕКЦИИ ПОСТИНСУЛЬТНОГО БОЛЕВОГО СИНДРОМА

Шумская Я.П., Кушнер А.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Косарева Е.М. – магистр, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. Экспериментально исследовано функционирование программного средства диагностики и коррекции постинсультного болевого синдрома, предназначенного для автоматизации процессов ведения пациентов, проведения медицинских тестов (VAS, DN4, CSI, HADS), а также формирования диагностических заключений и рекомендаций по лечению. Было выполнено более 60 тест-кейсов, охватывающих ключевые пользовательские сценарии, включая регистрацию и аутентификацию пользователей, управление пациентами, прохождение медицинских тестов и разграничение прав доступа. Успешно пройденных тест-кейсов – 75%. Установлено, что наибольшее влияние на корректность функционирования системы оказывают дефекты, приводящие к созданию некорректных данных и нарушению последовательности выполнения обязательных сценариев тестирования. Предложены рекомендации по улучшению программного средства, включающие усиление серверной валидации, доработку бизнес-логики, унификацию пользовательского интерфейса и т.д.

Ключевые слова: медицина, постинсультный болевой синдром, ручное тестирование, тест-кейсы, бизнес-логика, REST-архитектура, автоматизация медицины

Введение. Сфера медицины все стремительнее развивается с каждым годом. Она опирается не только на привычные исследования и методы работы с пациентами, но и на различные программные решения. Последние помогают работникам медицинской сферы принимать решения, уточнять диагнозы и многое другое. Именно поэтому к подобным программным средствам предъявляются серьезные требования к качеству и безопасности. В таком тестировании важно учитывать даже маленькие дефекты, поскольку они могут привести к серьезным последствиям.

В данной работе рассматривается процесс ручного тестирования веб-приложения, направленного на автоматизацию процесса прохождения тестов на диагностику пациентов с болью после инсульта и предложения врачу рекомендованного лечения, а также автоматизацию формирования заключений. Основным методом тестирования – ручное функциональное тестирование по формализованным тест-кейсам. Ручное тестирование позволяет выявить не только критические ошибки бизнес-логики, но и недостатки пользовательского интерфейса.

Основная часть. Тестируемое программное средство представляет собой веб-приложение для врачей и пациентов, предназначенное для автоматизации процесса диагностики и отслеживании истории лечения и пройденных медицинских тестов. Система построена по клиент-серверной архитектуре с использованием REST-взаимодействия. Язык программирования – Python. Для врачей приложение предлагает автоматизацию ведения базы пациентов с их схемой лечения, список доступных лекарств, а также четыре вида медицинских тестов для помощи в постановке диагноза. Приложение также позволяет отслеживать историю диагнозов и проведенных тестов, корректировать методы лечения. Для пациентов доступен функционал отслеживания истории медицинских тестов, просмотр и отслеживание диагноза и схемы лечения, включая назначенные препараты.

Функциональное тестирование проводилось вручную по заранее подготовленным тест-кейсам, включая как позитивные, так и негативные сценарии. Для каждого теста были зафиксированы предусловия, последовательность шагов, ожидаемый и фактический результаты выполнения.

Ручное тестирование является процессом, в ходе которого QA-специалисты проверяют функциональность программного обеспечения, имитируя действия пользователя [1]. Это делается с целью выявления дефектов и ошибок, которые могут повлиять на его работу.

В процессе тестирования было разработано и выполнено 60 тест-кейсов. Они охватывают процессы регистрации, авторизации, управления пациентами и их карточками, медицинские тесты и разграничение прав доступа. Фрагмент разработанных текст-кейсов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Фрагмент разработанных тест-кейсов

ID	Название теста	Предусловие	Шаги	Ожидаемый результат
РЕГИСТРАЦИЯ (ШАГ 1 – ЛИЧНЫЕ ДАННЫЕ)				
TC-REG-001	Успешная регистрация врача – корректные данные на Шаг 1	Открыта страница /accounts/register/. Пользователь не авторизован.	1. Ввести корректное Имя 2. Ввести корректное Отчество 3. Ввести корректную Фамилию 4. Ввести валидный Email 5. Ввести пароль ≥ 1 спец. символ, ≥ 1 цифра, ≥ 1 заглавная 6. Нажать «Продолжить»	Редирект 302 на /accounts/register + 200 с эндпоинтом /accounts/register/professional/.
TC-REG-002	Поле «Имя»: цифры запрещены	Страница регистрации Шаг 1 открыта.	1. Ввести «Иван1» в поле Имя 2. Нажать «Продолжить»	Красная рамка поля, текст «Цифры и спец. символы запрещены». Переход заблокирован.
TC-REG-003	Поле «Имя»: спецсимволы запрещены	Страница регистрации Шаг 1 открыта.	1. Ввести «Иван@» в поле Имя 2. Нажать «Продолжить»	Красная рамка + «Цифры и спец. символы запрещены». Переход заблокирован.
TC-REG-004	Поле «Имя»: пустое значение	Страница регистрации Шаг 1 открыта.	1. Оставить поле Имя пустым 2. Нажать «Продолжить»	Красная рамка + «Вы не ввели имя». Переход заблокирован.
TC-REG-005	Поле «Email»: пустое значение	Все поля кроме Email заполнены корректно.	1. Оставить поле Email пустым 2. Нажать «Продолжить»	Красная рамка + «Вы не ввели свой email». Переход заблокирован.

По результатам верификации 45 тест-кейсов завершились успешно, а 15 кейсов отмечены как проваленные из-за несоответствия фактического результата и ожидаемого. Таким образом, доля успешных сценариев составила 75%, доля сценариев с дефектами – 25%, соответственно.

Основные дефекты связаны с нарушением механизмов валидации входных данных, некорректной реализацией бизнес-логики, нарушением принципа единообразия интерфейса и обратной связи пользователю, отсутствием некоторых UI-элементов. Так, допускается создание сущности при отсутствии обязательных полей (локализация боли, дата рождения), отсутствует валидация года рождения, различные форматы сообщений об ошибках в разных формах, отсутствие в некоторых местах подсказок при ошибке и другие. Но самыми критичными являются ошибки бизнес-логики: возможность выполнения действий без выполнения всех обязательных этапов (например, частичное прохождение теста), некорректная логика переходов между этапами регистрации и возможность выполнения операций при некорректных данных.

Фрагмент баг-репорта представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Фрагмент баг-репорта

Признак	Описание
Баг – Отсутствие валидации обязательных полей	
ID	BUG-001
Связанный тест-кейс	TC-PAT-001
Severity	Critical
Priority	High
Описание	Система позволяет создать пациента без обязательных полей
Шаги	1 Добавить пациента 2 Не заполнить поля (локализация боли, дата рождения) 3 Сохранить
Ожидаемый результат	Ошибки валидации, создание запрещено
Фактический результат	Пациент создается
Влияние	Некорректные и неполные медицинские данные
Баг – Нарушение бизнес-логики тестирования	
ID	BUG-003
Связанный тест-кейс	TC-VAS-, TC-DN4-, TC-CSI-, TC-HADS-
Severity	Critical
Priority	High
Признак	Описание
Описание	Можно завершить тестирование пациента без прохождения всех его этапов
Шаги	1. Начать тестирование 2. Пропустить/не заполнить любой из тестов (VAS, DN4, CSI, HADS) 3. Завершить тестирование и перейти к результатам
Ожидаемый результат	Все тесты обязательны к прохождению
Фактический результат	Можно завершить без прохождения любого из тестов
Влияние	Некорректная аналитика, неполная информация о состоянии пациента, негативное влияние на постановку диагноза

Заключение. Таким образом, было проведено ручное функциональное тестирование медицинского веб-приложения, предназначенного для автоматизации работы врача с пациентами и проведения медицинских диагностических тестов.

Результаты тестирования показали, что система содержит ряд как существенных, так и не существенных дефектов. К числу наиболее критичных проблем относятся отсутствие строгой валидации входных данных, возможность создания некорректных записей, нарушение последовательности выполнения обязательных сценариев (в частности, прохождения тестов), нехватка функциональности (возможности сбросить фильтры, восстановить пароль), некорректные переходы по гиперссылкам. Кроме этого, были выявлены дефекты, непосредственно связанные с пользовательским интерфейсом: недостаточная информативность системных сообщений, отсутствие единообразного отображения ошибок, некорректная работа отдельных элементов интерфейса.

Проведенное исследование показало, что программное средство требует доработки. В первую очередь, рекомендуется реализовать строгую серверную валидацию данных и доработать механизмы прохождения тестов. Необходимо, чтобы был пройден каждый тест перед расчетом итоговой оценки состояния пациента. Затем необходимо обеспечить корректную обработку ошибок, включая отображение понятных информационных сообщений, унифицировать пользовательский интерфейс, добавить функциональность, которая значительно влияет на удобство использования программного средства (такие функции, как «Восстановление пароля», «Сброс фильтров» и др.), и реализовать корректную навигацию и перенаправления между функциональными модулями приложения.

Проведенная работа подтверждает эффективность использования ручного тестирования на основе тест-кейсов для выявления критических дефектов и оценки качества программных средств на ранних этапах их развития.

Список литературы

1. Ручное тестирование программного обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://apptask.ru/blog/rucnoe-testirovanie-programmnogo-obespecheniia> – Дата доступа: 27.03.2026.

UDC 004.415.53:616.1

**TESTING OF A SOFTWARE SYSTEM FOR THE DIAGNOSIS
AND CORRECTION OF POST-STROKE PAIN SYNDROME**

Shumskaya Y.P., Kushner A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kosareva E.M. –master of tech. sciences, assistant of the department of ICSD

Annotation. The functioning of a software tool for the diagnosis and correction of post-stroke pain syndrome has been experimentally investigated. The system is designed to automate patient management processes, perform medical tests (VAS, DN4, CSI, HADS), and generate diagnostic conclusions and treatment recommendations. More than 60 test cases covering key user scenarios were executed, including user registration and authentication, patient management, medical testing, and access control. The percentage of successfully passed test cases was 75%. It was established that the most significant impact on system reliability is caused by defects leading to the creation of incorrect data and violations in the sequence of mandatory testing scenarios. Recommendations for improving the software tool are proposed, including strengthening server-side validation, refining business logic, unifying the user interface, and ensuring correct navigation and redirection between functional components of the system

Keywords: medicine, post-stroke pain syndrome, manual testing, test cases, business logic, REST architecture, medical automation

ПОВЫШЕНИЕ ВОВЛЕЧЁННОСТИ И УДЕРЖАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

Мосендз А.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Хацкевич Г.А. – д.э.н., профессор, профессор кафедры ЭИ

Аннотация. В условиях растущей потребности повышать мотивацию и удержание пользователей в цифровом обучении рассматриваются комбинированные подходы. В статье анализируются теоретические основы геймификации и персонализации обучения, выявляются их сильные стороны и ограничения при отдельном применении. Предлагается концептуальная модель интеграции игровых механик с адаптивным обучением, в которой динамические игровые стимулы соотносятся с индивидуальным прогрессом пользователя. Описаны архитектура и ключевые компоненты модели, включая механизмы персонализации, контекстного дизайна игровых стимулов и интеграционные механизмы. Отмечается, что синергия геймификации и персонализации должна усиливать вовлечённость и удержание, компенсируя недостатки каждого подхода. Рассмотрены ожидаемые эффекты, практические рекомендации и ограничения предложенной модели.

Ключевые слова: геймификация, персонализация обучения, адаптивное обучение, удержание пользователей, вовлечённость, цифровые образовательные приложения, адаптивная геймификация, игровые механики, мотивация, интеграционная модель

Введение. Низкая вовлечённость пользователей в цифровые образовательные системы является серьёзной проблемой: глобальный уровень вовлечённости составляет лишь 21 % [1]. По оценке агентства Smart Ranking, общий объём российского рынка LMS в 2024 году превысил 7,2 млрд рублей [2]. В этих условиях качество проектирования программ обучения становится ключевым фактором повышения вовлечённости и удержания пользователей.

В литературе геймификация и персонализация считаются перспективными подходами. Однако каждый из этих инструментов по отдельности имеет ограничения: универсальные игровые решения часто не учитывают разные типы пользователей, а стандартные программы обучения могут не отражать уникальные потребности каждого пользователя [5]. В связи с этим в статье предлагается интегративная концепция: адаптивная геймификация – модель, объединяющая динамическую геймификацию с адаптивным обучением.

В рамках предлагаемой модели игровые стимулы генерируются и подстраиваются на основе поведения и прогресса конкретного пользователя. Такая интеграция должна повысить мотивацию и удержание пользователей, компенсируя недостатки каждого подхода [11]. В статье представлены описание архитектуры предложенной модели и её ключевых компонентов, практические рекомендации и прогнозы эффективности.

Основная часть. Геймификация – применение игровых приёмов и элементов в нерыночных контекстах – направлена на повышение вовлечённости пользователей [4]. При правильно спроектированной геймификации участники обретают ощущение мастерства, компетентности и увлечённости процессом (flow) [5]. Исследования подтверждают, что геймификация значительно повышает удержание знаний и учебные результаты пользователей [11].

С точки зрения теорий мотивации, геймификация подкрепляет фундаментальные психологические потребности человека. SDT (Теория самоопределения Деси и Райана) выделяет три базовые потребности: автономию, компетентность и сопричастность [6]. Грамотно выстроенная геймификация позволяет удовлетворять эти потребности: система очков и уровней укрепляет ощущение компетентности, задания с выбором ветки обучения – автономию, а совместные квесты – социальную сопричастность. Модель типов игровых Бартла

показывает, что разным обучающимся требуются разные стимулы [7], поэтому игровая система должна учитывать эти различия, иначе унифицированная геймификация рискует потерять эффективность [8].

Однако исследования отмечают ограничения геймификации: эффект часто краткосрочен, если игровые элементы не адаптированы к контексту и личности пользователя, а перенасыщение внешними мотиваторами может отвлекать от учебных целей [4][12]. Следовательно, необходима адаптивная геймификация, когда игра подстраивается под индивидуальные характеристики обучающегося [8]. Эта идея лежит в основе предлагаемой концепции.

Персонализация обучения – это адаптация учебного процесса под уникальные характеристики каждого пользователя. Адаптивные технологии обучения способны в реальном времени изменять содержание, уровень и темп материала в зависимости от текущих потребностей ученика, что повышает эффективность усвоения.

Обзор 69 исследований показывает, что персонализированное адаптивное обучение приводило к улучшению академической успеваемости в 59 % случаев, а в 36 % – к повышению вовлечённости обучающихся [9]. Внедрение рекомендательных механизмов повышает завершение курсов и активность пользователей: после внедрения такой системы 91 % сотрудников прошли тренинги [10].

Тем не менее, персонализация имеет ограничения: требует значительных ресурсов на сбор и обработку данных, возможны риски неправильных рекомендаций, а интеграция с геймификацией усложняет архитектуру приложения [9]. Эти ограничения важно учитывать при проектировании.

Современные исследования отмечают тренд синергетического объединения геймификации и персонализации – когда игровые механики адаптируются к индивидуальному прогрессу и потребностям обучающегося. Такая адаптивная геймификация обеспечивает более сильный эффект, чем раздельное применение методов. Во-первых, играя на сильных мотивационных сторонах пользователя, система стимулирует его вовлечённость и желание действовать (например, зарабатывать очки и прохождение уровней). Во-вторых, в момент ослабления интереса персонализация подстраивает сложность и формат материала, не допуская фрустрации. Комбинация этих подходов даёт эффект «непрерывного прогресса»: по мере обучения пользователь видит, что достижение игровых целей и образовательных результатов идут «рука об руку», что поддерживает его мотивацию[11].

На практике это означает, что система геймификации принимает решения на основе данных персонализации. Например, на начальных этапах обучения новичкам могут выдавать повышенные «приветственные» очки для быстрого достижения первого уровня (стимул продолжать), а продвинутые пользователи получают более сложные вызовы. Матрица игровых контекстов строится с учётом профиля пользователя: для «социализаторов» особенно важны групповые квесты и командные соревнования, для «исследователей» – побочные миссии и скрытые достижения. Таким образом, предлагаемый подход учитывает психологию разных обучающихся и образовательные цели одновременно.

По предварительным оценкам, интеграция геймификации и персонализации должна привести к значительному росту ключевых показателей: повышению вовлечённости, запоминания материала и удовлетворённости обучением. Например, в описанном эксперименте из ЛК (2024) геймификация уже усилила сохранение знаний и результативность обучения[1]. С учётом добавления персонализации можно ожидать дальнейшего усиления таких эффектов, поскольку игра станет осмысленной частью индивидуального учебного плана каждого пользователя.

Предлагаемая архитектура интегрированной модели включает три ключевых компонента: модуль персонализации, модуль геймификации и интеграционный слой. Ниже приведена их функция в системе.

Модуль персонализации (User Profiling): собирает данные о поведении и прогрессе каждого пользователя – результаты тестов, время на задачах, ответы и т.д. На основе этой

информации строится динамический пользовательский профиль. Алгоритмы машинного обучения анализируют пробелы в знаниях и цели обучения и формируют индивидуальную программу. Система адаптивно выбирает темы и задания нужной сложности, предлагает дополнительные пояснения в слабых областях, а также рекомендует курсы по интересам пользователя. Эти механизмы реализуют контекстную адаптацию содержания и гибкие учебные траектории [9].

Модуль геймификации (Game Design Engine): отвечает за построение игровых стимулов и их динамическое изменение. На этом уровне определяется состав игровых элементов (очки опыта, значки, уровни, лидерборды, сюжеты) и правил их начисления. При этом алгоритм учитывает профиль пользователя: какие игровые мотиваторы для него наиболее важны. Модуль генерирует задания и сюжеты (квесты) в соответствии с учебными этапами, создавая видимый прогресс (например, герой проходит уровни, когда пользователь осваивает темы). При реализации используются кластеры игровых элементов: направление деятельности (достижения, очки за выполнение задач), социальные элементы (общие задачи, рейтинги, совместные действия), персональные мотивации (личные цели, аватары, разблокируемый контент) [8].

Интеграционный слой (Integration Layer): обеспечивает связку между LMS (обучающей платформой) и игровыми модулями. Он синхронизирует события обучения и геймификации: например, при успешном завершении урока система передачи данных уведомляет игровую логику о новых очках или достижениях. Этот слой контролирует общий прогресс, следит за выполнением геймифицированных условий и при необходимости корректирует пользовательский профиль. Важная задача – обеспечить консистентность метрик (например, количество изученных уроков соответствует уровню в игре). Интеграционный интерфейс также управляет безопасностью и конфиденциальностью данных пользователей, которые используются для персонализации.

Таблица 4.1 – компоненты системы и их функции

Компонент системы	Функции
Модуль персонализации	Анализ результатов тестов, построение профиля, подбор контента по индивидуальным потребностям, формирование адаптивных траекторий обучения.
Модуль геймификации	Создание и управление игровыми элементами (очки, уровни, значки), генерация квестов и челленджей в соответствии с прогрессом, мотивирование через сюжеты и соревнования.
Интеграционный слой	Обмен данными между LMS и игровой платформой, синхронизация прогресса обучения и игровых достижений, объединение метрик, обеспечение безопасности.

Архитектура позволяет в реальном времени соединять обучение и игру. По мере прохождения дистанционного курса происходит событийный лог (например, тест сдан, пройден модуль), которое поступает на интеграционный слой. Тот обновляет персональный профиль и передаёт информацию в модуль геймификации: формируется соответствующее игровое событие (например, повышение уровня). Одновременно модуль персонализации решает, какие следующие учебные задания предложить пользователю. В результате обучение становится «игрой» с адаптивной подстройкой.

Ожидается, что интеграция геймификации и персонализации приведёт к значительному росту мотивации и удержанию пользователей в обучающих приложениях. По аналогии с исследованиями в образовании, можно прогнозировать улучшение усвоения знаний, повышение успешности прохождения курсов и большей концентрации внимания [11][9]. Внутренние эксперименты показывают: геймифицированные курсы усиливают вовлечённость и положительно влияют на отношение к обучению [11][12]. А адаптивные механизмы дополнительно увеличивают образовательную эффективность, поскольку поддерживают внимание и помогают ученикам продвигаться в своём темпе [9][10]. Вместе эти эффекты

должны обеспечить более высокий процент завершённых программ и лучшую интеграцию знаний в практическую деятельность.

При этом необходимо учитывать ограничения. Вопервых, технически интегрированная система сложна и может требовать значительных ресурсов на разработку и внедрение [9]. Затраты связаны с созданием качественного контента, аналитической инфраструктуры и поддержкой алгоритмов ИИ. Вовторых, эффективность решения напрямую зависит от качества исходных данных: неполные или неточные пользовательские профили могут приводить к ошибочным персональным рекомендациям. Также возможна «усталость» от игрового контента, если механика будет слишком навязчивой или несоответствующей цели обучения [4]. Наконец, существует риск увеличения разрыва между технически подкованными и менее опытными пользователями, если система не адаптируется под разные группы пользователей. Успешность внедрения во многом зависит от грамотного проектирования и оценки результатов.

Для эффективной реализации интегрированной модели рекомендуется:

1 Чёткое выравнивание с бизнесцелями. Перед внедрением нужно определить ключевые показатели (KPI) обучения: повышение производительности, снижение ошибок, удержание персонала и т.п. Игровые механики и адаптация контента должны служить этим целям. Например, если задача – улучшить освоение новых продуктов, геймификация может поощрять изучение соответствующих модулей достижениями и бонусами.

2 Сегментация аудитории и поэтапное тестирование. Целесообразно начать с пилотных групп разных профилей (новичков и опытных, разных возрастных групп и уровней подготовки) и отрегулировать систему под их потребности. Разные группы могут предъявлять разные требования к интерфейсу и темпам обучения. Постепенное расширение системы позволит выявить «узкие места» и скорректировать механику без больших потерь.

3 Гибкая настройка игровых элементов. Не стоит добавлять много элементов сразу – это может перегрузить пользователя. Лучше динамически «включать» новые стимулы (например, новые уровни или командные миссии) по мере роста навыков пользователей. Управление такими настройками должно быть централизованным и доступным администраторам платформы.

4 Использование аналитики и обратной связи. Важно регулярно анализировать метрики вовлечённости и успеваемости: например, сравнивать группу с геймификацией и контрольную без неё. Обратная связь от пользователей также поможет улучшать модель. При снижении активности нужно оперативно вмешиваться – скорректировать сложность задач, сменить формат подачи.

5 Обеспечение безопасности и прозрачности. Поскольку система опирается на персональные данные, необходимо соблюдать законы о защите информации. Пользователи должны знать, какие данные собираются и как они влияют на обучение. Прозрачность увеличивает доверие к системе и принятию персонализации.

Заключение. В статье рассмотрен подход к повышению удержания пользователей в дистанционных обучающих приложениях через интеграцию геймификации и персонализации. Проанализированы теоретические основы обоих методов (игровые мотиваторы, психологические потребности, адаптивное обучение) и показано, что их комбинация – адаптивная геймификация – потенциально преодолевает ограничения каждого подхода в отдельности [11]. Предложена концептуальная архитектура системы, включающая модули персонализации и геймификации, интегрированные на уровне данных и бизнеслогики. Ожидается, что применение такой модели в цифровой образовательной среде повысит мотивацию сотрудников, улучшит результаты обучения и снизит текучесть кадров. При этом требуются тщательная настройка и учёт особенностей целевой аудитории.

Список литературы

1. Gallup. State of the Global Workplace 2025 [Электронный ресурс]. – 2025. – Режим доступа: <https://www.gallup.com/workplace/349484/stateoftheglobalworkplace.aspx>. – Дата доступа: 19.02.2026.
2. Лебедев, П. Стали известны лидеры российского рынка LMS для корпоративного обучения [Электронный ресурс] / П. Лебедев // Skillbox Media. – 2025. – Режим доступа: <https://skillbox.ru/media/corptrain/staliizvestnylideryrossiyskogorynkalsmdlyakorporativnogoobucheniya/>. – Дата доступа: 19.02.2026.
3. Чугинцева, А. А. Актуальные проблемы дистанционного обучения / А. А. Чугинцева // Скиф. – 2018. – № 3 (19). – С. 10–13.
4. Gamification (GF) – What is Gamification? [Электронный ресурс] // Interaction Design Foundation. – Режим доступа: <https://www.interactiondesign.org/literature/topics/gamification>. – Дата доступа: 19.02.2026.
5. Hamari, J. Does gamification work? A literature review of empirical studies on gamification / J. Hamari, J. Koivisto, H. Sarsa // Proc. 47th Hawaii International Conference on System Sciences. – 2014. – P. 3025–3034.
6. Ryan, R. M. Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and WellBeing / R. M. Ryan, E. L. Deci // American Psychologist. – 2000. – Vol. 55, No 1. – P. 68–78. – Режим доступа: https://selfdeterminationtheory.org/SDT/documents/2000_RyanDeci_SDT.pdf. – Дата доступа: 19.02.2026.
7. Bartle taxonomy of player types [Электронный ресурс] // Wikipedia. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Bartle_taxonomy_of_player_types. – Дата доступа: 19.02.2026.
8. Hong, Y. Approaches and game elements used to tailor digital gamification for learning: a systematic literature review [Электронный ресурс] / Y. Hong, N. Saab, W. Admiraal // Computers & Education. – 2024. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131524000149>. – Дата доступа: 19.02.2026.
9. du Plooy, E. Personalized adaptive learning in higher education: a scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement [Электронный ресурс] / E. du Plooy, D. Casteleijn, D. Franzsen // Heliyon. – 2024. – Vol. 10, No 21. – e39630. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024156617>. – Дата доступа: 19.02.2026.
10. Исследования показали, как корпоративное обучение влияет на вовлечённость персонала и бизнеспоказатели [Электронный ресурс] // Комсомольская правда – Челябинск. – 2023. – 20 апр. – Режим доступа: <https://www.chel.kp.ru/daily/27498/4758224/>. – Дата доступа: 19.02.2026.
11. Capatina, A. Leveling up in corporate training: Unveiling the power of gamification to enhance knowledge retention, knowledge sharing and job performance [Электронный ресурс] / A. Capatina, D. JuarezVaron, A. Micu, A. E. Micu // Journal of Innovation & Knowledge. – 2024. – Vol. 9, No 3. – Статья 100530. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2444569X24000696>. – Дата доступа: 19.02.2026.
12. Khoshnoodifar, M. Effectiveness of Gamification in Enhancing Learning and Attitudes: A Study of Statistics Education for Health School Students [Электронный ресурс] / M. Khoshnoodifar, A. Ashouri, M. Taheri // J Adv Med Educ Prof. – 2023. – Vol. 11, No 4. – P. 230–239. – Режим доступа: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10611935/>. – Дата доступа: 19.02.2026.

UDC 004:37.018.43

ENHANCING USER ENGAGEMENT AND RETENTION IN DIGITAL EDUCATIONAL APPLICATIONS

Mosenz A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Khatskevich G.A. – Dr. of Sci.(Econ.), Professor, Professor of the Department of Economic Informatics

Annotation. In the context of the growing need to increase motivation and user retention in digital learning, combined approaches are considered. The article analyzes the theoretical foundations of gamification and learning personalization, identifies their strengths and limitations when applied separately. A conceptual model for integrating game mechanics with adaptive learning is proposed, in which dynamic game incentives are correlated with individual user progress. The architecture and key components of the model are described, including personalization mechanisms, contextual design of game incentives, and integration mechanisms. It is noted that the synergy of gamification and personalization should enhance engagement and retention, compensating for the shortcomings of each approach. Expected effects, practical recommendations, and limitations of the proposed model are discussed.

Keywords: gamification, learning personalization, adaptive learning, user retention, engagement, digital educational applications, adaptive gamification, game mechanics, motivation, integration model

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛЕЙ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ И АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ВВП РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Полонников А. Д.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Шабанович Р. А. – магистр технических наук

Аннотация. В работе проведён сравнительный анализ эффективности классических эконометрических моделей и алгоритмов машинного обучения при прогнозировании темпов роста валового внутреннего продукта Республики Беларусь. Эмпирическая база исследования включает квартальные макроэкономические показатели за период 2005–2024 гг. Оценка качества моделей осуществлялась с использованием метрик MAPE и RMSE. Установлено, что алгоритмы машинного обучения, в частности LASSO-регрессия, обеспечивают более высокую точность прогнозирования по сравнению с моделями ARIMA и VAR. Обоснована целесообразность применения гибридного подхода в макроэкономическом прогнозировании.

Ключевые слова: машинное обучение, эконометрика, ВВП, наукастинг, временные ряды, LASSO, Random Forest.

Введение. В современных условиях точность краткосрочного прогнозирования валового внутреннего продукта приобретает критическое значение, поскольку на её основе формируются решения в области государственной экономической политики. В связи с этим свою актуальность приобретают методы наукастинга, позволяющие оперативно оценивать текущую динамику макроэкономических показателей. Для решения данной задачи применяются модели временных рядов, такие как ARIMA и VAR. Однако их использование ограничено необходимостью соблюдения статистических предпосылок и недостаточной способностью учитывать нелинейные зависимости.

Основная часть. В рамках исследования была сформирована выборка квартальных макроэкономических показателей Республики Беларусь за период с 2005 по 2024 гг., включающая 80 наблюдений. В качестве переменных использовались темпы прироста реального ВВП, индекс потребительских цен, инвестиции в основной капитал, показатели экспорта и импорта, уровень заработной платы и ставка рефинансирования. Данные были разделены на обучающую и тестовую выборки в соотношении 70% и 30% соответственно.

Для анализа были использованы следующие модели: ARIMA как базовая модель временного ряда, VAR как многомерная модель, учитывающая взаимосвязь макроэкономических показателей, LASSO-регрессия как метод регуляризации с автоматическим отбором признаков, а также алгоритм Random Forest, позволяющий учитывать нелинейные зависимости. Оценка качества прогнозов осуществлялась с использованием метрик средней абсолютной процентной ошибки (MAPE) и среднеквадратичной ошибки (RMSE).

В результате проведённого анализа установлено, что классические модели обеспечивают удовлетворительное качество прогнозирования, однако уступают алгоритмам машинного обучения. Модель ARIMA демонстрирует наибольшую ошибку, что обусловлено эффектом лагового запаздывания. Модель VAR показывает более высокую точность за счёт учёта взаимосвязей между переменными, однако также уступает ML-методам.

Наилучшие результаты получены при использовании LASSO-регрессии, которая позволила минимизировать значения ошибок за счёт отбора наиболее значимых факторов. В модели были выделены ключевые переменные, включая экспорт, инвестиции, инфляцию и ставку рефинансирования, что отражает структурные особенности экономики Республики

Беларусь. Алгоритм Random Forest также показал высокую точность, однако уступил LASSO, что может быть связано с ограниченным объёмом выборки и склонностью к переобучению.

Установлено, что алгоритмы машинного обучения обладают важным преимуществом – отсутствием выраженного лагового эффекта, что обеспечивает более адекватную реакцию на изменения экономической динамики. Вместе с тем их использование осложняется более низкой интерпретируемостью и необходимостью дополнительных методов объяснения результатов.

Заключение. В ходе исследования установлено, что алгоритмы машинного обучения превосходят классические эконометрические модели по точности краткосрочного прогнозирования ВВП Республики Беларусь. Наиболее эффективной моделью является LASSO-регрессия, обеспечивающая оптимальный баланс между точностью и устойчивостью результатов. В связи с этим целесообразно применение гибридных подходов, сочетающих преимущества эконометрических методов и алгоритмов машинного обучения. Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов для совершенствования системы макроэкономического прогнозирования и повышения эффективности управленческих решений.

Список литературы

1. Алгоритмы машинного обучения для краткосрочного прогнозирования темпов прироста реального ВВП. – Москва : ЕФСР, 2024.
2. Наукастинг ВВП: от традиционных моделей к методам машинного обучения. – Москва : ЕФСР, 2025.
3. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс].
4. Macroeconomic and Labor Market Drivers of AI Adoption in Europe: A Machine Learning and Panel Data Approach // *Economies*. – 2025. – Vol. 13, No. 8. – Art. 226. – DOI: 10.3390/economies13080226.
5. Olarte-Libreros M.M., Rojas-Mora J.E., Guerrero-Sierra H.F., Niño C., De la Peña N. Effects of International Shocks on Cocoa Global Production // *Economies*. – 2025. – Vol. 13, No. 2. – Art. 48. – DOI: 10.3390/economies13020048.
6. Kim H.H., Lee N.K. State-Dependent Phillips Curve // *Economies*. – 2025. – Vol. 13, No. 1. – Art. 14. – DOI: 10.3390/economies13010014.
7. Gava E., Seabela M., Ogujiuba K. The Effect of Trade Openness on Environmental Quality in SACU Countries: The CS-ARDL Approach // *Economies*. – 2025. – Vol. 13, No. 8. – Art. 233.

UDC 330.43:004.8

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF TIME SERIES MODELS AND MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN FORECASTING THE GDP OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Polonnikov A. D.

*Academy of Public Administration under the President of the Republic of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus*

Shabanovich R.A. – Master of Sci.

Annotation. The paper presents a comparative analysis of the effectiveness of classical econometric models and machine learning algorithms in forecasting the growth rate of the gross domestic product of the Republic of Belarus. The empirical basis of the study includes quarterly macroeconomic indicators for the period 2005–2024. The forecasting performance was evaluated using standard metrics, namely Mean Absolute Percentage Error (MAPE) and Root Mean Squared Error (RMSE). The results show that machine learning algorithms, in particular LASSO regression, provide higher forecasting accuracy compared to ARIMA and VAR models. The feasibility of applying a hybrid approach to macroeconomic forecasting is substantiated.

Keywords: machine learning, econometrics, GDP, nowcasting, time series, LASSO, Random Forest.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С LLM-АГЕНТАМИ: ПАТТЕРНЫ, ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ

В. В. Иванов

Академия Управления при Президенте Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Шабанович Р. А. – магистр технических наук

Аннотация. Исследована специфика проектирования веб-интерфейсов для взаимодействия пользователей с агентами на базе больших языковых моделей (LLM). Установлено, что фундаментальными проблемами таких систем являются непредсказуемость генеративных ответов, сложность формулирования запросов и потеря контекста диалога. Предложены подходы к их решению, включающие разработку адаптивных паттернов управления диалогом, систем подсказок и визуальных средств для контекстного контроля.

Ключевые слова: веб-интерфейс, LLM-агенты, большие языковые модели, диалоговые системы, UX/UI, пользовательский опыт, управление контекстом, когнитивная нагрузка, человеко-компьютерное взаимодействие.

Введение. Развитие технологий искусственного интеллекта, в частности больших языковых моделей (Large Language Models, LLM), привело к появлению новых классов программных систем, которые ориентированы на взаимодействие с пользователем посредством естественного языка. Такие системы находят применение в образовательных, аналитических и сервисных приложениях, где счёт взаимодействия с пользователем осуществляется через диалог. При этом ключевым элементом является веб-интерфейс, через который пользователи взаимодействуют с моделью через текстовые или голосовые запросы. В отличие от классических веб-интерфейсов, где взаимодействие основано на фиксированных элементах управления, интерфейсы для LLM требуют поддержки диалоговых взаимодействий, управления контекстом и адаптации под непредсказуемые ответы модели. Эти особенности диктуют необходимость изучения специфики проектирования таких интерфейсов, выявления связанных проблем и разработки подходов, которые повышают удобство и эффективность взаимодействия пользователя с интеллектуальными агентами.

Основная часть. Веб-интерфейс представляет собой совокупность взаимосвязанных элементов, которые обеспечивают визуальное и функциональное посредничество между пользователем и системой через браузер и сетевой протокол HTTP. Понятие веб-интерфейса и его роль в организациях взаимодействия пользователей с цифровыми системами является общеизвестным в исследованиях по человеко-компьютерному взаимодействию. Проектирование интерфейсов опирается на концепции UX (User Experience) и UI (User Interface), которые направлены на обеспечение удобства использования, логичности структуры и визуальной понятности. UX-дизайн исследует способы удовлетворения потребностей пользователя и общий опыт взаимодействия с продуктом, а UI-дизайн фокусируется на визуальных и интерактивных аспектах элементов интерфейса. Эти области проектирования основываются на методах исследования пользователя, тестировании и итеративном улучшении дизайна, что позволяет адаптировать интерфейсы под реальные задачи и поведение пользователя, снижая когнитивную нагрузку и повышая общее качество взаимодействия. В широком обзоре интеллектуальных пользовательских интерфейсов отмечается, что именно сочетание качественного UX и UI является ключевым фактором успешного взаимодействия человека и цифровых систем.

Интерфейсы для взаимодействия с LLM-агентами отличаются от классических веб-интерфейсов своей ориентацией на диалог. Пользователь формулирует запросы на естественном языке, а система генерирует ответы на основе анализа контекста и модели знаний, что требует специфической поддержки диалогового взаимодействия и управления

контекстом. В научной литературе по UX в диалоговых системах подчёркиваются дополнительные проблемы, связанные с неопределённостью генеративных ответов, неспецифичностью запросов пользователя и сложностями в измерении качества пользовательского опыта. Недостаточная прозрачность алгоритмов и отсутствие адаптивных визуальных элементов может привести к затруднениям в понимании результата генерации, так как пользователи не всегда осознают, на каких данных основано предиктивное поведение модели. В работах, посвящённых проектированию интерфейсов LLM-систем, отмечается необходимость разработки решений для гибкого управления контекстом диалога, улучшения механизмов контроля со стороны пользователя и адаптивной визуализации ответов, которые учитывают динамику изменений в ходе взаимодействия.

Проектирование интерфейсов для LLM-агентов сопряжено с несколькими фундаментальными проблемами. Первая из них – непредсказуемость генеративного поведения модели, что требует обеспечения возможности пользователю уточнять запросы и повторно формулировать вопросы. В рамках UX-исследований диалоговых систем отмечается, что неопределённость ответов может привести к неудовлетворённости взаимодействием, если пользователь не получает явной обратной связи о том, как система интерпретировала запрос. Вторая проблема – управление контекстом диалога, поскольку качество ответов LLM часто зависит от того, как долго и в каком объёме сохраняется история взаимодействия. Проекты, посвящённые анализу поведения пользователей с LLM-интерфейсами, подчёркивают важность визуальных средств управления историей диалога и явных индикаторов состояния модели. Ещё одна проблема – сложность формулирования запросов пользователем, что делает интерфейс менее доступным для неопытных пользователей; этому аспекту посвящены исследования UX диалоговых систем, показывающие, что адаптация интерфейса под шаблоны типичных запросов и подсказки могут снижать нагрузку на пользователя. Подходы к решению этих проблем включают разработку адаптивных паттернов управления диалогом, визуальных средств для контекстного контроля и систем подсказок, ориентированных на облегчение формулировки запросов.

Практическое проектирование интерфейсов для LLM-агентов требует интеграции принципов UX/UI и специфических особенностей диалогового взаимодействия. Эффективный интерфейс должен обеспечивать не только визуальную и функциональную организацию элементов, но и механизмы контроля диалога, позволяющие пользователю видеть историю запросов, корректировать предшествующие формулировки и получать ясную обратную связь о логике генерации модели. Подобный подход снижает когнитивную нагрузку, поскольку пользователю становится очевидно, какая часть взаимодействия осуществляется за счёт автоматических предсказаний модели, а какая – за счёт собственных действий. Исследования, посвящённые UX диалоговых систем, подчёркивают, что методы, позволяющие пользователю видеть и управлять состоянием контекста, повышают общую удовлетворённость взаимодействием и улучшают точность интерпретации результатов. Таким образом, практические рекомендации по проектированию интерфейсов для LLM-агентов основываются на принципах прозрачности, адаптивности и ориентированности на задачи пользователя.

Важным аспектом проектирования является формирование доверия к системе через механизмы объяснимого ИИ (Explainable AI). Интерфейс должен предоставлять визуальные маркеры уверенности модели и ссылки на первоисточники. Внедрение интерактивных подсказок и функций верификации фактов минимизирует риски некритичного восприятия пользователем «галлюцинаций» алгоритма, превращая простой чат в безопасную аналитическую среду.

Кроме того, наблюдается тенденция перехода от классических диалоговых окон к комплексным рабочим пространствам (workspaces). В них диалог с LLM-агентом интегрируется с интерактивными панелями и редакторами, позволяя закреплять сгенерированные артефакты для ручной доработки. Такая пространственная организация

эффективно снижает когнитивную нагрузку. Параллельное внедрение мультимодальности (работа с файлами, голосовой ввод) требует создания гибкой модульной сетки, динамически перестраивающейся под текущий тип медиаконтента. Развитие концепции генеративного интерфейса (Generative UI) позволяет системе не просто выводить текст, но и на лету создавать интерактивные элементы управления – графики, таблицы или формы ввода – непосредственно в процессе диалога. Это стирает границу между контентом и интерфейсом, требуя от разработчиков внедрения принципиально новых паттернов микро-взаимодействий. Важную роль также играет внедрение механизмов непрерывного улучшения интерфейса на основе анализа пользовательской телеметрии. Сбор и обработка анонимизированных данных о паттернах взаимодействия, таких как частота использования подсказок или характер корректирующих запросов, позволяют объективно оценивать эффективность UX-решений. Кроме того, архитектура должна предусматривать строгие меры информационной безопасности, визуально предупреждая пользователя о рисках передачи конфиденциальных данных в модель.

Заключение. Проектирование веб-интерфейсов для взаимодействия с LLM-агентами требует глубокого учёта особенностей диалоговой природы взаимодействия, особенностей генерации ответов и принципов UX/UI. Интерфейсы должны обеспечивать визуальную и функциональную прозрачность, поддержку управления контекстом и механизмы корректировки запросов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку новых методов оценки UX в диалоговых системах, создание адаптивных интерфейсов и интеграцию мультимодальных элементов взаимодействия, что будет способствовать более широкому распространению и использованию LLM-технологий.

Список литературы

1. Купер, А. Интерфейс. Основы проектирования взаимодействия / А. Купер, Р. Рейман, Д. Кронин, К. Носсел. – 4-е изд. – СПб.: Питер, 2017. – 720 с. – ISBN 978-5-4461-0303-4.
2. Раскин, Дж. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем / Дж. Раскин. – СПб.: Символ-Плюс, 2010. – 272 с.
3. Guidelines for Human-AI Interaction / S. Amershi [et al.] // Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – 2019. – P. 1–13.
4. Nielsen, J. AI: First New UI Paradigm in 60 Years [Electronic resource] / J. Nielsen // Nielsen Norman Group. – 2023. – Mode of access: [<https://www.nngroup.com/articles/ai-paradigm/>] (<https://www.nngroup.com/articles/ai-paradigm/>). – Date of access: 27.03.2026.

UDC 004.8

DESIGNING A WEB INTERFACE FOR INTERACTING WITH LLM AGENTS: PATTERNS, PROBLEMS, SOLUTIONS

В. В. Иванов

Academy of Public Administration under the President of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

R. A. Shabanovich - Master of Sci.

Annotation. The specifics of designing web interfaces for user interaction with large language model (LLM) based agents are investigated. It is established that the fundamental problems of such systems are the unpredictability of generative responses, the complexity of formulating queries, and the loss of dialogue context. Approaches to their solution are proposed, including the development of adaptive dialogue management patterns, prompting systems, and visual tools for contextual control.

Keywords: web interface, LLM agents, large language models, dialogue systems, UX/UI, user experience, context management, cognitive load, human-computer interaction.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИЧНОГО БЮДЖЕТА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ДОХОДОВ И ИНФЛЯЦИИ

Прескурел Я.Ю.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе предлагается математическая модель устойчивости личного бюджета с учетом динамики доходов и инфляции. Формализуется критерий устойчивости, проводится анализ параметров модели и рассматриваются условия финансового равновесия. Полученные результаты могут быть использованы при разработке алгоритмов управления личными финансами.

Ключевые слова: математическое моделирование, информационные системы, финансовые потоки, алгоритмы управления, оптимизация, дискретные модели, прогнозирование, анализ данных, риск-менеджмент, моделирование процессов, поддержка принятия решений

Введение. При работе с личными финансами достаточно быстро становится понятно, что даже при стабильном уровне дохода бюджет может со временем терять устойчивость. Основная причина этого – не только изменение самих доходов, но и рост расходов, связанный с инфляцией. На практике это проявляется в том, что привычная структура затрат перестаёт «укладываться» в доход, хотя формально уровень жизни не менялся.

Попытки управлять бюджетом интуитивно или с опорой на простые правила (например, фиксированное распределение дохода) не всегда дают устойчивый результат, поскольку не учитывают динамику изменения ключевых параметров. В частности, различие темпов роста доходов и цен со временем приводит к накоплению дисбаланса, который становится заметен только на более длинных временных интервалах.

В этой связи возникает необходимость формализовать процесс изменения личного бюджета и описать его с помощью математической модели. Такой подход позволяет не только зафиксировать текущую ситуацию, но и оценить, как она будет развиваться при различных сценариях – например, при замедлении роста доходов или ускорении инфляции.

В данной работе рассматривается модель, в которой доходы и расходы задаются как функции времени с учётом их темпов изменения. Основное внимание уделяется условию, при котором бюджет сохраняет устойчивость, то есть остаётся неотрицательным на рассматриваемом интервале времени. Кроме того, анализируется влияние соотношения темпов роста доходов и инфляции на долгосрочное финансовое состояние.

Целью работы является построение математической модели устойчивости личного бюджета и получение аналитического критерия, позволяющего оценить границы финансовой стабильности. Полученные результаты могут быть использованы для более обоснованного планирования расходов и принятия решений в рамках управления личными финансами.

Основная часть. Построение модели устойчивости личного бюджета целесообразно начинать с формализации базовых финансовых потоков [1]. В рамках рассматриваемого подхода бюджет понимается как разность между доходами и расходами за определённый период времени [2]. При этом важно учитывать, что оба этих показателя не являются постоянными величинами и изменяются во времени под воздействием различных факторов.

Доход в простейшем случае можно рассматривать как величину, изменяющуюся с некоторым средним темпом роста [3]. Это может быть связано с карьерным развитием, индексацией заработной платы или дополнительными источниками дохода. Однако на практике рост доходов, как правило, не является равномерным и может носить скачкообразный или нестабильный характер. Несмотря на это, для построения базовой модели

допустимо использовать сглаженное представление, отражающее общий тренд изменения дохода.

Расходная часть бюджета, в отличие от доходной, более чувствительна к внешним экономическим условиям. Основным фактором, влияющим на её динамику, является инфляция, приводящая к постепенному увеличению стоимости товаров и услуг. Даже при сохранении прежнего уровня потребления фактические расходы со временем возрастают, что создаёт дополнительную нагрузку на бюджет.

Ключевой задачей в рамках модели является определение условия, при котором бюджет остаётся устойчивым. Под устойчивостью в данном случае понимается ситуация, при которой доходы на каждом шаге времени не меньше расходов. Это условие позволяет избежать дефицита бюджета и, как следствие, необходимости использования заемных средств или сокращения накоплений.

Для формализации указанного условия вводится базовое соотношение между доходами и расходами:

$$B_t = I_t - E_t \quad (1)$$

Если значение бюджета остаётся неотрицательным на протяжении всего рассматриваемого периода, система считается устойчивой. В противном случае возникает дефицит, который при длительном сохранении может привести к полной потере финансовой стабильности.

Дальнейший анализ показывает, что решающим фактором является не столько абсолютный уровень доходов и расходов, сколько их относительная динамика. Если доходы растут быстрее, чем расходы, то даже при изначально неблагоприятном соотношении со временем возможно достижение устойчивого состояния. Обратная ситуация, при которой расходы увеличиваются быстрее доходов, неизбежно приводит к ухудшению финансового положения.

Особый интерес представляет случай, когда темпы роста доходов и расходов близки друг к другу. В этом случае система находится в пограничном состоянии, при котором даже незначительные изменения внешних условий могут привести к переходу от устойчивости к дефициту или наоборот. С практической точки зрения это означает, что такие финансовые системы являются наиболее уязвимыми и требуют более тщательного контроля.

Анализ динамики бюджета во времени позволяет выявить ещё одну важную характеристику – момент потери устойчивости. Даже если на начальном этапе бюджет является профицитным, при неблагоприятном соотношении темпов роста доходов и расходов со временем может наступить момент, когда расходы начнут превышать доходы. Определение этого момента имеет важное практическое значение, поскольку позволяет заранее принять меры по корректировке финансового поведения.

Для более полного описания финансового состояния целесообразно учитывать не только текущий баланс, но и накопленные средства. Введение показателя накоплений позволяет оценить способность системы компенсировать временные дефициты. Даже при кратковременном превышении расходов над доходами наличие накоплений может сохранить общую устойчивость бюджета.

В рамках модели накопления можно рассматривать как результат последовательного суммирования текущих бюджетных результатов. Если на протяжении длительного периода бюджет остаётся положительным, формируется запас финансовой прочности. В противном случае происходит постепенное истощение ресурсов, что увеличивает финансовые риски.

Дополнительное усложнение модели связано с учётом неопределённости. В реальных условиях доходы не являются строго детерминированными и могут изменяться под влиянием случайных факторов, таких как потеря работы, изменение условий занятости или непредвиденные расходы. Включение случайной компоненты в модель позволяет перейти от детерминированного описания к вероятностному анализу [4].

В этом случае устойчивость бюджета можно интерпретировать как вероятность того, что доходы не окажутся ниже расходов на заданном временном интервале. Такой подход позволяет оценивать финансовые риски более гибко и учитывать различные сценарии развития событий.

С практической точки зрения предложенная модель может использоваться как инструмент поддержки принятия решений. На её основе возможно:

- оценивать допустимый уровень текущих расходов;
- прогнозировать последствия изменения доходов;
- анализировать влияние инфляции на финансовое состояние;
- определять необходимость формирования резервов.

Кроме того, модель может быть интегрирована в информационные системы управления личными финансами [5]. В этом случае она выступает в качестве вычислительного ядра, позволяющего автоматически оценивать устойчивость бюджета при изменении входных параметров.

Таким образом, даже при относительно простой структуре модель позволяет получить содержательные выводы о поведении финансовой системы во времени. Основным результатом заключается в том, что устойчивость личного бюджета определяется балансом между темпами роста доходов и расходов, а также наличием финансовых резервов.

Список литературы

1. Kasami T., Tokura N., Iwadari E., Inagaki Ya. (2006) *Coding Theory. Transl. from Japan by A.V. Kuznetsov. Moscow, Mir Publ.* 571.
2. Losev V. V., Brodskaya E. B., Korzhik V. I. (1988) *Search and Decoding of Complex Discrete Signals. Moscow, Radio and Communication Publ.*
3. Sze S. M., Lee M. K. (2012) *Semiconductor Devices: Physics and Technology. New York, John Wiley & Sons Singapore Pte. Limited.*
4. Dostanko A. P., et al. (2020) *Innovative Technologies and Equipment of Submicron Electronics. Minsk, Belar. Navuka.* 260 p.
5. Penialosa D. I., et al. (2021) *Electromagnetic Radiation Shielding Composite Coatings Based on Powdered Alumina and Iron Oxides. Doklady BGUIR.* 19(3), 104–109. DOI: 10.35596/1729-7648-2021-19-3-104-109.

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

MATHEMATICAL MODEL OF PERSONAL BUDGET SUSTAINABILITY UNDER CHANGES IN INCOME AND INFLATION

Preskurel Y.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alekseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This paper proposes a mathematical model for assessing the sustainability of a personal budget, taking into account the dynamics of income and inflation. A formal criterion of financial sustainability is developed, and the influence of key parameters on the stability of the budget is analyzed. The study focuses on the relationship between income growth and inflation rates as the main factors determining long-term financial balance. The results obtained can be applied in the development of decision-support algorithms in personal finance management systems and for improving financial planning strategies.

Keywords: mathematical modeling, personal budget, financial sustainability, inflation, income and expenses, financial flow dynamics, budget optimization, economic and mathematical methods, forecasting, risk management, discrete models, financial management

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВЫХ РЕЗЕРВОВ И ПОДУШКА БЕЗОПАСНОСТИ: КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РИСКА

Прескурел Я.Ю.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассматривается подход к оценке финансовых резервов и формированию подушки безопасности для личного бюджета. Разрабатывается методика количественной оценки риска дефицита бюджета с учётом изменения доходов и расходов, а также непредвиденных финансовых событий. Предложенные методы позволяют анализировать способность домохозяйства справляться с временными финансовыми трудностями и определять необходимый размер резервов для поддержания устойчивости бюджета. Практическая значимость заключается в возможности использования модели для планирования накоплений и снижения риска неплатежеспособности.

Ключевые слова: финансовые резервы, подушка безопасности, личный бюджет, риск дефицита, управление финансами, прогнозирование расходов, финансовая устойчивость

Введение. Управление личными финансами требует не только планирования доходов и расходов, но и прогнозирования возможных рисков, связанных с дефицитом бюджета. Доходы человека могут изменяться в зависимости от карьерного роста, сезонных выплат, премий или непредвиденных обстоятельств, таких как потеря работы или временное снижение заработка. Расходы, в свою очередь, также подвержены случайным событиям, включая непредвиденные покупки, ремонт бытовой техники, медицинские расходы и форс-мажоры, что делает управление финансами более сложным [1].

В таких условиях финансовая устойчивость домохозяйства напрямую зависит от наличия резервных средств – так называемой подушки безопасности. Подушка безопасности позволяет покрывать временные дефициты бюджета, снижать финансовые риски и поддерживать привычный уровень жизни даже при снижении доходов или увеличении расходов.

Для оценки эффективности подушки безопасности важно использовать количественные методы, которые позволяют прогнозировать возможные дефициты бюджета и определять необходимые размеры резервов. Такие методы дают возможность анализировать влияние сезонности доходов, случайных расходов и колебаний финансовых потоков на устойчивость бюджета. Введение количественной модели подушки безопасности позволяет:

- прогнозировать дефицит бюджета на определённый период;
- анализировать влияние случайных расходов и колебаний доходов;
- определять минимальный необходимый размер резервов для сохранения финансовой устойчивости;
- формировать рекомендации по накоплениям и инвестициям с учётом риска неплатежеспособности.

В данной работе предлагается модель, которая сочетает дискретный подход к учёту доходов и расходов с вероятностной оценкой риска. Такой подход позволяет домохозяйству заранее планировать накопления, оценивать вероятность дефицита бюджета и принимать решения о формировании резервов с учётом возможных непредвиденных событий.

Практическая ценность исследования заключается в предоставлении инструментов, которые могут быть использованы как индивидуально для планирования личного бюджета, так и в приложениях для поддержки принятия решений в информационных системах управления личными финансами. Введение таких моделей способствует повышению

финансовой грамотности, пониманию собственных возможностей и ограничений, а также формированию устойчивых финансовых привычек.

Основная часть. Финансовая подушка безопасности – это резервные накопления, предназначенные для покрытия временного дефицита бюджета и обеспечения финансовой устойчивости домохозяйства.

Для построения модели выделяются два основных потока: доходы и расходы. Доходы могут включать заработную плату, премии, дивиденды, доходы от подработок или инвестиций. Расходы разделяются на регулярные и случайные. Регулярные расходы включают коммунальные услуги, питание, транспорт и ежемесячные обязательные платежи. Случайные расходы появляются внезапно и могут иметь значительную величину, например, ремонт бытовой техники, медицинские услуги, затраты на образование детей, неожиданные штрафы и другие форс-мажорные ситуации [1].

В модели используется дискретное представление бюджета. Каждый месяц фиксируется разница между доходами и расходами, а накопления на конец месяца рассчитываются как сумма предыдущих резервов и текущей разницы. Анализируя несколько сценариев, можно оценить, как резервы будут меняться при различных вариантах доходов и расходов, включая неблагоприятные случаи.

Особое внимание уделяется неопределённости финансовых потоков. Даже при среднем положительном балансе доходов над расходами существует вероятность дефицита. Оценка риска дефицита позволяет рассчитывать вероятность того, что бюджет останется положительным на заданный период времени. Такой подход учитывает сезонность доходов, колебания премий, непредвиденные траты и изменение жизненных условий семьи [2].

Для практического применения модели важно определить минимальный размер подушки безопасности, который позволит домохозяйству покрывать временный дефицит без ущерба для привычного уровня жизни. Рассмотрим пример: ежемесячный доход семьи составляет 2000 рублей, регулярные расходы – 1800 рублей. Включая возможные случайные траты до 540 рублей, рекомендуется формировать резерв в размере 3300–3700 рублей. Такой резерв позволяет покрыть несколько месяцев непредвиденных расходов и сохранять финансовую устойчивость при временной потере дохода или увеличении расходов [3].

Помимо оценки минимального резерва, модель позволяет проводить анализ сценариев. Например, можно рассмотреть:

- уменьшение дохода на 10–15% в течение нескольких месяцев;
- внезапное увеличение расходов на 20%;
- сочетание нескольких неблагоприятных факторов одновременно.

Результаты анализа позволяют домохозяйству корректировать расходы, распределять накопления более рационально и принимать решения о временном сокращении необязательных трат.

Применение модели также возможно для информационных систем управления личными финансами. Современные приложения могут автоматически учитывать доходы и расходы, прогнозировать возможные дефициты, визуализировать динамику резерва и давать рекомендации по формированию подушки безопасности [4].

Таким образом, предложенный подход позволяет:

- оценивать достаточность текущих накоплений;
- прогнозировать последствия случайных расходов и колебаний доходов;
- определять оптимальный размер подушки безопасности;
- интегрировать модель в информационные системы для автоматической оценки риска и повышения финансовой грамотности [5].

Модель проста в реализации, не требует сложных вычислений и может быть адаптирована под конкретные условия семьи. Она демонстрирует, что даже простая количественная оценка резервов позволяет значительно снизить риск финансового дефицита, повысить уверенность домохозяйства в своей финансовой устойчивости и спланировать долгосрочные накопления. Кроме того, использование модели дает возможность выявить

структурные проблемы в распределении расходов: например, если часть регулярных трат превышает разумный процент от дохода, это можно скорректировать заранее, не доводя до критических ситуаций.

Дальнейшее применение модели может включать сравнение различных стратегий накоплений и инвестиций, что позволяет оценить, какая комбинация инструментов лучше всего подходит для конкретного домохозяйства с учетом его финансовых целей и уровня дохода. Это особенно актуально для семей, планирующих крупные расходы, такие как покупка жилья, автомобиль, образование детей или долгосрочные инвестиции, где ошибки в управлении резервами могут иметь значительные последствия.

Модель также подходит для разных категорий населения: молодых специалистов, начинающих карьеру, семей с детьми, домохозяйств с нестабильным доходом и пенсионеров. Для каждой категории можно задавать индивидуальные параметры: уровень дохода, средние и максимальные расходы, вероятные случайные траты и желаемый период покрытия дефицита. Это делает подход универсальным инструментом финансового планирования, который можно применять как в индивидуальном порядке, так и в рамках образовательных программ по финансовой грамотности.

Наконец, интеграция модели в информационные системы управления личными финансами позволяет автоматизировать расчёты, отслеживать динамику резервов в реальном времени и своевременно предупреждать о рисках дефицита бюджета. Это существенно снижает стресс, связанный с финансовыми трудностями, повышает дисциплину в ведении бюджета и помогает формировать долгосрочные привычки разумного расходования и накопления средств. В итоге даже минимальные усилия по планированию резервов, основанные на количественной модели, могут обеспечить значительное улучшение финансового состояния семьи, повысить устойчивость к экономическим колебаниям и повысить уровень уверенности в завтрашнем дне.

Список литературы

1. Kasami T., Tokura N., Iwadari E., Inagaki Ya. (2006) *Coding Theory*. Transl. from Japan by A.V. Kuznetsov. Moscow, Mir Publ. 571.
2. Losev V. V., Brodskaya E. B., Korzhik V. I. (1988) *Search and Decoding of Complex Discrete Signals*. Moscow, Radio and Communication Publ.
3. Sze S. M., Lee M. K. (2012) *Semiconductor Devices: Physics and Technology*. New York, John Wiley & Sons Singapore Pte. Limited.
4. Dostanko A. P., et al. (2020) *Innovative Technologies and Equipment of Submicron Electronics*. Minsk, Belar. Navuka. 260 p.
5. Penialosa D. I., et al. (2021) *Electromagnetic Radiation Shielding Composite Coatings Based on Powdered Alumina and Iron Oxides*. *Doklady BGUIR*. 19(3), 104–109. DOI: 10.35596/1729-7648-2021-19-3-104-109.

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

MODELING FINANCIAL RESERVES AND SAFETY CUSHION: QUANTITATIVE RISK ASSESSMENT

Preskurel Y.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alekseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This paper considers an approach to assessing financial reserves and creating a safety cushion for a personal budget. A methodology for quantitative risk assessment of budget deficits is developed, taking into account changes in income, expenses, and unforeseen financial events. The proposed methods allow analyzing a household's ability to cope with temporary financial difficulties and determining the required reserve size to maintain budget stability. The practical significance lies in applying the model for savings planning and reducing the risk of insolvency.

Keywords: financial reserves, safety cushion, personal budget, deficit risk, financial management, expense forecasting, budget stability

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО РЕАЛИЗАЦИИ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ КРИПТОПЛАТФОРМОЙ

Приходько Н.Н.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Лихачевский Д.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Разработано программное средство для управления инвестиционной криптоплатформой, обеспечивающее автоматизацию учета транзакций и мониторинга инвестиционного портфеля. Решение реализовано на основе распределённой архитектуры с использованием REST-сервисов, что обеспечивает масштабируемость и интеграцию с внешними сервисами. Описаны архитектура системы и принцип работы основного алгоритма.

Ключевые слова: криптоплатформа, управление инвестициями, криптовалюта, REST API, распределённая архитектура, программное средство.

Введение. В соответствии с утверждённой государственной программой «Цифровая Беларусь» на 2026–2030 годы, приоритетным направлением развития Республики Беларусь является повышение уровня цифровизации финансово-экономической сферы и внедрение современных информационных технологий в процессы управления цифровыми активами [1]. Активное развитие рынка криптовалют и инвестиционных цифровых платформ сопровождается ростом объёмов транзакций и усложнением процессов управления инвестиционными портфелями. Существующие решения зачастую характеризуются недостаточной прозрачностью и высокой долей ручных операций, что повышает вероятность ошибок и снижает эффективность принятия инвестиционных решений. В связи с этим актуальной является разработка программного средства для управления инвестиционной криптоплатформой, обеспечивающего централизованный учет операций, мониторинг состояния инвестиционного портфеля и повышение эффективности управления цифровыми активами [2].

Основная часть. Для достижения поставленной цели была спроектирована распределённая система, состоящая из серверной части и клиентского приложения. Такой подход обеспечивает независимость логики обработки и хранения данных от их визуального представления, а также повышает гибкость и масштабируемость решения.

Система построена на основе REST-архитектуры, предусматривающей чёткое разделение на клиентскую и серверную части. Серверная часть реализует бизнес-логику управления инвестиционной криптоплатформой, включая обработку транзакций, учет операций с цифровыми активами и взаимодействие с базой данных. Обмен данными между компонентами осуществляется с использованием REST API в формате JSON. Клиентская часть отвечает за формирование пользовательского интерфейса, отображение информации о состоянии инвестиционного портфеля и инициирование запросов к серверу [3].

Таким образом, общий алгоритм функционирования программного средства при обработке инвестиционных транзакций пользователя (выполнение операций с цифровыми активами и обновление состояния портфеля) можно представить следующим образом (рисунок 1).

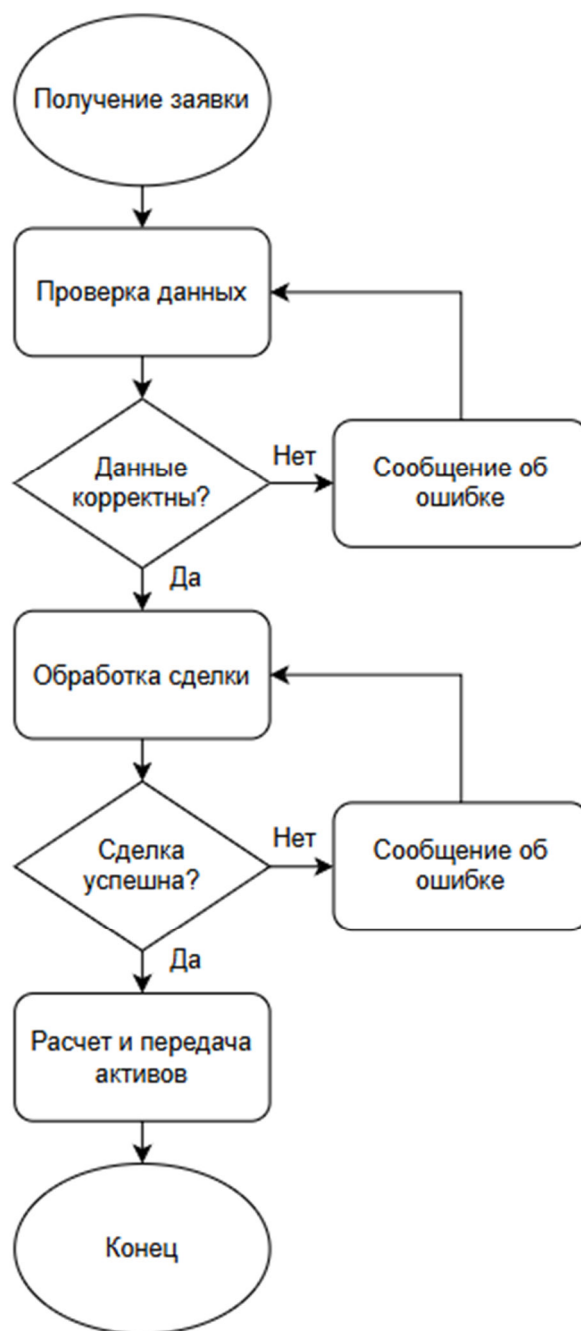


Рисунок 1 – Общий алгоритм обработки инвестиционных транзакций пользователя

Для оценки надежности системы при обработке большого количества одновременных транзакций использовалась методика расчета вероятности безотказной работы по формуле 1:

$$P_{\text{безотк}} = \exp(-\lambda \cdot t) \cdot 100\% \quad (1)$$

где λ – интенсивность поступления новых транзакций;

t – среднее время обработки одной транзакции, с.

Применение данной формулы позволяет прогнозировать устойчивость платформы в периоды высокой активности пользователей. Экспериментальные данные показали, что при интенсивности поступления $\lambda=0,015$ и среднем времени обработки одной транзакции $t=80$ с, вероятность безотказной обработки запросов сохраняется на уровне 98,8 %. Основным узким местом системы является модуль валидации и согласования транзакций, производительность

которого напрямую зависит от сложности операций с цифровыми активами и доступной вычислительной мощности серверной части.

Заключение. Выполнен анализ процессов обработки и управления транзакциями пользователей на инвестиционной криптоплатформе. Установлено, что применение распределённой клиент-серверной архитектуры на основе REST API обеспечивает высокую отказоустойчивость системы при одновременной обработке большого числа операций. Предварительная проверка корректности данных на стороне клиентского приложения снижает нагрузку на сервер и предотвращает ошибки при внесении транзакций в базу цифровых активов.

Разработан алгоритм функционирования программного средства, обеспечивающий стабильную и безопасную обработку операций пользователей. Использование платформы позволяет существенно сократить время выполнения типовых действий с инвестиционным портфелем (покупка, продажа или перевод цифровых активов). Система обеспечивает высокий уровень безопасности данных за счёт шифрования и токенизации и соответствует действующему законодательству Республики Беларусь о защите персональных данных.

Список литературы

1. Цифровая Беларусь. Какие задачи планируется решить за следующие пять лет? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pravo.by/novosti/obshchestvenno-politicheskie-i-v-oblasti-prava/2025/december/91694/>. Дата доступа: 06.03.2026.
2. Храмов, Ю. В. Основы технологии блокчейн и криптовалют для менеджеров : учебное пособие / Ю. В. Храмов – Казань : Изд-во КНИТУ, 2021. – 160 с.
3. RESTful Web API. Паттерны и практики / М. Амундсен – Астана: «Спринт Бук», 2025. – 464 с.
4. ГОСТ ISO/IEC 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. Минск: Госстандарт, 2011.

UDC 004.9:332.8

A SOFTWARE SOLUTION FOR MANAGING AN INVESTMENT CRYPTO PLATFORM

Pryhodko N.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhachevsky D.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. A software tool has been developed for managing the investment cryptoplatform, which provides automation of transaction accounting and monitoring of the investment portfolio. The solution is implemented based on a distributed architecture using REST services, which ensures scalability and integration with external services. The architecture of the system and the principle of operation of the main algorithm are described.

Keywords: cryptoplatform, investment management, cryptocurrency, REST API, distributed architecture, software tool.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ТУННЕЛЕЙ ВЕНТУРИ НА ПРИЖИМНУЮ СИЛУ БОЛИДА ФОРМУЛЫ 1

Химич Ф.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Ларькин А.Д. – ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматриваются физические механизмы генерации прижимной силы в болидах Формулы 1 через использование туннелей Вентури. На основе уравнений Бернулли и неразрывности потока проводится анализ влияния геометрии каналов на перепад давления. Рассмотрены оптимальные углы схождения и расхождения потока, взаимодействие с пограничным слоем и влияние турбулентного следа колес.

Ключевые слова: аэродинамика, прижимная сила, эффект Вентури, граунд-эффект, уравнение Бернулли, диффузор.

Введение. Основная цель аэродинамики гоночного болида – максимизация прижимной силы (downforce) для увеличения сцепления с трассой, при одновременной минимизации сопротивления воздуха на прямых [1]. За счет увеличения прижимной силы возрастает скорость во время прохождения поворотов благодаря улучшению сцепления резины с трассой. Одним из наиболее эффективных методов достижения этой цели является «эффект земли» (ground effect). «Эффект земли» основан на ускорении потока под днищем болида, что создает зону низкого давления [3]. Физическая аналогия данного процесса наблюдается у птиц, которые летят низко над водой: близость поверхности мешает воздуху хаотично растекаться, что увеличивает эффективность крыла [1].

Основная часть. Работа современных туннелей Вентури в Формуле 1 описывается законами механики жидкости. При движении воздуха через сужающийся канал (горловину туннеля) его скорость должна возрастать, для выполнения уравнения неразрывности:

$$Q = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \quad (1)$$

где Q – объемный расход, A – площадь поперечного сечения трубки Вентури, V – скорость потока [2].

Согласно принципу Бернулли, для несжимаемого потока (которым считается воздух на скоростях движения болида) рост кинетической энергии сопровождается падением статического давления [1]:

$$P_1 - P_2 = \rho_2 \cdot V_2^2 - V_1^2 \quad (2)$$

где ρ – плотность воздуха [2].

Разность давлений между атмосферой над болидом и разреженным воздухом в туннелях Вентури порождает прижимную силу. Эффективность этого процесса оценивается коэффициентом давления C_p . В зоне максимального сужения туннеля C_p принимает наиболее низкие отрицательные значения, что свидетельствует о пике прижимной силы [1].

Форма туннеля критически важна для предотвращения отрыва потока. Для эффективной работы системы профиль днища разделен на три функциональные зоны, которые формируют полноценный туннель Вентури:

1 Входная часть (приемник): располагается за передними колесами, благодаря этому осуществляется забор воздуха под днище.

2 Горловина (узкая часть): критическая точка в районе кокпита, где минимальный зазор между днищем и трассой обеспечивает пиковую скорость потока и максимальное разрежение.

3 Диффузор (расширяющаяся часть): область в задней части болида, где происходит контролируемое замедление потока и восстановление давления, что создает эффект

«вытягивания» воздуха из-под всей машины. Конструкция позволяет генерировать прижимную силу с наименьшим лобовым сопротивлением, а форма туннеля критически важна для предотвращения отрыва потока. Исследования показывают, что использование плавных обводов трубы Вентури более эффективно, чем резкие сужения. Коэффициент расхода для Вентури составляет около 0,98, для обычных отверстий до 0,6 [2].

Численное моделирование устанавливает, что для минимизации потерь давления и предотвращения турбулентности оптимальный угол схождения в передней части туннеля должен составлять 18° , а угол расхождения в области диффузора – 6° [2].

Эффективность туннелей Вентури сильно зависит от состояния пограничного слоя – тонкого слоя воздуха, замедляющегося трением о трассу и днище [1]. При слишком малом дорожном просвете пограничные слои смыкаются, вызывая резкую потерю прижимной силы и «дельфинирование» (автоколебания корпуса) [3]. Важен и «грязный воздух» от передних колёс: вращаясь, шина выталкивает турбулентные потоки в стороны, и при попадании в туннели эффективность граунд-эффекта резко падает [3]. Для изоляции туннелей инженеры используют направляющие пластины (strakes) как «воздушные занавески» [3, 4].

Свобода инженеров в проектировании ограничивается регламентом FIA (Federation Internationale de l'Automobile) для обеспечения безопасности. Согласно правилам 2026 года, вся геометрия под днищем должна быть заключена в справочный объем RV-FLOOR-BODY [4]. Важнейший элемент - контрольная планка (Plank) толщиной $10 \text{ мм} \pm 0,2 \text{ мм}$, которая устанавливается вдоль центральной оси [4]. Планка ограничивает минимальный клиренс. В ходе гонки из-за трения об асфальт планка может стираться, если она сотрется более чем на 1 мм, болид будет дисквалифицирован [4]. Это вынуждает команды делать выбор между максимальным разрежением в туннелях и риском контакта планки с трассой.

Заключение. Туннели Вентури один из мощных инструментов управления аэродинамикой. Угол в 18° в передней части туннеля и угол в 6° в области диффузора, а также контроль пограничного слоя позволяют достигать высокой прижимной силы [2]. Высокая чувствительность системы и регламент ставят перед инженерами задачу максимально точной настройки подвески, чтобы стабилизировать воздушные потоки под днищем [3, 4].

Список литературы

1. Katz, J. *Race Car Aerodynamics: Designing for Speed* / J. Katz. – Bentley Publishers, 1995. – 300 p.
2. Singhal, A. *Air Flow Optimization via a Venturi Type Air Restrictor* / A. Singhal, M. Parveen // *Proceedings of the World Congress on Engineering 2013 Vol III*. – London, U.K., 2013.
3. Newey, A. *How to Build a Car: The Autobiography of the World's Greatest Formula 1 Designer* / A. Newey. – HarperCollins Publishers, 2017. – 400 p.
4. *FIA 2026 Formula 1 Technical Regulations (Issue 8)*. – Fédération Internationale de l'Automobile, 2024. – 207 p.

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE SHAPE OF VENTURI TUNNELS ON THE DOWNFORCE OF A FORMULA 1 CAR

Khimich F.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Larkin A.D. – Assistant Professor of the PICS Department

Annotation. The article examines the physical mechanisms of downforce generation in Formula 1 cars through the use of Venturi tunnels. Based on the Bernoulli and continuity equations, the influence of the channel geometry on the pressure drop is analyzed. Optimal flow convergence and divergence angles, interaction with the boundary layer, and the influence of the turbulent wheel wake are considered.

Keywords: aerodynamics, downforce, Venturi effect, ground effect, Bernoulli's equation, diffuser, pressure coefficient.

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО РЕАЛИЗАЦИИ RPA-РЕШЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДОГОВОРАМИ

Кузнецов Е.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Лихачевский Д.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассматривается вопрос автоматизации документооборота предприятия с использованием технологии RPA. Разработано программное средство, имитирующее действия оператора по извлечению данных из договоров, их валидации и внесению в учетную систему. Проведен сравнительный анализ эффективности внедрения робота по сравнению с ручным вводом. Описана архитектура решения, включающая модули OCR и логической обработки исключений.

Ключевые слова: RPA, программный робот, автоматизация бизнес-процессов, управление договорами, интеллектуальная обработка документов, OCR.

Введение. В условиях реализации государственной программы «Цифровая Беларусь» на 2026–2030 годы, приоритетной задачей для предприятий является цифровая трансформация операционных процессов [1]. Одним из наиболее трудоемких участков административной деятельности является управление договорами, включающее ручной перенос данных из сканированных копий в системы электронного документооборота. По статистике, ручная обработка одного контракта занимает от 10 до 20 минут и сопряжена с риском возникновения ошибок «человеческого фактора» в 4–7% случаев. Технология RPA помогает автоматизировать задачи без изменения существующей IT-инфраструктуры, имитируя действия человека на уровне пользовательского интерфейса.

Основная часть. Для достижения поставленной цели было спроектировано программное средство, обеспечивающее полный цикл первичной обработки договоров. Программное средства базируется на модульной архитектуре. Система разделена на три функциональных блока: блок мониторинга и захвата – робот сканирует выделенные директории или почтовые ящики на наличие новых PDF-файлов; блок распознавания и классификации – с использованием библиотек машинного зрения извлекаются ключевые реквизиты (номер договора, дата, наименование контрагента, УНП, сумма); блок интеграции – автоматический ввод данных в реестр через имитацию нажатий клавиш и навигацию по элементам управления интерфейса.

Для обеспечения отказоустойчивости использовалась система обработки исключений. Если робот не может распознать реквизит с точностью 90% и выше, задача перенаправляется сотруднику для ручной обработки. Схема функционирования алгоритма представлена на рисунке 1.

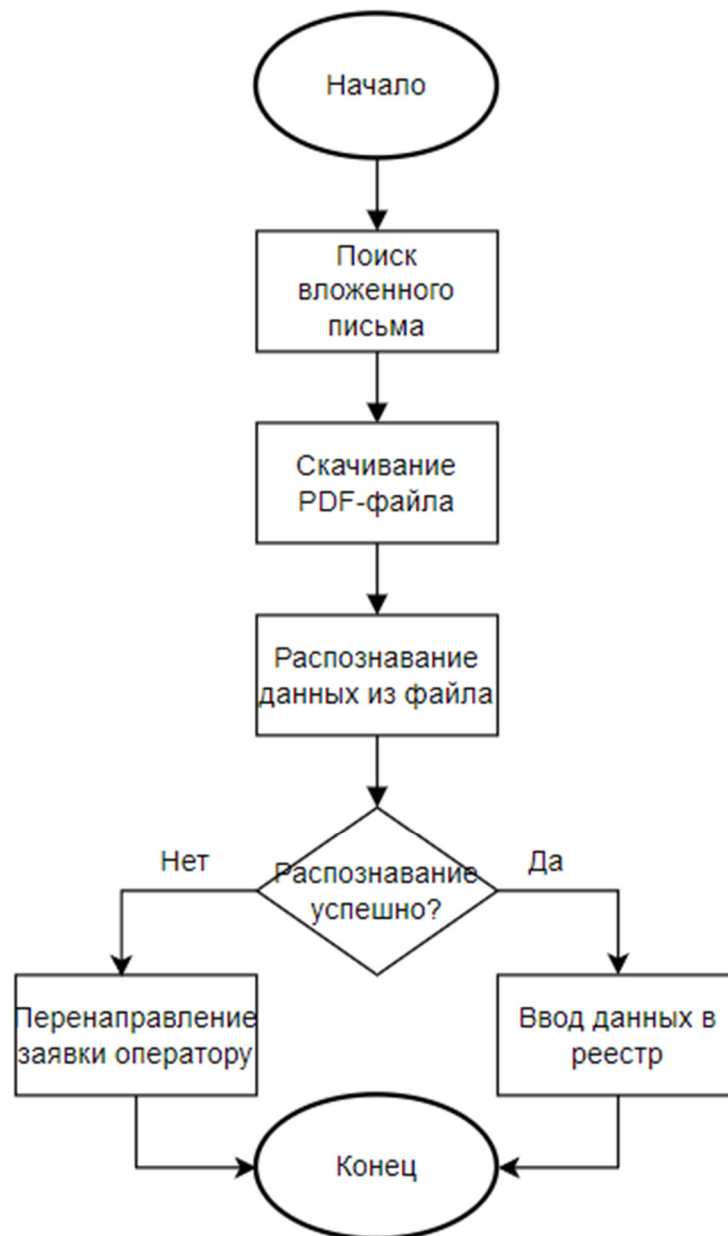


Рисунок 1 – Алгоритм работы модуля обработки данных программного средства

Для оценки эффективности работы программного средства относительно ручной обработки договоров использовался коэффициент сокращения временных затрат по формуле 1:

$$K_t = T_{\text{чел}} - T_{\text{робот}} T_{\text{чел}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $T_{\text{чел}}$ – среднее время ручной обработки договора (с); $T_{\text{робот}}$ – среднее время обработки программным средством (с).

В ходе тестирования было установлено, что использование робота сокращает время обработки одного пакета документов с 900 секунд до 120 секунд. Коэффициент эффективности составил 86,67%.

Для оценки надежности системы при пиковых нагрузках использовалась методика расчета вероятности безотказной работы по формуле 2:

$$P_{\text{безотк}} = \exp(-\lambda \cdot t) \cdot 100\%, \quad (2)$$

где λ – интенсивность поступления новых документов; t – среднее время цикла обработки (с).

Применение формулы 2 позволяет спрогнозировать устойчивость системы в периоды пиковой нагрузки. Экспериментальные данные показали, что при интенсивности поступления $\lambda = 0,02$ и $t = 120$ с, вероятность безотказной обработки запросов сохраняется на уровне 97,6%. Основным узким местом системы является модуль распознавания и классификации, производительность которого напрямую коррелирует с качеством исходных сканированных копий и доступной вычислительной мощностью сервера.

Заключение. Спроектированное программное средство реализации RPA-решения продемонстрировало оптимизацию бизнес-процессов работы с договорами в сравнении с ручной обработкой. Внедрение робота позволило сократить операционные расходы на обработку документов на 70–80% за счет высвобождения рабочего времени сотрудников на более сложные задачи, а также исключить ошибки ручного ввода данных, которые приводили к сбоям в платежных операциях и нарушению процесса документооборота.

Список литературы

1. Госпрограмма «Цифровая Беларусь» на 2026–2030 годы. Как будет формироваться экосистема цифровых решений для населения, бизнеса и государства? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mpt.gov.by/ru/gosprogramma-cifrovaya-belarus-na-2026-2030-gody-kak-budet-formirovatsya-ekosistema-cifrovyykh>. Дата доступа: 22.03.2026.
2. Макарова, Л.Ф. Основы построения систем электронного документооборота в организациях: учебно-методическое пособие / Л.Ф. Макарова. – СПб.: НИУ ИТМО, 2019. – 120 с.
3. Прохоренко, Н.Б. Проектирование ролевых моделей в системах электронного документооборота: методология и практика / Н.Б. Прохоренко // Документация и документооборот. – 2021. – № 2. – С. 43–51.
4. ГОСТ ISO/IEC 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. Минск: Госстандарт, 2011.

UDC 004.9:332.8

SOFTWARE TOOL FOR IMPLEMENTING AN RPA SOLUTION FOR CONTRACT MANAGEMENT

Kuznetsou Y.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhachevsky D.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The paper discusses the issue of automating corporate document workflow using Robotic Process Automation technology. A software tool has been developed that mimics operator actions for extracting data from contracts, validating them, and entering them into the accounting system. A comparative analysis of the efficiency of robot implementation compared to manual entry was conducted. The solution architecture is described, including Optical Character Recognition and logical exception handling modules.

Keywords: RPA, software robot, business process automation, contract management, intelligent document processing, OCR.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОГО ДВОЙНОГО СЧЕТЧИКА ЭНЕРГИИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПОСТРОЕНИЯ ПРОФИЛЯ НАГРУЗКИ И СЕТЕВЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ

Маякин Г.О.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научные руководители: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС;
Яцук В.А. – магистр, ассистент кафедры ПИКС*

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы проектирования интерактивного двойного счетчика энергии с возможностью построения профиля нагрузки и сетевым интерфейсом. В качестве аппаратной платформы используется демонстрационная плата на базе специализированного измерительного модуля, обеспечивающего измерение электрических параметров для двух независимых нагрузок с использованием шунтов и трансформаторов тока. Проанализированы основные проблемы проектирования подобных устройств, включая точность измерений, электрическую безопасность, надежность передачи данных и выбор интерфейсов связи. Предложена архитектура системы, включающая силовую часть, измерительный модуль, систему питания и интерфейсы взаимодействия с внешними устройствами. Рассмотрен пример реализации устройства и приведены особенности его работы. Показано, что применение двухканального измерения и сетевых интерфейсов позволяет повысить эффективность мониторинга и анализа энергопотребления.

Ключевые слова: счетчик энергии, профиль нагрузки, мониторинг энергопотребления, измерение мощности, трансформатор тока, USB интерфейс.

Введение. Современные методы измерения электроэнергии основаны на цифровой обработке электрических сигналов и позволяют получать не только суммарное значение потребленной энергии, но и более детальную информацию о параметрах электрической сети. В отличие от устаревших электромеханических устройств, современные электронные счетчики реализуют измерения с использованием микропроцессорной техники, что обеспечивает более высокую точность и расширенный функционал [1].

С развитием концепции интернета вещей (IoT) возрастают требования к функциональности устройств учета и мониторинга энергопотребления. Помимо базового измерения электрических параметров, необходимо обеспечивать удаленный доступ к данным, визуализацию энергопотребления и построение профиля нагрузки, а также интеграцию в сетевую инфраструктуру. В этом контексте перспективным является использование специализированных измерительных микросхем и модулей с поддержкой цифровых интерфейсов обмена данными.

Целью данной работы является разработка и анализ архитектуры интерактивного двойного счетчика энергии с возможностью построения профиля нагрузки и сетевым интерфейсом, а также исследование особенностей его практической реализации.

Трансформация систем учета электроэнергии в условиях цифровизации энергетики. Современный этап развития электроэнергетики характеризуется масштабной трансформацией систем учета электрической энергии. Переход от традиционных индукционных счетчиков к интеллектуальным приборам учета (Smart Meters) является ключевым направлением цифровизации.

Интеллектуальные системы учета электроэнергии (ИСУЭ) решают комплекс задач, выходящих за рамки простого измерения потребленной энергии. К их функциям относятся: автоматизированный сбор и передача данных о потреблении; дистанционное управление режимами учета; мониторинг качества электроэнергии; построение профилей нагрузки потребителей; обеспечение взаимодействия с интеллектуальными сетями (Smart Grid).

Внедрение интеллектуальных счетчиков позволяет повысить точность учета, снизить коммерческие потери электроэнергии, оптимизировать нагрузочные режимы энергосистемы и создать основу для внедрения дифференцированных по времени суток тарифов, стимулирующих энергосбережение.

Республика Беларусь в рамках реализации государственной энергетической политики осуществляет масштабную модернизацию системы учета электрической энергии.

Необходимость развития функциональности приборов учета. Несмотря на активное внедрение интеллектуальных систем учета, существующие решения обладают рядом ограничений, требующих дальнейшего совершенствования:

- большинство серийно выпускаемых счетчиков предоставляют пользователю минимальный объем информации – суммарное потребление энергии за расчетный период. При этом отсутствует возможность оперативного получения данных о текущем потреблении, профиле нагрузки, временных интервалах максимального и минимального энергопотребления. Такая информация необходима не только энергоснабжающим организациям для планирования нагрузок, но и потребителям для оптимизации собственного энергопотребления;

- традиционные системы учета ориентированы на одностороннюю передачу данных от прибора учета в энергоснабжающую организацию. Интерактивное взаимодействие, позволяющее потребителю получать актуальную информацию о своем энергопотреблении в удобной форме (через мобильные приложения, веб-интерфейс или непосредственно на дисплее прибора), реализовано недостаточно широко;

- в ряде сценариев использования (объекты с собственной генерацией, системы накопления энергии, электростанции, энергоактивные дома) возникает потребность в учете как потребленной, так и отданной в сеть энергии. Двойные счетчики, фиксирующие разнонаправленные потоки энергии, становятся критически важными для обеспечения справедливых финансовых расчетов между потребителем-генератором и сетевой организацией;

- современные подходы к управлению энергопотреблением и тарифообразованию требуют детальной информации о временной структуре нагрузки. Построение профиля нагрузки позволяет: выявлять пиковые нагрузки и оценивать возможности их переноса; обосновывать выбор тарифной схемы; прогнозировать потребление для целей диспетчерского управления.

Основная часть. В основу разработки положена архитектура двухканального измерителя электрической энергии, реализованная с использованием специализированного измерительного интегрального модуля и демонстрационной платы с поддержкой подключения двух независимых нагрузок. [2].

Принципиальная схема устройства включает силовые клеммы для подключения к сети переменного напряжения 230 В и нагрузок, а также измерительные цепи напряжения и тока. Питание устройства формируется непосредственно от сети с использованием импульсного преобразователя, обеспечивающего стабилизированное напряжение порядка 12 В, которое далее понижается линейным стабилизатором до уровней 5 В и 3,3 В для питания цифровых компонентов. Для защиты от перенапряжений применяются варисторы и защитные диоды, а для подавления электромагнитных помех используются фильтрующие элементы, включая конденсаторы и дроссели.

Измерительные каналы реализованы с возможностью выбора метода измерения тока – с использованием шунтовых резисторов или трансформаторов тока, а измерение напряжения осуществляется либо напрямую через делитель, либо через понижающий трансформатор. Обработка измеренных данных выполняется встроенным измерительным модулем с последующей передачей результатов через интерфейс USB или через изолированные цифровые линии на внешние устройства, включая микроконтроллерные системы.

Проектируемая печатная плата выполнена из стеклотекстолита FR-4 толщиной 1,5 мм. Плата двухсторонняя, 3-го класса точности.

Паразитная ёмкость между проводниками определяется с учётом диэлектрической проницаемости материала основания, длины взаимного перекрытия и геометрических параметров проводников, что особенно важно для обеспечения корректной работы чувствительных измерительных и цифровых цепей. Расчёт показал, что минимальная ширина проводников для цепей питания составляет 0,214 мм, однако с учётом технологического запаса было принято значение 0,3 мм. Для сигнальных цепей выбрана ширина проводников 0,2 мм [3].

При работе устройства выделяется тепловая мощность порядка 2-3 Вт.

Расчёт показал, что перегрев корпуса составляет около 10,56 К, температура нагретой зоны достигает 55,6 °С при температуре окружающей среды 50 °С (рисунок 1).

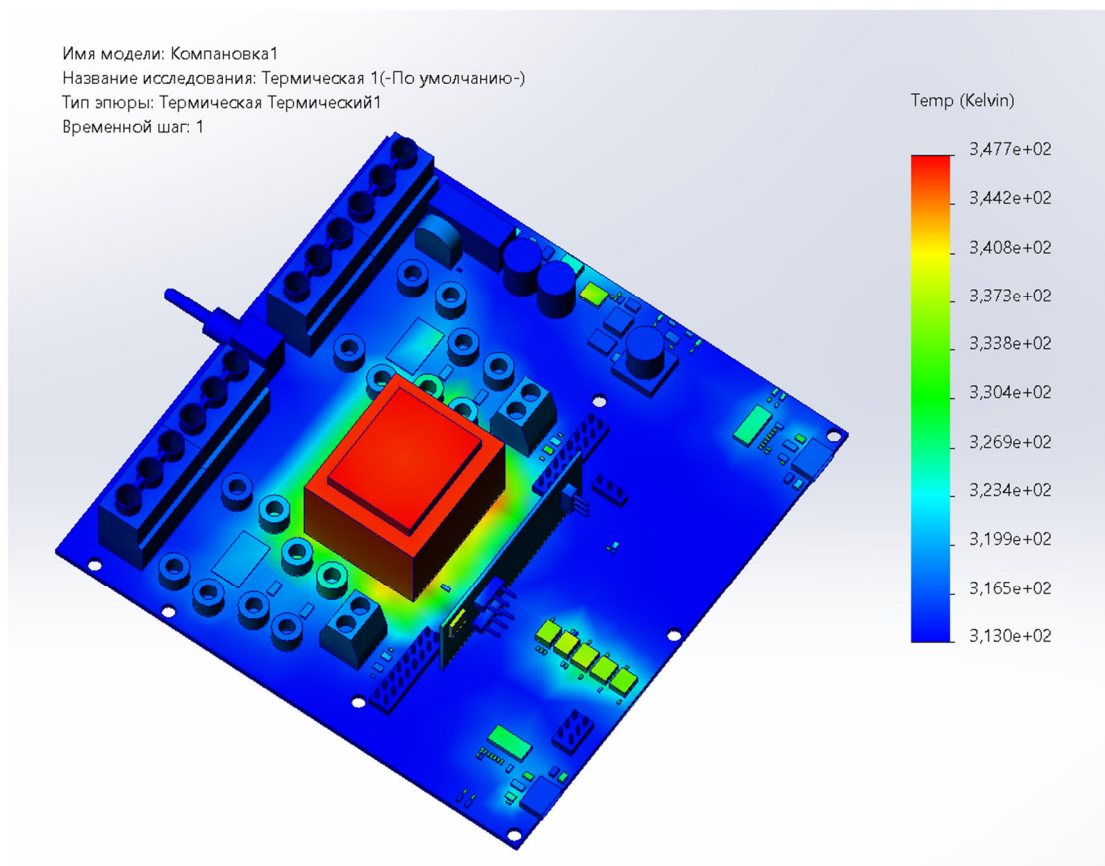


Рисунок 1 – Результат моделирования тепловых процессов в SolidWorks

Полученные значения находятся ниже допустимых температур для элементной базы, что подтверждает возможность эксплуатации устройства без применения активного охлаждения. Естественная конвекция через перфорированный корпус обеспечивает достаточный теплоотвод.

Надёжность устройства определяется суммарной интенсивностью отказов всех элементов, которая рассчитывается как сумма интенсивностей отказов отдельных компонентов с учётом их количества [4].

В результате расчёта получена средняя наработка на отказ порядка 23410 часов и вероятность безотказной работы за 1000 часов около 0,96.

Полученные значения свидетельствуют о достаточно высокой надёжности устройства и позволяют использовать его в составе систем мониторинга энергопотребления без дополнительных мер по повышению отказоустойчивости. При этом для эксплуатации в ответственных или промышленных условиях может потребоваться применение компонентов с более высокой надёжностью и проведение дополнительной оптимизации конструкции.

Разработанное устройство обеспечивает одновременный мониторинг двух нагрузок с возможностью анализа энергопотребления и построения профиля нагрузки. Использование различных методов измерения и интерфейсов связи повышает гибкость системы, а наличие гальванической развязки и защитных элементов обеспечивает безопасность и устойчивость работы при подключении к электрической сети.

Заключение. Разработан интерактивный двойной счетчик энергии с возможностью построения профиля нагрузки и сетевым интерфейсом, обеспечивающий измерение электрических параметров для двух независимых нагрузок. В ходе работы была предложена и реализована архитектура устройства, включающая силовую часть, измерительные каналы с возможностью выбора метода измерения, систему питания и интерфейсы передачи данных. Проведён анализ схемотехнических решений, а также учтены паразитные параметры печатной платы, влияющие на точность и стабильность работы устройства.

Результаты теплового расчёта показали, что температурные режимы находятся в допустимых пределах, что позволяет эксплуатировать устройство без применения активного охлаждения.

Оценка надёжности показала достаточный уровень безотказной работы, позволяющий использовать устройство в системах мониторинга энергопотребления.

Разработанное устройство обладает необходимыми функциональными возможностями, обеспечивает стабильную и безопасную работу и может быть использовано для анализа энергопотребления и построения профиля нагрузки в различных прикладных задачах.

Список литературы

1. Destro M. Energy Meter duale // *Elettronica In.* – 2024. – № 279 – С. 111–124.
2. Лежнев, А.В. Цифровые измерительные системы учета электроэнергии: учебное пособие / А.В. Лежнев. – Екатеринбург: УрФУ, 2010. – 88 с.
3. Основы проектирования печатных плат : учебное пособие / под ред. В. В. Кузнецова. – Москва : Машиностроение, 2018. – 256 с.
4. Методы расчёта надёжности радиоэлектронных средств : учебное пособие / под ред. Н. Н. Смирнова. – Москва : Радио и связь, 2015. – 288 с.

UDC 621.317.785.5:004.9

DESIGN OF AN INTERACTIVE DUAL ENERGY METER WITH LOAD PROFILING CAPABILITY AND NETWORK INTERFACE

Mayakin G.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD, Yashchuk V.A. – master's degree student, Assistant Professor, Department of Information and Computer Systems Design

Annotation. This work addresses the design of an interactive dual energy meter featuring load profiling capabilities and a network interface. The hardware platform utilized is a demonstration board based on a specialized measurement module, which enables the measurement of electrical parameters for two independent loads using shunts and current transformers. The key design challenges associated with such devices are analyzed, including measurement accuracy, electrical safety, data transmission reliability, and the selection of communication interfaces. A system architecture is proposed, comprising a power section, a measurement module, a power supply system, and interfaces for interaction with external devices. An example implementation of the device is presented, along with a description of its operational characteristics. It is demonstrated that the application of dual-channel measurement and network interfaces enhances the efficiency of energy consumption monitoring and analysis.

Keywords: energy meter, load profile, energy consumption monitoring, power measurement, current transformer, USB interface

УДК 621.396.6.002:621.791.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВОЙ ПАЯЛЬНОЙ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПАЯЛЬНИКА ПРИ МОНТАЖЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Нестерович Е.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье проводится сравнительный анализ эффективности цифровой паяльной станции с микроконтроллерным управлением и традиционного электрического паяльника. Рассматриваются особенности конструкции, точность поддержания температуры и эксплуатационные характеристики устройств. Показано преимущество цифровых систем регулирования в обеспечении качества пайки и надежности электронных компонентов.

Ключевые слова: паяльная станция, паяльник, микроконтроллер.

Введение. Пайка является одним из наиболее распространенных и критически важных технологических процессов в производстве радиоэлектронных средств (РЭС). От качества выполнения паяных соединений напрямую зависят надежность, долговечность и безотказность работы электронных устройств, поскольку именно паяные соединения представляют собой наиболее уязвимый элемент конструкции с точки зрения возникновения отказов в процессе эксплуатации [1, с. 154]. В условиях постоянного усложнения РЭС, миниатюризации компонентов и ужесточения требований к надежности проблема обеспечения высокого качества пайки приобретает особую актуальность.

В современной практике монтажа и ремонта электронной аппаратуры используются два основных типа инструментов для выполнения паяных соединений. Первый тип – традиционный электрический паяльник (рисунок 1), представляющий собой нагревательный элемент, размещенный в металлическом корпусе, с медным жалом, передающим тепло в зону пайки. Мощность такого инструмента фиксирована, температура жала определяется балансом между подводимой тепловой мощностью и теплоотводом в окружающую среду и соединяемые детали [2, с. 26].



Рисунок 1 – Внешний вид традиционного паяльника

Второй тип – цифровая паяльная станция (рисунок 2), включающая в себя блок управления с микроконтроллером, источник питания и паяльник с датчиком температуры.

Микроконтроллер непрерывно отслеживает температуру жала и регулирует мощность нагрева для поддержания заданного значения с точностью до $\pm 5-10^\circ\text{C}$ [3, с. 44].



Рисунок 2 – Пример внешнего вида паяльной станции

Несмотря на очевидные функциональные преимущества паяльных станций (стабилизация температуры, возможность работы с различными типами компонентов, дополнительные сервисные функции), традиционные электрические паяльники остаются наиболее распространенным инструментом благодаря низкой стоимости, простоте конструкции и неприхотливости в эксплуатации [3, с. 27]. При этом в научно-технической литературе практически отсутствуют систематические исследования, посвященные количественному сравнению эффективности данных типов инструментов с точки зрения качества формируемых паяных соединений, производительности труда и надежности конечного изделия. Большинство публикаций сосредоточено на исследовании свойств припоев [4; 5; 7], вопросах усталостной прочности паяных соединений [7] или тепловых характеристиках отдельных элементов паяльного оборудования [2].

Отсутствие систематизированных данных о сравнительной эффективности цифровой паяльной станции и традиционного электрического паяльника создает проблему обоснованного выбора инструмента при организации производства или оснащении ремонтной мастерской, а также затрудняет оптимизацию технологических режимов пайки для каждого типа оборудования.

Целью исследований является экспериментальное сравнение эффективности цифровой паяльной станции и электрического паяльника при монтаже радиоэлектронных устройств на основе количественной оценки качества формируемых паяных соединений и анализа дефектности.

Основная часть. Традиционный электрический паяльник представляет собой простое устройство с нагревательным элементом мощностью 25-60 Вт и, чаще всего, медным жалом с покрытием. Температура жала формируется напрямую мощностью и теплоотдачей, поэтому при работе с массивными элементами она может снижаться на $40-60^\circ\text{C}$, а при длительном нагреве превышать $400-450^\circ\text{C}$, что существенно влияет на качество пайки и срок службы компонентов. Время выхода на рабочую температуру составляет 120-300 секунд, а точность поддержания режима ограничена $\pm 50^\circ\text{C}$ (см. рисунок 1).

Из-за отсутствия системы обратной связи увеличивается риск перегрева или недостаточного прогрева спаиваемого места, особенно при работе с чувствительными

элементами SMD. Средний ресурс жала при активной эксплуатации составляет 1-2 года, после чего появляются механические повреждения или накопление окислов, снижающих эффективность пайки.

Цифровая паяльная станция (см. рисунок 2) решает эти проблемы за счет интеграции термодатчика/термопары и микроконтроллера, управляющего мощностью нагрева через широтно-импульсную модуляцию. В современных моделях мощность жала составляет 50-80 Вт, диапазон регулирования температуры – 200-480°C, а точность поддержания заданного значения достигает $\pm 2^\circ\text{C}$. Время выхода на рабочую температуру составляет всего 15-30 секунд, что ускоряет рабочий процесс и снижает тепловые потери. Система обратной связи мгновенно реагирует на изменение нагрузки, предотвращая перегрев жала и электронных компонентов. Кроме того, в современных паяльных станциях стоит автоматическая защита, которая ограничивает максимальную температуру и отключает питание при превышении 480°C, что повышает безопасность работы.

Чаще всего в паяльных станциях используются никелированные жала, которые в отличие от медных окисляются гораздо меньше, комфорт их использования гораздо выше, а срок службы может достигать от 3 до 5 лет. Также в паяльных станциях не редко используются дополнительные выходы для работы с внешними устройствами, такими как паяльный фен или нагревательный стол для более эффективной работы с SMD компонентами.

Для наглядности представим сравнение изделий в таблице 1:

Таблица 1 – Сравнение характеристик паяльных инструментов

Параметр	Традиционный паяльник	Цифровая паяльная станция
Мощность	25-60 Вт	50-80 Вт
Диапазон температур	200-450°C	200-480°C
Точность поддержания температуры	$\pm 50^\circ\text{C}$	$\pm 2^\circ\text{C}$
Время выхода на рабочую температуру	120-300 сек	15-30 сек
Наличие защиты от перегрева	Нет	Есть, отключение при превышении 480°C
Контроль температуры	Нет	Автоматический, с обратной связью
Ресурс жала	1-2 года при активной эксплуатации	3-5 лет при активной эксплуатации
Тип жала	Медное/ медное с покрытием	Никелированное
Дополнительный функционал	Нет	Фен, нагревающийся стол

Таким образом, цифровая паяльная станция обладает преимуществами в точности поддержания температуры, скорости выхода на режим, долговечности и безопасности, тогда как традиционный паяльник остается более простым решением для нерегулярной или бытовой пайки.

Заключение. Сравнительный анализ показал, что цифровая паяльная станция существенно превосходит традиционный паяльник по точности поддержания температуры, времени выхода на рабочий режим, долговечности и функциональности. Традиционный паяльник целесообразно использовать для простых монтажных и бытовых работ, тогда как цифровая станция необходима при работе с компонентами, чувствительными к температурным колебаниям.

Использование микроконтроллерного управления повышает качество пайки, снижает риск повреждения компонентов и улучшает условия работы пользователя.

Цифровые паяльные станции являются более перспективным направлением развития паяльного оборудования и широко применяются как в профессиональной, так и в учебной деятельности.

1. Тресков, Б.А. Анализ моделей усталостной прочности припоев и паяльных паст / Б.А. Тресков // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций : материалы Всероссийской научно-технической конференции (г. Самара, 21-23 апреля 2020 г.) / Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева ; под ред. А.И. Данилина. – Самара : ООО «Вектор», 2020. – С. 154–155.
2. Московкина, Е. Паяльник или паяльная станция: сложности выбора / Е. Московкина // Технологии в электронной промышленности. – 2015. – Т. 6. – № 82. – С. 44–45.
3. Новоселов, В. Электрический паяльник инженера Сакса. История и современность / В. Новоселов // Компьютерные технологии. – 2000. – № 3. – С. 82–85.
4. Ланин, В.Л. Модификация паяльных паст углеродными наночастицами / В.Л. Ланин, А.В. Слижёва, Д.Ю. Ковалёв // Актуальные проблемы физики, электроники и энергетики : электронный сборник статей II Международной научно-практической конференции, Новополюцк, 14 ноября 2024 г. / Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой. – Новополюцк, 2025. – С. 140–145.
5. Ковалёв, Д.Ю. Упрочнение паяных соединений в электронных модулях / Д.Ю. Ковалёв, А.В. Слижёва, В.Л. Ланин // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций : 21-я Международная молодёжная научно-техническая конференция : сборник научных трудов, Севастополь, 6–10 октября 2025 г. / Севастопольский государственный университет. – Москва-Севастополь : РНТОРЭС им. А.С. Попова : СевГУ, 2025. – № 8. – С. 126.
6. Тресков, Б.А. Анализ моделей усталостной прочности припоев и паяльных паст / Б.А. Тресков // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций : материалы Всероссийской научно-технической конференции (г. Самара, 21-23 апреля 2020 г.) / Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева ; под ред. А.И. Данилина. – Самара : ООО «Вектор», 2020. – С. 154–155.
7. Штенников, В.Н. Исследование тепловых характеристик паяльных стержней / В.Н. Штенников // Метрология. – 2017. – № 2. – С. 26–30.
8. Цифровая паяльная станция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cxem.net/mc/mc55.php>
9. Микроконтроллерные системы управления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cxem.net/mc/mc68.php>
10. Все, что нужно знать о паяльных станциях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://attentionrus.com/knowledgebase/articles/chto-takoe-payalnaya-stantsiya/>

UDC 621.396.6.002:621.791.3

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF A DIGITAL SOLDERING STATION AND AN ELECTRIC SOLDERING IRON IN THE ASSEMBLY OF RADIOELECTRONIC EQUIPMENT

Nesterovich Y.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexeev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This article provides a comparative analysis of the efficiency of a digital microcontroller-controlled soldering station and a traditional electric soldering iron. Design features, temperature control accuracy, and operational characteristics of the devices are discussed. The advantages of digital control systems in ensuring soldering quality and the reliability of electronic components are demonstrated.

Keywords: Soldering station, soldering iron, microcontroller.

УДК 004.942

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ АРЕНДЕ АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО СРАВНЕНИЯ ФОТООТЧЁТОВ

Ничипорчик К.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Бересневич А.И. – магистр техн. наук, ст. преп кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматривается идея разработки специализированной интеллектуальной подсистемы сервиса проката автомобилей, предназначенной для автоматического выявления и классификации повреждений транспортного средства по фотоотчётам арендатора. В фокусе находится не только детекция объектов повреждений на одном изображении, но и доказательная логика сравнения с последующей формализацией рекомендаций по разрешению споров. Предлагается использовать вероятностные методы оценки неопределённости модели для маршрутизации спорных кейсов к человеку-эксперту и сокращения вероятности ошибочного решения. Особое внимание уделяется сопоставлению фотоотчётов по фазам аренды, что позволяет снижать риск ложных выводов, связанных с различиями условий съёмки и фоновым износом. Результаты анализа предполагается представлять в виде структурированного заключения, пригодного для интеграции в учётные сущности поездки и повреждений в цифровом сервисе. Ожидаемый эффект внедрения – ускорение первичной обработки претензий и повышение прозрачности процедуры для арендатора при сохранении возможности ручной проверки в неоднозначных ситуациях.

Ключевые слова: аренда автомобилей, фотоотчёт, повреждения кузова, компьютерное зрение, мультимодальное сравнение «до/после», машинное обучение, оценка неопределённости, человек-в-цикле, активное обучение, разрешение споров.

Введение. В современных сервисах проката автомобилей ключевым элементом обеспечения доверия между арендодателем и арендатором является корректная фиксация состояния машины и понятная процедура обработки заявок о повреждениях. Обычно используются фотоотчёты: в начале аренды клиент предоставляет снимки ключевых зон кузова, а в конце аренды производится повторная фиксация. Далее применяется ручная проверка оператором или экспертом, что приводит к задержкам, затратам времени, субъективности и росту количества эскалаций в спорных ситуациях. При росте объёмов выдач и доли удалённых сценариев, ручная модель обработки становится узким местом, и стимулирует переход к полуавтоматизированным контурам с человеком в цикле.

Задача усложняется тем, что визуально однотипные артефакты могут возникать по причинам, не связанным с повреждениями: блики на лакокрасочном покрытии, грязь, изменения освещения, различия в угле съёмки и качестве камеры. Кроме того, в реальных эксплуатационных сценариях присутствуют элементы износа и пограничные случаи, где автоматическая система должна либо дать уверенный результат, либо распознать недостаток информации и корректно направить кейс на проверку.

Основная часть. В интеллектуальной детекции повреждений по фото и формировании структурированного результата, предлагается рассматривать фотоотчёт как набор изображений, распределённых по зонам кузова и фазам аренды. На первом этапе система должна выявлять повреждения на изображениях. Для этого применимы современные модели компьютерного зрения, обученные на данных именно по автомобильным повреждениям [1].

В отличие от универсальных детекторов, ориентированных на бытовые классы, специализированные модели используют датасеты, где разметка содержит типы повреждений: вмятины, царапины, трещины, разбитое стекло и т.п. [2]. Наличие таких датасетов и предварительно обученных моделей открывает возможность построения производственной

системы для классификации повреждений на каждом изображении и логической связки результатов между фазами [3].

Ключевая идея, заключается в следующем: система формирует карту согласованности доказательств между фазами и на её основе решает, является ли событие новым повреждением, вероятным доарендным состоянием или неоднозначным случаем. Такой подход позволяет перейти от отдельных распознаваний на снимках к целостному сценарию доказательства, который лучше согласуется с логикой в спорах о повреждениях.

Поскольку фото могут отличаться углом и освещением, система использует: метки фаз, а также привязку к зоне, оценку качества снимка, при необходимости – слабую геометрическую нормализацию, например, на основе ключевых ориентиров на кузове или принятой схемы съёмки.

Для каждой зоны система извлекает кандидатов повреждений на изображениях до и после. Далее выполняется сопоставление локальных областей по принципу совпадения: по типу повреждения, по близости или перекрытию локализаций, по устойчивости признаков.

Вместо бинарного правила на наличие повреждения вводится градуированная логика: если повреждение в зоне обнаружено после поездки, но отсутствует перед поездкой при низкой неопределённости и достаточной согласованности – статус: новое повреждение в поездке [4]. Если признаки повреждения видны и перед, и после поездки – статус: вероятное доарендное состояние. Если неопределённость высокая, например, возможны блики, грязь, низкое качество, несогласованные локализации – статус: на проверку экспертом.

Спорные кейсы автоматически отправляются оператору с подготовленным объяснимым пакетом: тип повреждения-кандидата, зона, сопоставление. Фиксация решения эксперта по таким кейсам создаёт обратную связь для последующего улучшения работы системы.

Практическая ценность решения проявляется в том, что алгоритм должен быть встроен в бизнес-поток: пользовательские фотоотчёты формируют набор изображений по фазам, бэкенд инициирует анализ по завершении загрузки или в момент окончания поездки, результаты создают структурированные записи о повреждениях и статусы, при “неоднозначности” запускается процесс экспертной проверки.

Для поддержки разрешения спора важно, чтобы решение было привязано к: конкретной поездке, конкретной зоне или фрагменту кузова, конкретному типу повреждения, статусу уверенности или неопределённости.

Итогом является не просто картинка с рамкой, а управляемый набор данных, который можно использовать для: рекомендации по ответственности, эскалации оператору, формирования прозрачного отчёта арендатору, а при необходимости – сокращённого объяснения правил.

К преимуществам системы можно отнести: сокращение времени первичной обработки претензий за счёт автоматического этапа, снижение субъективности решений благодаря формализованным правилам доказательной логики и учёту неопределённости, повышение прозрачности для арендатора за счёт единого формата отчёта о сравнении фаз, снижение нагрузки на операторов.

Ряд работ и практических проектов в индустрии показывает, что автоматическая оценка состояния автомобиля по изображениям используется в смежных задачах: страховые оценки, инспекция автопарков и мониторинг автомобилей с пробегом. Для этого применяются специализированные датасеты и модели по анализу машин, включая детекцию, вмятины, царапины, разбитое стекло [5].

В то же время публикации, в которых детекция повреждений доводится до уровня процедуры разрешения спора с доказательной логикой сравнения, оценкой неопределённости и минимизации ложных выводов. Такие публикации и открытые продуктовые внедрения описаны в меньшей степени, что обуславливает актуальность предлагаемой интеграции методов компьютерного зрения в операционный контур проката. Предлагаемый подход делает шаг от распознавания дефекта к управляемой модели принятия решения в контуре сервиса аренды.

Заключение. Разработка интеллектуальной системы автоматической классификации повреждений и поддержки разрешения споров при аренде автомобилей на основе мультимодального сравнения фотоотчётов «до/после» является перспективным направлением повышения эффективности и доверия в сервисах проката. Предложенная новизна заключается в вероятностном механизме согласованности доказательств между фазами, использовании методов оценки неопределённости для снижения риска ошибочной атрибуции и применении активного дообучения на спорных кейсах. Это позволяет ускорить обработку претензий, сократить нагрузку на операторов и повысить прозрачность процесса для арендатора, сохраняя возможность экспертного контроля в неоднозначных ситуациях.

Список литературы

1. Егенбердиев Д.Ю., Тасполат Е.А. Разработка системы обнаружения повреждений автомобиля с использованием свёрточных нейронных сетей / Д.Ю. Егенбердиев, Е.А. Тасполат // Актуальные исследования. – 2022. – № 26 (105). – С. 6–15.
2. Тарасова М., Филькин Н., Юртиков Р. Бесконтактная автоматизированная экспресс-оценка повреждений кузова автомобиля по визуальным параметрам / М. Тарасова, Н. Филькин, Р. Юртиков // НАУКА и ТЕХНИКА. – 2019. – Т. 18, № 6. – С. 471–475. – DOI: 10.21122/2227-1031-2019-18-6-471-475.
3. Wang X., Li W., Wu Z. CarDD: A New Dataset for Vision-based Car Damage Detection. (электронный ресурс): <https://cardd-ustc.github.io/> (дата обращения: 06.03.2026).
4. Roboflow Universe. Car Damage Images Dataset (scratch, dent, broken glass и др.). <https://universe.roboflow.com/car-damage-kadad/car-damage-images> (дата обращения: 06.03.2026).
5. Hugging Face. vineetsarpal/yolov11n-car-damage – car damage detection (14 damage categories). <https://huggingface.co/vineetsarpal/yolov11n-car-damage> (дата обращения: 06.03.2026).

UDC 004.942

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR AUTOMATIC CAR-DAMAGE CLASSIFICATION AND DISPUTE SUPPORT USING MULTIMODAL PHOTO COMPARISON WITH UNCERTAINTY ESTIMATION AND ACTIVE LEARNING

Nichyporchyk K.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Beresnevich A.I. – Master of Tech. Sci., Senior Lecturer at the Department of PICS

Annotation. The article discusses the idea of developing a specialized intelligent subsystem for a car rental service designed to automatically detect and classify vehicle damage based on renters' photo reports. The focus is not only on detecting damage objects in a single image, but also on an evidentiary comparison logic with subsequent formalization of recommendations for dispute resolution. It is proposed to use probabilistic methods for estimating model uncertainty to route ambiguous cases to a human expert and reduce the likelihood of erroneous decisions. Particular attention is paid to matching photo reports across rental phases, which helps lower the risk of false conclusions related to differences in shooting conditions and background wear. The analysis results are expected to be presented as a structured assessment suitable for integration into trip and damage records in a digital rental service. The expected benefit of deployment is faster primary processing of claims and greater transparency of the procedure for the renter, while retaining the possibility of manual review in ambiguous situations.

Keywords: car rental, photo report, vehicle body damage, computer vision, multimodal before/after comparison, machine learning, uncertainty estimation, human-in-the-loop, active learning, dispute resolution.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕГИСТРАТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ С ИНТЕРФЕЙСОМ USB И ПРОГРАММНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ ДАННЫХ НА БАЗЕ AVTduino UNO R4 С ПОДДЕРЖКОЙ ETHERNET И POE

Сидоревич М.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Яцук В.А. – магистр, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы проектирования регистратора температуры с интерфейсом USB и возможностью программной визуализации данных. В качестве аппаратной платформы используется AVTduino UNO R4 с Ethernet-интерфейсом и поддержкой питания по технологии PoE. Проанализированы основные проблемы разработки подобных устройств, включая точность измерений, устойчивость передачи данных и энергопитание. Предложена архитектура системы, включающая датчики температуры, микроконтроллерный модуль и программное обеспечение визуализации. Рассмотрен пример реализации устройства и приведены результаты его работы. Показано, что использование Ethernet и PoE позволяет повысить надёжность и масштабируемость системы мониторинга.

Ключевые слова: микроконтроллер, AVTduino UNO R4, регистратор температуры, Ethernet, PoE, USB, IoT, визуализация данных

Введение. Современные системы мониторинга температуры широко применяются в промышленности, энергетике, сельском хозяйстве и научных исследованиях. Особенно актуальны компактные и недорогие решения на базе микроконтроллеров, способные обеспечивать сбор, хранение и передачу данных в реальном времени [1].

С развитием концепции интернета вещей (IoT) возрастают требования к функциональности таких устройств. Помимо базовой регистрации температуры, необходимо обеспечивать удалённый доступ к данным, визуализацию параметров и интеграцию в сетевую инфраструктуру. В этом контексте перспективным является использование платформы AVTduino UNO R4 совместно с Ethernet-модулями и технологией питания PoE [2].

Однако разработка подобных систем сопряжена с рядом технических проблем: обеспечение точности измерений, устойчивость передачи данных, оптимизация энергопотребления и разработка удобного программного интерфейса [1–13].

Целью данной работы является разработка и анализ архитектуры микроконтроллерного регистратора температуры с интерфейсами USB и Ethernet, а также исследование особенностей его практической реализации.

Основная часть. В основу разработки положена типовая архитектура Ethernet PoE-модуля, реализованная с использованием контроллера W5500 и изолированного преобразователя питания [7].

Принципиальная схема устройства включает входной разъём RJ-45, через который одновременно подаются данные и питание напряжением порядка 48 В. Питание поступает на PoE-модуль, соответствующий стандарту IEEE 802.3af, где происходит его детекция, классификация и преобразование в стабилизированное напряжение 12 В [8].

Далее напряжение подаётся на линейные стабилизаторы, формирующие уровни 5 В и 3,3 В для питания микроконтроллера и Ethernet-контроллера. Для защиты от перенапряжений применяются TVS-диоды, а для фильтрации помех используются керамические и электролитические конденсаторы, размещённые вблизи выводов питания микросхем [9].

Измерительный канал реализован на цифровом датчике температуры, подключённом к микроконтроллеру через однопроводный интерфейс. Обработка данных осуществляется программно, после чего результаты передаются либо через USB, либо через Ethernet в виде TCP/IP пакетов [10].

Проектируемая печатная плата выполнена из стеклотекстолита FR-4 толщиной 1,6 мм с медным покрытием толщиной 0,035 мм. Плата двухсторонняя, 3-го класса точности, с шагом координатной сетки 0,25 мм.

Паразитная ёмкость между проводниками рассчитывается с учётом диэлектрической проницаемости основания, длины перекрытия и геометрических размеров проводников, что особенно важно для высокочастотных цепей Ethernet. Минимальная ширина проводников для цепей питания по результатам расчёта составляет 0,214 мм, однако с учётом технологического запаса принято значение 0,3 мм. Для сигнальных цепей используется ширина 0,2 мм [7].

Индуктивность печатных проводников и сопротивление изоляции оказывают влияние на стабильность работы устройства, особенно при передаче высокоскоростных сигналов. При этом изменение диэлектрических свойств материала платы под воздействием температуры и влажности может приводить к значительным потерям энергии, достигающим значительных значений от расчётной мощности схемы [8].

Расчёт ёмкости печатной платы выполняется через суммарную площадь проводников и толщину основания, что позволяет оценить распределённые параметры схемы и их влияние на работу устройства.

При работе устройства выделяется тепловая мощность порядка 2 Вт, обусловленная работой микроконтроллера, Ethernet-контроллера и стабилизаторов.

Расчёт показал, что перегрев корпуса составляет около 10,7 К, а температура нагретой зоны достигает 52,4 °С при температуре окружающей среды 40 °С (рисунок 1) [9].

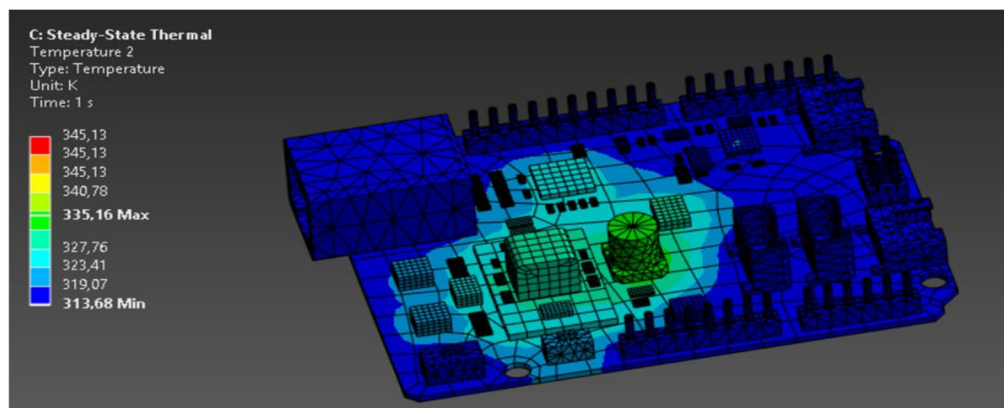


Рисунок 1 – Результат моделирования тепловых процессов в Ansys

Полученные значения находятся ниже допустимых температур для элементной базы, что подтверждает возможность эксплуатации устройства без применения активного охлаждения. Естественная конвекция через перфорированный корпус обеспечивает достаточный теплоотвод.

Надёжность устройства определяется суммарной интенсивностью отказов всех элементов, которая рассчитывается как сумма интенсивностей отказов отдельных компонентов с учётом их количества [10].

Для резисторов принята базовая интенсивность отказов порядка $3 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$ при коэффициенте нагрузки 0,5, а общее количество элементов составляет несколько десятков.

В результате расчёта получена средняя наработка на отказ порядка 7463 часов и вероятность безотказной работы за 15000 часов около 0,13.

Полученное значение является недостаточным для серийного изделия, что требует применения компонентов повышенной надёжности либо сокращения срока службы устройства.

Разработанный регистратор температуры обеспечивает стабильное измерение параметров среды и передачу данных по двум независимым каналам связи. Использование Ethernet позволяет интегрировать устройство в локальную сеть и реализовать удалённый мониторинг, тогда как USB обеспечивает удобство локальной настройки и диагностики.

Применение PoE существенно упрощает установку устройства и снижает требования к инфраструктуре, поскольку исключается необходимость отдельного источника питания.

Заключение. В ходе работы разработан микроконтроллерный регистратор температуры с интерфейсами USB и Ethernet и поддержкой питания PoE. Проведённый схемотехнический анализ показал целесообразность использования стандартных Ethernet-решений на базе контроллера W5500 и PoE-модулей.

Выполненный тепловой анализ показал допустимость работы устройства в заданных условиях без дополнительного охлаждения.

Расчёт надёжности выявил необходимость повышения качества элементной базы, что является важным направлением дальнейшей доработки устройства.

В целом предложенное решение может быть использовано в учебных и инженерных задачах, связанных с разработкой распределённых измерительных систем.

Список литературы

1. Электронные измерительные системы / А. А. Сидоров. – Москва : Наука, 2020. – С. 156-164
2. Arduino UNO R4 Datasheet [Электронный ресурс]. – Arduino SA. – Режим доступа: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-r4> – Дата доступа: 28.03.2026.
3. Алексеев, В. Ф. Определение целевых функций и их ограничений в задачах оптимизации при генеративном проектировании = *Determination of objective functions and their constraints in optimization problems in generative design* / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // Big Data и анализ высокого уровня = *Big Data and Advanced Analytics* : сборник научных статей XI Международной научно-практической конференции, Республика Беларусь, Минск, 23–24 апреля 2025 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2025. – С. 487–494.
4. Алексеев, В. Ф. Прототипирование и концептуальное проектирование средств медицинской электроники = *Prototyping and conceptual design of medical electronics* / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // Медэлектроника–2024. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сборник научных статей XIV Международной научно-технической конференции, Минск, 5–6 декабря 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.]. – Минск, 2024. – С. 202–206.
5. Моделирование и оптимальное проектирование технических систем : учебно-методическое пособие / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун, В. В. Шаталова. – Минск : БГУИР, 2024. – 99 с.
6. Алексеев, В. Ф. Принципы конструирования и автоматизации проектирования РЭУ: Учеб. пособие / В. Ф. Алексеев. – Мн.: БГУИР, 2003. – 197 с.
7. W5500 Ethernet Controller Datasheet [Электронный ресурс] / WIZnet Co., Ltd. – Режим доступа: <https://wiznet.io/products/ethernet-chips/w5500> – Дата доступа: 28.03.2026.
8. IEEE 802.3af Standard. Power over Ethernet [Электронный ресурс] / IEEE Standards Association. – Режим доступа: https://standards.ieee.org/standard/802_3af-2003.html – Дата доступа: 28.03.2026.
9. Silvertel PoE Modules Guide [Электронный ресурс] / Silvertel Ltd. – Режим доступа: <https://www.silvertel.com> – Дата доступа: 28.03.2026.
10. Стивенс, У. Р. TCP/IP Illustrated. Volume 1: The Protocols / У. Р. Стивенс. – Boston : Addison-Wesley, 2011. – 768 с.
11. Основы проектирования печатных плат : учебное пособие / под ред. В. В. Кузнецова. – Москва : Машиностроение, 2018. – 256 с.
12. Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1 : Тепловые режимы работы и защиты конструкций РЭС от механических воздействий : пособие / В. Ф. Алексеев, И. Н. Богатко, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2017. – 124 с.
13. Методы расчёта надёжности радиоэлектронных средств : учебное пособие / под ред. Н. Н. Смирнова. – Москва : Радио и связь, 2015. – 288 с.

UDC 621.3.049.77:004.318

DESIGN OF A TEMPERATURE DATA LOGGER WITH USB INTERFACE AND DATA VISUALIZATION USING ARDUINO UNO R4 WITH ETHERNET AND POE SUPPORT

Sidorevich M.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yashchuk V.A. – Master of Sci., Assistant Professor, Department of Information and Computer Systems Design

Annotation. This paper presents the design of a microcontroller-based temperature data logger with a USB interface and software-based data visualization. The system is based on the Arduino UNO R4 platform with Ethernet connectivity and Power over Ethernet (PoE) support. Key challenges such as measurement accuracy, data transmission reliability, and power supply are analyzed. The proposed system architecture includes temperature sensors, a microcontroller unit, and visualization software. A prototype implementation is described, demonstrating stable operation and effective data handling.

Keywords: microcontroller, AVTDuino UNO R4, temperature logger, Ethernet, PoE, USB, IoT, data visualization

ОБЗОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОСТРОЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОРОВ И СИСТЕМ СВЯЗИ НА ИНТЕРФЕЙСАХ RS-422 И RS-485

Трутнев Н. А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье рассматриваются методы построения систем связи на базе интерфейсов RS-422 и RS-485, широко применяемых в промышленной автоматике. Проведен анализ топологий сетей, способов согласования линий и организации многоточечного обмена. Особое внимание уделено принципам построения концентраторов и ретрансляторов сигналов. Рассмотрены аппаратные решения на основе современных микросхем трансиверов. Сделан вывод о перспективах применения данных интерфейсов в распределённых системах управления.

Ключевые слова: концентратор, интерфейсы RS-422 и RS-485, промышленная автоматика, ретрансляторы, топология сети

Введение. Интерфейсы RS-422 и RS-485 являются одними из наиболее распространённых стандартов передачи данных на физическом уровне в промышленных сетях. Их популярность обусловлена высокой помехоустойчивостью, возможностью передачи данных на большие расстояния и простотой реализации. В современных системах автоматизации часто возникает задача объединения множества устройств в единую сеть, что требует применения концентраторов и ретрансляторов. При этом важную роль играют вопросы согласования линий, топологии сети и обеспечения надёжности передачи данных.

Несмотря на стремительное развитие беспроводных и высокоскоростных интерфейсов передачи данных (USB, Ethernet, Wi-Fi), интерфейсы RS-422 и RS-485 сохраняют свое значение как базовая технология для построения надежных систем промышленной связи.

RS-422 и RS-485 основаны на принципе дифференциальной (балансной) передачи сигнала, что обеспечивает их принципиальное преимущество перед устаревшим RS-232. В отличие от RS-232, где сигнал измеряется относительно общего провода (GND) и легко подвержен помехам, дифференциальная передача использует пару проводов (D+ и D-), а логический уровень определяется разностью потенциалов между ними. Это делает интерфейсы RS-422 и RS-485 высокоустойчивыми к синфазным помехам и электромагнитным наводкам, что критически важно для промышленных сред с высоким уровнем шумов.

Ключевыми преимуществами рассматриваемых интерфейсов являются возможность передачи данных на расстояние до 1200 метров (против 15 метров у RS-232) и поддержка многоточечной топологии. RS-422 поддерживает связь типа «один передатчик – несколько приемников» (до 10 устройств), в то время как RS-485 позволяет организовывать полноценные многоточечные сети, объединяющие до 32, а с использованием современных приемопередатчиков – до 256 узлов в одной шине. Это позволяет строить распределенные системы сбора данных и управления территориально распределенными объектами.

Актуальность темы подтверждается устойчивым ростом рынка. Согласно аналитическим данным, глобальный рынок RS-485/RS-422 трансиверов в 2026 году оценивается примерно в 200 млн долларов США с прогнозируемым среднегодовым темпом роста 5,4% до 2033 года, что обусловлено ростом промышленной автоматизации и внедрением интеллектуальных сетей (Smart Grid). Рынок последовательных шлюзов для подключения RS-устройств к сотовым сетям демонстрирует еще более высокие темпы роста – ожидаемый CAGR составляет 15,7% в 2026 году, что свидетельствует о высокой востребованности решений для интеграции legacy-оборудования в современные IoT-экосистемы.

Основная часть. Интерфейс RS-422 предназначен для организации связи между устройствами по схеме «точка-точка» или «один передатчик – несколько приёмников». Он использует дифференциальную передачу сигналов, что позволяет значительно повысить устойчивость к электромагнитным помехам. Передача осуществляется по витой паре проводников, благодаря чему снижается влияние внешних наводок. Получается передавать данные на расстояния до нескольких сотен метров и более при снижении скорости передачи.

Интерфейс RS-485 является развитием RS-422 и отличается возможностью организации многоточечной связи. В такой сети несколько устройств могут подключаться к одной линии и обмениваться данными поочередно. Это делает RS-485 особенно удобным для построения распределённых систем управления. Однако при этом возникает необходимость управления доступом к линии, чтобы исключить одновременную передачу нескольких устройств [1].

При построении сетей на базе указанных интерфейсов используются различные топологии [2, 3]. Наиболее распространённой является линейная топология по-другому шина, при которой все устройства подключаются к одной магистрали. Также применяется звездообразная структура, реализуемая с помощью концентраторов, древовидная топология, представляющая собой комбинацию нескольких сегментов, ячеистая и линейная топологии. Выбор топологии оказывает существенное влияние на надёжность и качество передачи сигналов. В частности, линейная топология обеспечивает минимальное количество отражений при правильном согласовании линии, однако чувствительна к обрывам, поскольку выход из строя одного участка может привести к нарушению работы всей сети. Звездообразная структура упрощает локализацию неисправностей и повышает управляемость сети, но требует использования дополнительных активных устройств и может приводить к усложнению схемы согласования. Древовидная топология позволяет комбинировать преимущества различных подходов, обеспечивая гибкость при построении разветвлённых систем, однако при этом возрастает сложность расчёта параметров линии и обеспечения стабильной передачи данных. Кроме того, при выборе топологии необходимо учитывать влияние паразитных ёмкостей и индуктивностей кабеля, а также особенности распределения нагрузки между узлами сети, что непосредственно отражается на допустимой длине сегментов и скорости передачи информации.

Одной из ключевых проблем при передаче данных по длинным линиям является возникновение отражений сигнала, которые появляются при несогласовании параметров линии и нагрузки. Для устранения этого эффекта используются согласующие резисторы, устанавливаемые на концах линии.

Концентраторы в системах связи выполняют функции объединения нескольких сегментов сети и восстановления сигналов. Они позволяют увеличить протяжённость сети, повысить её устойчивость к помехам и обеспечить более гибкую структуру подключения устройств. В состав концентратора входят трансиверы, обеспечивающие преобразование сигналов, а также схемы управления и элементы питания. В ряде случаев применяются средства гальванической развязки, повышающие безопасность и надёжность работы системы [4].

Современные аппаратные решения для реализации интерфейсов RS-422 и RS-485 представлены специализированными микросхемами трансиверов [5]. Такие устройства обеспечивают необходимый уровень сигнала, защиту от перегрузок и устойчивость к внешним воздействиям. Они поддерживают различные режимы работы, включая полудуплексный и полный дуплекс, и могут использоваться в широком диапазоне условий эксплуатации. В состав подобных микросхем, как правило, входят дифференциальные драйверы и чувствительные приёмники, обеспечивающие корректную работу при наличии помех и значительных длинах линии связи. Дополнительно реализуются функции ограничения скорости нарастания сигналов, что позволяет снизить уровень электромагнитных излучений и уменьшить влияние отражений в линии. Многие современные трансиверы имеют встроенные схемы защиты от электростатических разрядов, короткого замыкания и перегрева, что повышает общую надёжность системы. Также предусматриваются режимы пониженного

энергопотребления, позволяющие использовать устройства в энергоограниченных системах. Хорошим примером трансивера является микросхемы MAX489CSD, представляющая собой маломощный приемопередатчик (трансивер) от Maxim Integrated, предназначенный для интерфейсов RS-485 и RS-422, обеспечивающий дуплексную связь. Микросхема работает на скорости до 250 кбит/с, имеет по одному драйверу и приемнику, используется для передачи данных на большие расстояния в промышленных сетях.

При проектировании систем необходимо учитывать взаимосвязь между длиной линии связи и скоростью передачи данных. Увеличение длины линии приводит к необходимости снижения скорости передачи для обеспечения корректной работы системы. Также важно учитывать количество подключённых устройств, так как это влияет на электрические параметры линии.

Заключение. Интерфейсы RS-422 и RS-485 продолжают широко использоваться в промышленной автоматике и системах управления благодаря своей надёжности и устойчивости к помехам. Особенно востребован интерфейс RS-485, который позволяет строить многоточечные сети с относительно простой архитектурой. Применение концентраторов и ретрансляторов даёт возможность расширять сеть и повышать её функциональные возможности. Ключевыми факторами успешного проектирования являются правильный выбор топологии, обеспечение согласования линии и защита от внешних воздействий. Современные микросхемы значительно упрощают разработку подобных систем и позволяют создавать эффективные и надёжные решения.

Список литературы

1. В чем отличия интерфейсов RS-232, RS-422 и RS-485? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ipc2u.ru/articles/prostye-resheniya/otlichiya-interfeysov-rs-232-rs-422-rs-485/>. – Дата доступа: 20.03.2026.
2. Виды топологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/8905649/page:14/>. – Дата доступа: 21.03.2026.
3. Олифер, В. Г. Компьютерные сети : принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – Юбилейное изд., доп. и испр. - Санкт-Петербург : Питер, 2024. – 1008 с.
4. Что такое гальваническая развязка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.shtyl.ru/support/articles/chto-takoe-galvanicheskaya-razvyazka/?srsltid=AfmBOoqTVwVMqjYmy0NTxD6HJpbvoW2Fu4MWPv-aUjcvVNEuOtuoLG1e>. – Дата доступа: 21.03.2026.
5. Что такое трансивер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://landcomm.ru/blog/chto-takoe-transiver/>. – Дата доступа: 26.03.2025.

UDC 004.7 + 621.3.049.77

REVIEW OF METHODS AND TOOLS FOR CONSTRUCTING CONCENTRATORS AND COMMUNICATION SYSTEMS ON RS-422 AND RS-485 INTERFACES

Trutnev N. A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This article examines methods for constructing communication systems based on RS-422 and RS-485 interfaces, which are widely used in industrial automation. It analyzes network topologies, methods for line matching, and the organization of multipoint exchanges. Particular attention is paid to the design principles of signal concentrators and repeaters. Hardware solutions based on modern transceiver microcircuits are discussed. A conclusion is drawn regarding the potential for using these interfaces in distributed control systems.

Keywords: hub, RS-422 and RS-485 interfaces, industrial automation, repeaters, network topology

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫЙ РЕВЕРСИВНЫЙ ЧАСТОТОМЕР С ГРАФИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИЕЙ И АППАРАТНЫМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ НАПРАВЛЕНИЯ СЧЁТА

Василевский П.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Яцук В.А. – магистр, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы построения реверсивного частотомера, включая разработку структурной схемы устройства, методы формирования квадратурных сигналов и реализацию реверсивного счёта на аппаратных таймерах микроконтроллера. Проведено сравнение методов измерения частоты (прямого, обратного и комбинированного), показаны преимущества реверсивного метода. Описана организация вывода информации на графический дисплей с отображением частоты, направления счёта и гистограммы изменения сигнала. Показано, что предложенные решения обеспечивают высокую точность, наглядность и эффективность работы устройства.

Ключевые слова: реверсивный частотомер, измерение частоты, реверсивный счёт, квадратурные сигналы, методы измерения частоты, точность измерений, графический дисплей, отображение данных.

Введение. Современные методы измерения частоты сигналов основаны на цифровой обработке импульсных последовательностей и позволяют получать точные значения частоты, периода и временных интервалов. В отличие от устаревших аналоговых методов, современные электронные частотомеры используют микропроцессорную и цифровую элементную базу, что обеспечивает высокую точность измерений, расширенный функционал и возможность автоматической обработки результатов [1–4].

С развитием цифровой электроники и измерительных систем возрастают требования к функциональности частотомеров. Помимо базового измерения частоты, устройства должны обеспечивать широкий диапазон измерений, высокую разрешающую способность, устойчивость к помехам и возможность работы в различных режимах, включая реверсивный счёт. Перспективным является использование высокостабильных опорных генераторов, цифровых счётчиков и современных схемных решений.

Целью данной работы является разработка и анализ конструкции реверсивного частотомера, а также исследование особенностей его практической реализации с обеспечением высокой точности, надёжности и стабильности работы.

Основная часть. Существует несколько основных методов измерения частоты, каждый из которых имеет свои особенности и области применения.

Метод прямого счёта основан на подсчёте количества импульсов входного сигнала за фиксированный интервал времени, формируемый опорным генератором. Этот метод отличается простотой реализации и высокой точностью при измерении высоких частот, поскольку за время измерения накапливается большое количество импульсов. Однако при низких частотах его точность существенно снижается из-за малого числа отсчётов, что приводит к увеличению относительной погрешности.

Метод обратного счёта (измерение периода) заключается в измерении времени между двумя соседними импульсами входного сигнала с использованием высокостабильного опорного генератора. Такой подход обеспечивает высокую точность при низких частотах, так как измеряется длительный временной интервал. Недостатком является снижение точности на высоких частотах, а также повышенные требования к быстродействию измерительной системы.

Комбинированный метод объединяет преимущества двух предыдущих: в зависимости от диапазона частот автоматически выбирается либо прямой счёт, либо измерение периода. Это позволяет обеспечить более равномерную точность во всём диапазоне измерений, однако усложняет схемотехнику и алгоритмы обработки данных.

В реверсивном частотомере используется усовершенствованный подход, близкий к комбинированному методу, но с применением реверсивного счёта и синхронизации измерительного интервала с фронтами входного сигнала. Это позволяет уменьшить погрешность квантования и повысить точность измерений как на низких, так и на высоких частотах.

К основным преимуществам такого подхода относятся более высокая точность во всём диапазоне измерений, снижение влияния нестабильности временного окна, улучшенная помехоустойчивость за счёт синхронизации с входным сигналом, а также возможность определения направления изменения сигнала. Благодаря этому реверсивный частотомер обеспечивает более стабильные и достоверные результаты по сравнению с классическими методами измерения частоты.

Структурная схема реверсивного частотомера включает несколько функциональных узлов, обеспечивающих обработку входного сигнала и вычисление его частотных параметров. Входной сигнал поступает на формирователь, где происходит его преобразование в последовательность прямоугольных импульсов с заданными уровнями напряжения. Далее сигнал подаётся на счётный узел, состоящий из цифровых счётчиков, которые осуществляют накопление импульсов за определённый временной интервал, задаваемый опорным генератором. Опорный генератор формирует стабильную временную базу, определяющую точность измерения. Управляющий блок синхронизирует процессы запуска и остановки счёта, а также переключение режимов работы. Полученные данные передаются в блок обработки, где вычисляется значение частоты, после чего результат выводится на индикатор или передаётся во внешние системы.

Реализация реверсивного счётчика на аппаратных таймерах микроконтроллера основана на использовании встроенных периферийных модулей, предназначенных для подсчёта внешних импульсов и обработки сигналов с минимальной нагрузкой на центральное ядро. В большинстве современных микроконтроллеров таймеры могут работать в режиме счётчика, принимая импульсы с внешнего входа и инкрементируя или декрементируя своё значение в зависимости от управляющих сигналов.

Для организации реверсивного счёта входной сигнал подаётся на один из каналов таймера, настроенного в режим внешнего тактирования. Одновременно второй вход используется для определения направления счёта. В случае применения квадратурных сигналов (А и В) аппаратный таймер может работать в специальном режиме энкодера, при котором направление определяется автоматически на основе фазового сдвига между сигналами. Если сигнал А опережает сигнал В, таймер увеличивает значение счётчика, если отстаёт – уменьшает.

Аппаратные таймеры обеспечивают высокую точность и быстродействие, так как обработка сигналов выполняется на уровне периферии без участия процессора. Это позволяет измерять частоты в широком диапазоне и минимизировать влияние программных задержек. Дополнительно таймер может быть связан с другим таймером или внутренним генератором, формирующим временное окно измерения, по окончании которого текущее значение счётчика фиксируется и используется для вычисления частоты.

Для повышения надёжности работы используются встроенные фильтры входных сигналов и схемы подавления дребезга, что особенно важно при работе с реальными источниками импульсов. Также возможна генерация прерываний при переполнении счётчика или завершении измерительного интервала, что позволяет организовать обработку результатов и дальнейшую передачу данных.

Вывод частоты осуществляется в цифровом виде с учётом выбранного диапазона и разрешения измерений. Значение может автоматически масштабироваться (Гц, кГц, МГц), что

позволяет удобно отображать как низкие, так и высокие частоты без перегрузки экрана. Для повышения читаемости используются крупные шрифты и обновление значения производится с учётом завершения измерительного интервала.

Направление счёта отображается с помощью графических индикаторов, например стрелок или символов, указывающих увеличение или уменьшение счётного значения. Это особенно важно при работе с реверсивным режимом, где необходимо оперативно отслеживать изменение входного сигнала.

Для реализации вывода используется контроллер графического дисплея, взаимодействующий с микроконтроллером по интерфейсам SPI или I2C. Программная часть включает формирование кадров изображения, буферизацию данных и оптимизацию обновления экрана для снижения нагрузки на систему. В результате обеспечивается информативный и удобный интерфейс, повышающий эффективность работы с устройством.

Заключение. В результате рассмотрения структурной организации реверсивного частотомера, методов формирования квадратурных сигналов, реализации реверсивного счёта на аппаратных таймерах микроконтроллера, а также сравнения методов измерения частоты, установлено, что применение реверсивного принципа счёта позволяет существенно повысить точность измерений во всём диапазоне частот. Использование аппаратных возможностей микроконтроллера обеспечивает высокое быстродействие и снижает нагрузку на программную часть, а применение квадратурных сигналов позволяет корректно определять направление изменения сигнала.

Список литературы

1. *Reciprocal Frequency Counter / Charles Kosina // Practical Electronics*. – 2024. – № 7. – С. 30-36.
2. Лежнев, А.В. Цифровые измерительные системы учета электроэнергии: учебное пособие / А.В. Лежнев. – Екатеринбург: УрФУ, 2010. – 88 с.
3. *Основы проектирования печатных плат : учебное пособие / под ред. В. В. Кузнецова*. – Москва : Машиностроение, 2018. – 256 с.
4. *Методы расчёта надёжности радиоэлектронных средств : учебное пособие / под ред. Н. Н. Смирнова*. – Москва : Радио и связь, 2015. – 288 с.

UDC 621.3.049.77:004.318

MICROCONTROLLER-BASED REVERSIBLE FREQUENCY COUNTER WITH GRAPHICAL DISPLAY AND HARDWARE-BASED DETERMINATION OF COUNTING DIRECTION

Vasileuski P.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

*Yashchuk V.A. – master's degree student, Assistant Professor, Department of Information
and Computer Systems Design*

Annotation. The paper considers the principles of designing a reciprocal frequency counter and the features of its implementation based on modern electronic components. Particular attention is paid to ensuring high measurement accuracy through the use of a reversible counting method, hardware timers of a microcontroller, and quadrature signal generation for direction detection.

Various frequency measurement methods are analyzed, and the chosen approach is justified as it reduces measurement error over a wide frequency range. The organization of data output to a graphical display is also discussed, providing clear and informative visualization of measurement results. It is shown that the proposed solutions improve the efficiency and reliability of the device.

Keywords: reciprocal frequency counter, frequency measurement, reversible counting, quadrature signals, frequency measurement methods, measurement accuracy, graphical display.

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТОДОМ УЗЛОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ СРЕДСТВАМИ MATLAB

Вильтовская А.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Шилин Л.Ю. – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры ИТАС

Аннотация. Рассмотрено применение метода узловых напряжений для анализа линейных электрических цепей постоянного тока. Предложена автоматизация расчета параметров цепи путем формирования системы уравнений и ее решения в среде MATLAB. Показано, что матричная форма записи уравнений позволяет эффективно реализовать вычислительную процедуру. Предложенный подход сокращает время вычислений и минимизирует вероятность арифметических ошибок на этапе проектирования, что подтверждается численным решением для тестовой схемы.

Ключевые слова: метод узловых напряжений, MATLAB, линейные электрические цепи, автоматизация проектирования

Введение. Современные задачи проектирования радиоэлектронных средств требуют быстрого и точного анализа электрических режимов работы схем. Классические методы расчета цепей постоянного тока (методы контурных токов, узловых напряжений, эквивалентного генератора) при ручном счете трудоемки и подвержены арифметическим ошибкам. Наиболее универсальным для компьютерной реализации является метод узловых напряжений (МУН) [1].

В данной статье автором показано, что применение среды MATLAB с ее встроенными средствами матричной алгебры позволяет полностью автоматизировать процесс формирования и решения системы уравнений МУН.

Основная часть. При реализации автоматизированного расчета необходимо решить следующие задачи:

- построить математическую модель цепи в матричной форме;
- разработать алгоритм формирования матрицы узловых проводимостей и вектора узловых токов;
- выполнить численное решение и интерпретировать результаты.

Сущность метода узловых напряжений сводится к определению напряжений относительно некоторого базисного узла. Если принять потенциал базисного узла равным нулю, то разность потенциалов между остальными узлами и базисным узлом будет равна напряжению между этими узлами. Зная напряжения, можно найти токи в ветвях [2].

Для демонстрации реализации конкретной задачи используем схему электрической цепи, представленной на рисунке 1.

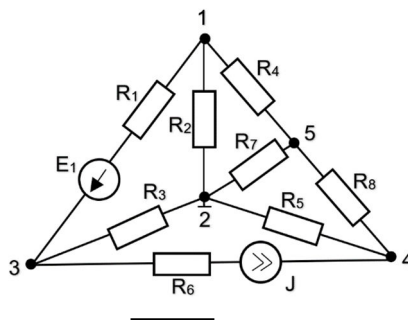


Рисунок 1 – Схема электрической цепи

В общем случае система уравнений записывается в матричной форме по формуле 1:

$$Y * U = I, \quad (1)$$

где Y – матрица узловых проводимостей;

U – вектор узловых напряжений;

I – вектор токов источников.

Для данной цепи после выбора базисного узла (узел 2) система уравнений будет иметь вид, представленный формулой 2:

$$\begin{cases} U_{12} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} \right) - U_{32} \frac{1}{R_1} - U_{52} \frac{1}{R_4} = -\frac{E_1}{R_1} \\ -U_{12} \frac{1}{R_1} + U_{32} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{E_1}{R_1} - J \\ -U_{12} \frac{1}{R_4} + U_{52} \left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_8} \right) - U_{42} \frac{1}{R_8} = 0 \\ -U_{52} \frac{1}{R_8} + U_{42} \left(\frac{1}{R_8} + \frac{1}{R_5} \right) = J \end{cases} \quad (2)$$

где $\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} \right)$ – собственная узловая проводимость узла 1;

$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right)$ – собственная узловая проводимость узла 3;

$\left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_8} \right)$ – собственная узловая проводимость узла 5;

$\left(\frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_8} \right)$ – собственная узловая проводимость узла 4;

$\frac{1}{R_1}, \frac{1}{R_4}, \frac{1}{R_8}$ – проводимость ветви, соединяющей узлы 1 и 3, 1 и 5, 4 и 5;

$-\frac{E_1}{R_1}, \frac{E_1}{R_1} - J, J$ – узловые токи узлов 1, 3, 4;

$U_{12}, U_{32}, U_{42}, U_{52}$ – напряжения между узлами 1, 3, 4, 5 и базисным узлом 2.

Для автоматизированного решения системы формируется матрица проводимостей Y и вектор правых частей I . Листинг программы включает задание параметров элементов, формирование матриц и решение системы с использованием оператора обратной косой черты ($\backslash$), который реализует метод Гаусса с учётом разреженности матрицы:

1 Задание параметров:

$R1 = 100; R2 = 200; R3 = 150; R4 = 100; R5 = 300; R7 = 250; R8 = 180;$

$E1 = 10; J = 0.05;$

2 Формирование матрицы проводимостей Y :

$Y = \text{zeros}(4);$

$Y(1,1) = 1/R1 + 1/R2 + 1/R4; Y(1,2) = -1/R1; Y(1,3) = -1/R4;$

$Y(2,1) = -1/R1; Y(2,2) = 1/R1 + 1/R3;$

$Y(3,1) = -1/R4; Y(3,3) = 1/R4 + 1/R7 + 1/R8; Y(3,4) = -1/R8;$

$Y(4,3) = -1/R8; Y(4,4) = 1/R8 + 1/R5;$

3 Формирование вектора правых частей I :

$I = [-E1/R1; E1/R1 - J; 0; J];$

4 Решение системы:

$U = Y \backslash I;$

$\text{disp}(U);$

Полученные значения узловых напряжений позволяют определить все токи ветвей по закону Ома и провести проверку баланса мощностей, что подтверждает корректность моделирования. Предложенная методика легко интегрируется в более сложные системы статистического анализа и оптимизации.

Предложенная в работе методика полностью реализована в среде MATLAB, что позволяет говорить о её практической ценности. Именно благодаря встроенным матричным операциям MATLAB система уравнений (1) решается одной строкой кода, тогда как при

ручном счёте или программировании на низкоуровневых языках потребовалось бы реализовывать метод Гаусса отдельно [3].

Выбор среды MATLAB обусловлен не её популярностью, а прямым соответствием матричной структуре метода узловых напряжений [4].

Важным аспектом связи MATLAB с предлагаемой методикой является возможность быстрой модификации расчёта под новые схемы. При изменении топологии цепи – добавлении или удалении узлов, замене источников – достаточно скорректировать несколько строк в разделе формирования матрицы Y и вектора I , не переписывая всю программу. Это делает разработанный алгоритм универсальным шаблоном, пригодным для анализа широкого класса линейных цепей постоянного тока [5].

Заключение. Выполнен анализ применения метода узловых напряжений для автоматизированного расчёта линейных электрических цепей постоянного тока. Для рассматриваемой конфигурации схемы показано, что использование матричной формы записи и встроенного оператора обратной косой черты среды MATLAB позволяет получить значения узловых напряжений с высокой точностью за доли секунды, полностью исключая арифметические ошибки ручного счёта.

Определено, что предложенная методика легко масштабируется на цепи любой сложности, в том числе с управляемыми источниками и нелинейными элементами при итерационных методах. Разработан подход к автоматическому формированию матрицы проводимостей на основе топологического описания схемы.

Список литературы

1. Бессонов, Л.А. Методы анализа линейных электрических цепей постоянного тока / Л.А. Бессонов // *Электричество*. – 2015. – Vol. 1, № 3. – P. 12–19.
2. Зевеке, Г.В. Матричные методы формирования узловых уравнений электрических цепей / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика*. – 1987. – Vol. 30, № 5. – P. 23–28.
3. Бебихов, Ю.В. Применение математического моделирования для решения линейных алгебраических и обыкновенных дифференциальных уравнений / Ю.В. Бебихов, А.С. Семёнов, М.Н. Семёнова, И.А. Якушев // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки*. – 2019. – Vol. 4, № 2. – С. 29–36.
4. Шакин, В.Н. Аналитические вычисления и примеры решения задач электротехники средствами символьной математики Matlab / В.Н. Шакин, Т.Н. Семенова, Т.И. Семенова. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2021. – 237 с. – ISBN 978-5-9912-0924-3.
5. Фриск, В.В. Применение пакета MATLAB и SIMULINK для анализа электрических цепей / В.В. Фриск, В.И. Ганин, А.Г. Степанова // *Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике*. – 2020. – Vol. 1, № 2. – P. 45–52.

UDC 622.7.049.77

AUTOMATION OF ELECTRIC CIRCUIT CALCULATION BY THE NODAL VOLTAGE METHOD USING MATLAB

Viltovskaya A.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Shilin L.Y. – Dr. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ITAS

Annotation. The application of the nodal voltage method for the analysis of linear DC electrical circuits is considered. Automation of circuit parameter calculation by forming a system of equations and solving it in MATLAB is proposed. It is shown that the matrix form of writing equations allows an efficient implementation of the computational procedure. The proposed approach reduces computation time and minimizes the probability of arithmetic errors at the design stage, which is confirmed by a numerical solution for a test circuit.

Keywords: nodal voltage method, MATLAB, linear electrical circuits, computer-aided design

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В УПРАВЛЕНИИ КОМПЬЮТЕРОМ

Яцковец М.А., Завалей В.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Скиба И.Г. – магистр, ассистент кафедры ЭВМ

Аннотация: В данной статье анализируются перспективы использования компьютерного зрения для управления ПК. Рассматриваются ключевые методы взаимодействия (жестовое управление, трекинг головы и глаз), реализуемые на базе стандартных веб-камер. Выявляются основные технические и эргономические барьеры внедрения.

Ключевые слова: нейросети, компьютерное зрение, человеко-машинное взаимодействие

Введение. Массовое распространение технологий компьютерного зрения в мобильных приложениях наглядно демонстрирует зрелость этой технологии. Даже на устройствах с ограниченными ресурсами успешно реализован надежный трекинг головы и жестов в реальном времени, что доказывает преодоление основных технических барьеров для внедрения подобных решений. Однако наблюдается существенный разрыв между использованием этих технологий в развлекательных целях и их внедрением в более профессиональную среду персональных компьютеров. В данной работе исследуются перспективы внедрения компьютерного зрения в управление персональным компьютером.

Основная часть. Современное компьютерное зрение предлагает три ключевых способа взаимодействия и регистрации действий. Каждый из них базируется на отслеживании специфических точек тела человека и интерпретации их движений.

Наиболее естественным способом ввода является перенос моторики рук в цифровое пространство. Современные алгоритмы (например, архитектуры, используемые в решениях MediaPipe или OpenPose) позволяют строить 3D-модель кисти по RGB-изображению, отслеживая ключевые точки, такие как суставы пальцев. Примером способа ввода может быть позиция указательного пальца, интерпретируемая как курсор, а «щипок» как триггер клика. В качестве технологической базы обычно используются легковесные сверточные нейросети, обученные на синтетических данных, специально подобранных для повышения устойчивости к перекрытиям, когда пальцы закрыты преградой. В массовом ПО распознавание рук ограничивается определением простейших жестов (например, «палец вверх») для активации эмодзи-реакций в платформах видеосвязи.

Навигация на основе положения головы позволяет использовать голову пользователя как указатель, так и аналог джойстика. Алгоритмы решают задачу Perspective-n-Point, определяя ориентацию головы в пространстве на основе 2D-проекции лица. Как дополнительные средства управления, вертикальные наклоны головы можно использовать для скроллинга текста, горизонтальные – для переключения вкладок или окон. Для команд нажатия клавиш можно использовать жесты лица: поднятие бровей, моргание или открытие рта. Это реализуется через анализ геометрии лицевой сетки, содержащей множество опорных точек лица, или через векторную оценку положения головы в пространстве [1]. Для обычного потребителя использование наклонов и поворотов головы сосредоточено преимущественно в развлекательном сегменте приложений для управления масками или игровыми механиками, практически не применяясь в более серьезных задачах.

Отслеживание положения глаз позволяет определять точку фиксации взгляда на экране. В данном случае взгляд может использоваться для быстрого перемещения курсора. Метод основывается на том, что нейросети сегментируют область радужной оболочки и зрачка, а затем сопоставляют их положение с вектором головы для вычисления финальной координаты на плоскости монитора [2]. Технологии отслеживания взгляда на данный момент применяются в основном для отслеживания внимания пользователя.

Изначально для точного трекинга тела требовались дорогостоящие системы с нательными датчиками и маркерами, доступные лишь специализированным компаниям. В то же время для отслеживания взгляда требуются высокоточные и дорогостоящие инфракрасные датчики. Большим скачком вперед стало появление сенсоров глубины (например, Microsoft Kinect), которые позволили отказаться от надеваемой электроники, но все еще требовали покупки отдельного устройства. Сегодня, благодаря прогрессу в нейросетях, мы переходим к использованию обычных камер, встроенных в каждый современный ноутбук. Современные алгоритмы способны вычислять глубину и геометрию движений, позволяя реализовать качественное управление на любой стандартной веб-камере.

Несмотря на доступность алгоритмов, массовое внедрение систем компьютерного зрения в качестве основного инструмента ввода ограничивается рядом эргономических и технических факторов. В отличие от нажатия физической кнопки, взгляд или положение головы всегда активны. Системе часто бывает сложно отделить случайное действие от осознанной команды. Это требует разработки сложных алгоритмов фильтрации и контекстного понимания, чтобы избежать непреднамеренных взаимодействий. Длительное использование средств управления, связанных с активным движением, быстро вызывает мышечную усталость. Поэтому решения, основанные на жестах и движениях головой, непригодны для продолжительной работы. Они больше подходят для коротких сессий или специфических задач. Обычные веб-камеры чувствительны к освещению, поэтому неправильно поставленный свет и низкая освещенность снижают точность определения ключевых точек, что ведет к недопустимым проблемам с управлением.

Заключение. Методы компьютерного зрения имеют огромный потенциал в задачах облегчения и расширения взаимодействия человека и компьютера. Стремительное совершенствование нейросетевых архитектур и аппаратного обеспечения, вероятно, позволит в ближайшей перспективе минимизировать технические сложности, обеспечив стабильную работу алгоритмов в различных условиях эксплуатации. Это создаст возможности для массовой интеграции бесконтактного управления в программное обеспечение широкого профиля в качестве эффективного дополнения к традиционным средствам ввода.

Социально-экономическая значимость в данном контексте также крайне велика. Использование стандартных веб-камер для отслеживания взгляда и движений обеспечит полноценный доступ к компьютерам для разнообразного спектра пользователей.

Список литературы

1. Fine-Grained Head Pose Estimation Without Keypoints / N. Ruiz, E. Chong and J. M. Rehg // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2018
2. MPIIGaze: Real-World Dataset and Deep Appearance-Based Gaze Estimation / X. Zhang, Y. Sugano, M. Fritz, A. Bulling [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1711.09017> – Дата доступа: 13.02.2026

UDC 004.5

PROSPECTS FOR USING COMPUTER VISION IN COMPUTER CONTROL

Yatskovets M.A., Zavalei V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Skiba I.G. – Assistant of the department of ECS

Annotation: This article analyzes the potential for using computer vision for PC control. Key interaction methods (gesture control, head and eye tracking) implemented using standard webcams are discussed. The main technical and ergonomic barriers to implementation are identified.

Keywords: neural networks, computer vision, human-machine interaction

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА СЕМАНТИЧЕСКОГО ПОИСКА ФИЛЬМОВ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭМБЕДДИНГОВ

Захарьев В.А. Тоган И.Д.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Захарьев В.А. – канд. тех. наук, доцент кафедры СУ

Аннотация. Представлен обзор архитектурных решений для гибридных систем семантического поиска, предназначенных для поиска фильмов по текстовым запросам. Рассмотрены основные компоненты таких систем, включая слои генерации эмбедингов (характеристических векторов), хранения и поиска данных. Проведено экспериментальное сравнение базового подхода (TF-IDF + жанры) и предложенной гибридной системы (RoBERTa + TF-IDF + сущности + жанры). Результаты показывают улучшение качества рекомендаций на 40% по метрике Precision@10 для релевантных результатов.

Ключевые слова: гибридный поиск, семантический поиск, эмбединги, RoBERTa, pgvector.

Введение. Традиционные системы поиска, основанные на сопоставлении ключевых слов, демонстрируют ограниченную эффективность при работе с семантическими запросами. Современные подходы базируются на использовании методов обработки естественного языка (NLP) и глубокого обучения. Трансформерные модели, такие как BERT и RoBERTa, позволяют кодировать смысл текста в многомерные векторы (эмбединги), где расстояние между векторами отражает семантическую близость. Однако использование только текстовых эмбедингов не позволяет учитывать структурированные характеристики фильма. В данной работе предлагается гибридный подход, объединяющий семантические эмбединги описаний фильмов с векторизованными категориальными признаками. Основной вклад работы заключается в разработке архитектуры, демонстрации эффективности гибридного подхода и количественной оценке улучшения качества поиска.

Основная часть. В настоящей работе предлагается гибридный подход, объединяющий текстовые эмбединги описаний фильмов на основе модели RoBERTa, векторизованные категориальные признаки (жанры, режиссёры, актёры) и кластерные признаки названий фильмов. Комбинированный вектор формируется путём конкатенации всех компонентов. Хранение и поиск векторов реализованы на базе PostgreSQL с расширением pgvector.

Предложенная архитектура состоит из пяти слоёв: слой потребления данных (загрузка датасетов TMDb и топ-100 актёров); слой предобработки данных (фильтрация фильмов, извлечение именованных сущностей с помощью spaCy, кластеризация названий методом DBSCAN); слой генерации эмбедингов (вычисление гибридных векторов); слой хранения векторов (PostgreSQL с расширением pgvector); слой поиска и визуализации (веб-интерфейс на Flask).

Гибридный эмбединг формируется конкатенацией трёх групп признаков: категориальные признаки (сценаристы, режиссёры, кластер названия, извлечённые сущности) преобразуются с помощью TF-IDF с параметрами min_df=2 и max_df=0.2; жанры кодируются с помощью MultiLabelBinarizer; текстовый обзор обрабатывается моделью RoBERTa-base с усреднением выходных эмбедингов токенов.

Для хранения эмбедингов используется PostgreSQL с расширением pgvector. Поиск ближайших соседей реализован через оператор косинусного расстояния <=>. Веб-интерфейс на Flask поддерживает поиск по названию фильма. При отсутствии точного совпадения пользователю выводятся подсказки из 20 случайных названий.

Для оценки качества предложенного подхода проведено сравнение двух

конфигураций системы: базовый подход (Baseline) – используются только TF-IDF векторы для категориальных признаков и жанры, без RoBERTa и извлечения сущностей; основная система (Hybrid) – полная версия с RoBERTa, сущностями spaCy и TF-IDF.

Оценка проводилась на 6 фильмах, представляющих различные жанры: анимационные комедии (Finding Nemo, Minions, Khumba), историческая анимация (Pocahontas) и драмы/криминал (American History X, American Gangster). Для каждого фильма оценивались топ-10 рекомендаций по шкале от 0 до 2: 2 балла – фильм очень похож по жанру, тематике, сюжету; 1 балл – частичное пересечение (общий жанр, но разная стилистика); 0 баллов – фильм не похож.

Основные метрики оценки: Precision@10 (хорошие) – доля фильмов с оценкой 2 среди первых 10 рекомендаций; Precision@10 (хорошие+средние) – доля фильмов с оценкой 1 или 2; Средняя релевантность (0–2) – средняя арифметическая оценка по первым 10 рекомендациям.

Результаты для базового подхода представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты базового подхода (TF-IDF + жанры)

P@10 (2)	P@10 (>=1)	Ср. рел.
0.70	1.00	1.70
0.70	1.00	1.70
0.60	0.90	1.50
0.50	0.80	1.30
0.10	0.70	0.80
0.30	0.60	0.90
0.48	0.83	1.32

Результаты для гибридной системы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты гибридной системы (RoBERTa + TF-IDF + сущности + жанры)

P@10 (2)	P@10 (>=1)	Ср. рел.
0.80	1.00	1.80
0.80	1.00	1.80
0.70	1.00	1.70
0.70	0.90	1.60
0.40	0.90	1.30
0.60	0.90	1.50
0.67	0.95	1.62

Сравнение средних значений метрик представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнение базового и гибридного подходов

Метрика	Базовый подход	Гибридная система	Улучшение
P@10 (хорошие)	0.48	0.67	40,00%
P@10 (хорошие+средние)	0.83	0.95	14,00%
Средняя релевантность	1.32	1.62	23,00%

Наибольший прирост качества наблюдается для сложных жанров (драма, криминал). Для фильма American History X показатель P@10 (хорошие) увеличился с 0.10 до 0.40, а для American Gangster – с 0.30 до 0.60. Анимационные фильмы изначально демонстрировали высокие результаты, однако гибридная система также обеспечила стабильное улучшение.

Заключение. Разработанная гибридная система позволяет учитывать как семантику текстовых описаний, так и структурированные метаданные фильмов. Экспериментальная оценка на 6 фильмах различных жанров показала улучшение качества рекомендаций на 40% по метрике Precision@10 для релевантных результатов по сравнению с базовым подходом, использующим только TF-IDF и жанры. Наибольший эффект достигнут для сложных жанров (драма, криминал), где добавление семантических эмбедингов и именованных сущностей

значительно повысило релевантность рекомендаций. Дальнейшие направления развития включают использование более крупных языковых моделей, добавление коллаборативной фильтрации и разработку механизмов объяснения рекомендаций.

Список литературы

1. Devlin, J. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding / J. Devlin, M.-W. Chang, K. Lee, K. Toutanova // *Proceedings of NAACL-HLT*. – 2019. – P. 4171-4186.
2. Liu, Y. RoBERTa: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach / Y. Liu [et al.] // *arXiv preprint arXiv:1907.11692*. – 2019.
3. Neumann, M. ScaNN: Efficient Vector Similarity Search / M. Neumann, P. R. King // *Proceedings of VLDB*. – 2020.
4. Honnibal, M. spaCy: Industrial-strength Natural Language Processing / M. Honnibal, I. Montani // <https://spacy.io>. – 2017.
5. Johnson, J. pgvector: Open-source vector similarity search for PostgreSQL / J. Johnson // <https://github.com/pgvector/pgvector>. – 2021.

UDC 004.032.26

HYBRID SEMANTIC SEARCH SYSTEM FOR MOVIES BASED ON COMBINED EMBEDDINGS

Zakharayev V.A. Togan I.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alekseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. An overview of architectural solutions for hybrid semantic search systems designed for movie search based on text queries is presented. The main components of such systems are considered, including the layers of embedding generation, data storage and retrieval. An experimental comparison of the baseline approach (TF-IDF + genres) and the proposed hybrid system (RoBERTa + TF-IDF + entities + genres) is carried out. The results show a 40% improvement in recommendation quality according to the Precision@10 metric for relevant results.

Keywords: hybrid search, semantic search, embeddings, RoBERTa, pgvector.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ: АРХИТЕКТУРА, МЕТОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Сергиевич А.А., Шабанович Р.А.

*Академия управления при Президенте Республики Беларусь,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Шабанович Р.А.

Аннотация. Статья посвящена архитектуре и методам построения интеллектуальных киберфизических систем и цифровых двойников. Рассматриваются вопросы моделирования, применения искусственного интеллекта и обработки данных в реальном времени, а также перспективы их промышленного использования.

Ключевые слова: киберфизические системы, цифровой двойник, машинное обучение, предиктивная аналитика, обработка данных, индустрия 4.0.

Введение. Современный этап технологического развития характеризуется интенсивной цифровой трансформацией промышленности, транспорта и социальной инфраструктуры. Формируется новая технологическая среда, в которой физические процессы тесно интегрируются с вычислительными и коммуникационными технологиями. В таких условиях данные становятся стратегическим ресурсом, а их интеллектуальная обработка – ключевым инструментом принятия управленческих решений.

Особую роль в данных процессах играют киберфизические системы и цифровые двойники, обеспечивающие непрерывную связь между реальными объектами и их виртуальными представлениями. Развитие этих технологий напрямую связано с концепциями Индустрии 4.0, промышленного интернета вещей и интеллектуального производства.

Рост объёмов сенсорных данных, усложнение инженерных систем и необходимость повышения эффективности эксплуатации оборудования требуют внедрения интеллектуальных методов анализа и прогнозирования. Использование облачных и периферийных вычислений позволяет реализовывать обработку данных в реальном времени, обеспечивая адаптивность и устойчивость управления.

Целью работы является систематизация архитектурных моделей, методов моделирования и интеллектуальных алгоритмов, применяемых при создании киберфизических систем и цифровых двойников.

Основная часть. Киберфизическая система представляет собой интегрированную совокупность физических объектов, вычислительных компонентов и коммуникационной инфраструктуры, функционирующих в замкнутом контуре обратной связи. Основной особенностью таких систем является способность осуществлять мониторинг, анализ и управление физическими процессами в режиме реального времени.

В отличие от традиционных автоматизированных систем управления, киберфизические системы обладают возможностями адаптации к изменяющимся условиям эксплуатации, автономного принятия решений и самообучения на основе накопленных данных.

К ключевым свойствам КФС относятся распределённость компонентов, модульность архитектуры, масштабируемость, высокая степень автоматизации и интеграция цифровых моделей с физическими процессами.

Архитектурная модель киберфизических систем. Архитектура КФС является многоуровневой. Физический уровень включает датчики и исполнительные механизмы, обеспечивающие сбор параметров среды. Контроллерный уровень реализует локальное управление технологическими процессами. Сетевой уровень отвечает за передачу данных посредством промышленных протоколов связи. Облачный уровень обеспечивает хранение

информации и выполнение аналитических вычислений. Интеллектуальный уровень реализует алгоритмы анализа данных и поддержки принятия решений.

Важной особенностью архитектуры является наличие сквозных потоков данных, объединяющих все уровни системы. Предварительная обработка информации на периферийных устройствах снижает нагрузку на центральные вычислительные ресурсы и уменьшает задержки передачи данных.

Применение edge- и fog-вычислений позволяет переносить аналитические функции ближе к источникам данных, что повышает устойчивость функционирования распределённых систем.

Цифровой двойник представляет собой виртуальную динамическую модель физического объекта, синхронизированную с реальным прототипом на протяжении всего жизненного цикла. Он обеспечивает непрерывное обновление состояния модели на основе поступающих данных.

Выделяют цифровые двойники компонентов, оборудования, производственных систем и инфраструктурных объектов. Их применение позволяет осуществлять мониторинг состояния, прогнозирование отказов и оптимизацию режимов эксплуатации.

Этапы разработки цифрового двойника. Создание цифрового двойника включает разработку математической модели, интеграцию сенсорных данных, построение алгоритмов анализа, валидацию модели и внедрение в контур управления.

Эффективность цифрового двойника определяется точностью синхронизации с физическим объектом. Для повышения адекватности применяются гибридные подходы, сочетающие физико-математическое моделирование и методы машинного обучения.

Интеллектуализация киберфизических систем основана на применении методов машинного обучения, включая регрессионные модели, алгоритмы классификации, нейронные сети, кластеризацию и методы обнаружения аномалий. Эти подходы позволяют выявлять закономерности функционирования технических систем.

Предиктивная аналитика. Предиктивная аналитика базируется на анализе временных рядов и применяется для прогнозирования технического состояния оборудования. Это позволяет перейти от планового обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию, снижая эксплуатационные затраты и предотвращая аварии.

Обработка потоковых данных. Для обработки потоковых данных требуется минимальная латентность, масштабируемость вычислений и устойчивость к сбоям. Используются распределённые платформы потоковой обработки, обеспечивающие непрерывный анализ информации.

Особое значение приобретают методы глубокого обучения, позволяющие анализировать нелинейные зависимости. Использование рекуррентных моделей повышает точность прогнозирования и раннего обнаружения отклонений.

Интеграция интеллектуальных алгоритмов в контуры управления формирует адаптивные системы, способные автоматически корректировать режимы работы.

Киберфизические системы применяются в промышленности, энергетике, транспортной отрасли и медицине. Они используются для моделирования технологических процессов, оптимизации энергопотребления, мониторинга состояния оборудования и интеллектуального управления сложными объектами.

Информационная безопасность. Интеграция цифровых и физических компонентов усиливает требования к защите информации и устойчивости систем. Применяются криптографические методы, сегментация сетевой инфраструктуры и системы обнаружения аномалий.

Научные проблемы и перспективы развития. Основные научные задачи связаны с повышением точности моделей, снижением вычислительной сложности алгоритмов и стандартизацией обмена данными.

Заключение. Интеллектуальные киберфизические системы и цифровые двойники формируют технологическую основу цифровой экономики и промышленности нового

поколения. Их развитие требует междисциплинарной интеграции методов моделирования, анализа данных и искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Lee E.A. *Cyber-Physical Systems: Design Challenges*.
2. Tao F., Zhang M. *Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm*.
3. Grieves M. *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*.
4. Siemens AG. *Industrial Digitalization Concepts*.
5. IBM Corporation. *Digital Twin Solutions Overview*.

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

**INTELLIGENT CYBER-PHYSICAL SYSTEMS AND DIGITAL TWINS:
ARCHITECTURE, METHODS AND DEVELOPMENT PROSPECTS**

Serhiyevich A.A., Shabanovich. R.A.

Academy of Public Administration under the President of the Republic of Belarus, Minsk

Shabanovich. R.A.

Annotation. The article discusses the architecture and methods for building intelligent cyber-physical systems and digital twins. Issues of modeling, artificial intelligence application, and real-time data processing are considered, along with prospects for industrial implementation.

Keywords: cyber-physical systems, digital twin, machine learning, predictive analytics, data processing, Industry 4.0.

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБЛАЧНЫХ ХРАНИЛИЩ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ДЕДУПЛИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Вегера К.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Марков А.Н. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры информатики

Аннотация. Работа посвящена проблеме избыточности данных в облачных сервисах хранения медиаконтента. Предложена архитектура программного комплекса, реализующего механизм дедупликации изображений на основе перцептивного хеширования (dHash). Описан алгоритм взаимодействия клиентской части, базы данных PostgreSQL и объектного хранилища, позволяющий исключить повторную запись визуально идентичных файлов. Приведена методика оценки эффективности сжатия хранилища.

Ключевые слова: облачные вычисления, дедупликация, архитектура ПО, PostgreSQL, оптимизация ресурсов, dHash.

Введение. Современные IT-инфраструктуры сталкиваются с экспоненциальным ростом объемов неструктурированных данных. По статистике, значительную долю дискового пространства занимают дубликаты изображений [1], возникающие при пересылке контента, резервном копировании или незначительном изменении форматов. Классификация моделей облачных вычислений [2] позволяет выделить специализированные сервисы хранения как критически важный компонент IaaS. Традиционные методы дедупликации, основанные на криптографических хешах (MD5, SHA-256), неэффективны для медиаконтента, так как изменение разрешения или метаданных файла приводит к изменению хеш-суммы, что вынуждает систему хранить идентичные по содержанию копии.

Целью работы является проектирование архитектуры облачного сервиса, обеспечивающего минимизацию затрат на хранение данных (IaaS) за счет выявления и исключения нечетких дубликатов.

Основная часть. Для решения задачи предложено использование методики дедупликации на стороне сервера (target-based deduplication) с использованием перцептивных хешей. В качестве базового алгоритма выбран Difference Hash (dHash) [3], который формирует цифровой отпечаток изображения на основе градиентов яркости между соседними пикселями. Процесс генерации хеша dHash состоит из четырех последовательных этапов, каждый из которых направлен на удаление избыточной информации (шума, детализации, цвета):

1 Масштабирование (Resizing). Изображение сжимается до размера 9x8 пикселей (всего 72 пикселя). Использование нечетного количества столбцов (9) необходимо для обеспечения перекрытия при вычислении разницы между соседними точками.

2 Обесцвечивание. Изображение преобразуется в оттенки серого, что позволяет абстрагироваться от цветовой гаммы и сосредоточиться только на структурной информации (форме объектов).

3 Вычисление разницы. Для каждой строки пикселей y вычисляется разница яркости между пикселем x и $x + 1$ пикселем.

4 Построение битовой строки. Если яркость пикселя $P(x) > P(x + 1)$, то бит хеша равен 1, иначе – 0. В результате формируется 64-битное число (8x8), которое является компактным цифровым следом изображения.

Выбор dHash обусловлен его устойчивостью к масштабированию изображения и высокой скоростью генерации (менее 6 мс на изображение), что критически важно для

высоконагруженных систем. Критерием идентичности изображений служит расстояние Хэмминга (d_H). Если $d_H \leq 5$, изображения считаются визуальными копиями.

Разработанное решение базируется на принципе разделения метаданных и бинарных данных (Blob). Логическая схема хранения реализуется с использованием СУБД PostgreSQL и S3-совместимого хранилища. Процесс загрузки файла включает следующие этапы:

1 Генерация отпечатка. Сервис принимает изображение и вычисляет его перцептивный хеш (64-битное число).

2 Поиск в индексе. Выполняется запрос к таблице `images_hash` в БД PostgreSQL. Благодаря использованию специализированных индексов (GIST/SP-GIST для битовых строк), поиск похожих хешей выполняется за логарифмическое время. Для хранения 64-битных хешей в PostgreSQL используется тип данных `bit(64)`, который позволяет выполнять побитовые операции непосредственно на уровне СУБД, минимизируя передачу данных между приложением и базой. Расстояние Хэмминга между двумя хешами A и B вычисляется как количество единичных битов в результате операции XOR ($A \oplus B$). Для оптимизации выборки на больших объемах данных (миллионы записей) стандартный B-tree индекс неэффективен. Вместо него предлагается использовать специализированные ВК-деревья (Burkhard-Keller trees), которые позволяют эффективно отсекают ветви дерева поиска, где расстояние заведомо превышает заданный порог (*threshold*). Это снижает сложность поиска с линейной $O(N)$ до логарифмической $O(\log_2 N)$.

3 Принятие решения. Сценарий А (дубликат найден): если в БД найден хеш с $d_H \leq threshold$, физическая загрузка файла в S3 отменяется. В таблице `user_files` создается новая запись, ссылающаяся на уже существующий `file_id`. Счетчик ссылок (reference count) для оригинала увеличивается. Сценарий Б (уникальный контент): Файл загружается в S3, ему присваивается уникальный ID, а хеш сохраняется в индексе.

Графически алгоритм работы подсистемы представлен на рисунке 1:

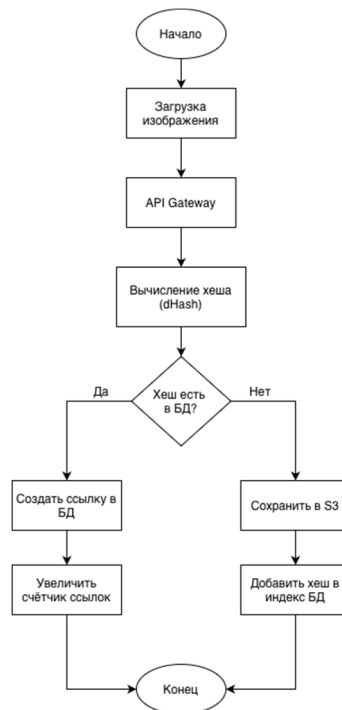


Рисунок 1 – Алгоритм работы подсистемы дедупликации при загрузке данных

Такой подход реализует модель Content-Addressable Storage (CAS), где адресация контента происходит на основе его содержимого, а не имени файла.

При использовании 64-битного хеширования теоретически возможны коллизии, когда разные изображения имеют одинаковый dHash (особенно при сильном размытии или монотонном фоне). Вероятность такого события для фотографий крайне мала (2^{-64}), однако для повышения надежности системы в архитектуру введен механизм верификации. В случае обнаружения дубликата (расстояние Хэмминга равно 0) система выполняет дополнительную проверку: сравнивает размеры файлов (в байтах) и, при необходимости, вычисляет быстрый криптографический хеш (CRC32) для первых 4 КБ файла. Это позволяет с вероятностью, близкой к 100%, исключить ложные срабатывания (False Positives), не прибегая к полному побитовому сравнению файлов.

Эффективность предлагаемой архитектуры оценивается коэффициентом дедупликации (K_{dedup}), который показывает отношение логического объема данных к физическому, и рассчитывается по формуле 1:

$$K_{dedup} = \frac{V_{logical}}{V_{physical}} = \frac{\sum_{i=1}^N Size(f_i)}{Size(Unique) + Size(Meta)}, \quad (1)$$

где $V_{logical}$ – суммарный объем файлов, загруженных пользователями, ГБ;

$V_{physical}$ – реально занимаемое место на дисках, ГБ.

Предварительное моделирование на тестовой выборке из 10 000 изображений (включая ресайзы и пересохранения) показало, что внедрение данного алгоритма позволяет достичь коэффициента $K_{dedup} \approx 1.6$, что эквивалентно экономии 30–45% дискового пространства.

Заключение. Предложена архитектура облачного сервиса хранения, использующая алгоритм dHash для оптимизации использования ресурсов. Переход от прямого хранения файлов к системе ссылок на уникальные контентные единицы позволяет существенно снизить требования к инфраструктуре хранения (IaaS) и уменьшить избыточный сетевой трафик, не снижая качество обслуживания пользователей.

Список литературы

1. Армбруст М. Облачные вычисления: взгляд сверху // *Коммуникации АСМ*. – 2010. – Т. 53, № 4.
2. Вакеро Л. М. Определение и классификация облачных вычислений // *Вестн. информатики*. – 2011. – Т. 28.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений*. – М.: Техносфера, 2012.

UDC 004.932:004.75

OPTIMIZATION OF CLOUD DATA STORAGE USING IMAGE DEDUPLICATION ALGORITHMS

Viahera K.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Markov A.N. – Master of Sci. (M. of Sci.), Senior Lecturer at the Department of Informatics

Annotation. The paper considers the problem of data redundancy in cloud media storage services. An architecture of a software complex implementing an image deduplication mechanism based on perceptual hashing (dHash) is proposed. The interaction algorithm between the client part, PostgreSQL database, and object storage, allowing to exclude re-recording of visually identical files, is described. A methodology for assessing storage compression efficiency is presented.

Keywords: cloud computing, deduplication, software architecture, PostgreSQL, resource optimization, dHash.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ РЕСУРСОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ДОМАШНИХ СИСТЕМАХ

Агапова В.О.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Лихачевский Д.В. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация: Рассматриваются интеллектуальные методы диспетчеризации ресурсов в автоматизированных домашних системах (АДС) на базе IoT. Проводится формализация ресурсов (энергия, вода, вычисления, каналы связи) и постановка задач аллокации и планирования. Анализируются современные подходы: обучение с подкреплением (RL), теоретико-игровые модели и аукционные механизмы. Исследуются вопросы масштабируемости IoT-сетей и кибербезопасности процессов диспетчеризации. Показана перспективность гибридных методов, сочетающих адаптивность RL с устойчивостью игровых равновесий.

Ключевые слова: Автоматизированные домашние системы, диспетчеризация ресурсов, умный дом, обучение с подкреплением, теория игр, аукционные механизмы, масштабируемость, кибербезопасность

Введение. Современное развитие технологий Интернета вещей (IoT) привело к качественному изменению автоматизированных домашних систем (АДС), которые из простых наборов программируемых устройств превращаются в сложные киберфизические комплексы. В таких системах критическую роль играет эффективное управление ограниченными ресурсами – электроэнергией, водоснабжением, вычислительными мощностями и пропускной способностью каналов связи. Традиционные детерминированные алгоритмы диспетчеризации, ориентированные на стационарные режимы работы, не способны адекватно реагировать на динамику потребительского спроса, стохастический характер генерации возобновляемой энергии и гетерогенность парка устройств.

В связи с этим актуальной научно-технической задачей становится разработка интеллектуальных методов диспетчеризации ресурсов, способных адаптироваться к изменяющимся условиям в реальном времени. Перспективными подходами выступают методы обучения с подкреплением (Reinforcement Learning), теоретико-игровые модели и аукционные механизмы, каждый из которых обладает специфическими преимуществами. Однако внедрение таких методов сопряжено с необходимостью решения сопутствующих проблем масштабируемости IoT-инфраструктуры и обеспечения кибербезопасности процессов управления, что требует комплексного подхода к проектированию архитектуры интеллектуального диспетчера.

Основная часть. Автоматизированные домашние системы (АДС), более известные под термином «умный дом», представляют собой интегрированные комплексы инженерного оборудования и программно-аппаратных средств, обеспечивающие автоматическое или автоматизированное управление функциями жилого помещения. Современная АДС объединяет в единую сеть множество разнородных устройств: системы отопления, вентиляции и кондиционирования (HVAC), освещения, контроля доступа, видеонаблюдения, бытовые приборы, а также источники распределенной генерации энергии (солнечные панели, ветрогенераторы) и накопители. Ключевой особенностью таких систем является их способность собирать данные с сенсоров, обрабатывать их и на основе заданных алгоритмов или предиктивных моделей формировать управляющие воздействия на исполнительные устройства, оптимизируя потребление ресурсов и повышая комфорт проживания.

Эволюция АДС неразрывно связана с развитием технологий Интернета вещей (IoT). Если первые поколения систем базировались на централизованных контроллерах с жесткой

логикой и проводными интерфейсами, то современные архитектуры тяготеют к децентрализации, использованию беспроводных протоколов связи (Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, Thread) и облачных платформ для обработки данных. Это привело к экспоненциальному росту количества подключаемых устройств и усложнению внутрисистемных взаимодействий, что, в свою очередь, выдвинуло новые требования к алгоритмам управления. Традиционные детерминированные подходы уступают место интеллектуальным методам, способным адаптироваться к изменяющемуся поведению пользователей и динамике внешней среды, что делает АДС не просто набором автоматизированных функций, а активным киберфизическим объектом, требующим эффективной диспетчеризации своих внутренних ресурсов.

Диспетчеризация ресурсов представляет собой процесс принятия решений о распределении ограниченных мощностей между конкурирующими потребителями или задачами в реальном времени. В условиях динамически изменяющейся среды, стохастического характера поступающих заявок и необходимости соблюдения множества критериев оптимальности классические детерминированные алгоритмы, основанные на жестких правилах или пороговых значениях, демонстрируют недостаточную эффективность. Это обуславливает необходимость применения интеллектуальных методов, способных обучаться на накопленных данных, прогнозировать состояние среды и адаптировать стратегии управления к изменяющимся условиям без прямого программирования каждого возможного сценария.

В современной теории и практике управления ресурсами наибольший интерес представляют три класса интеллектуальных подходов. Методы обучения с подкреплением (Reinforcement Learning, RL) позволяют агенту-диспетчеру вырабатывать оптимальную политику управления путем взаимодействия со средой и максимизации накопленного вознаграждения, что особенно эффективно в задачах с долгосрочными последствиями принимаемых решений. Теоретико-игровые модели (game theory) рассматривают потребителей ресурса как рациональных агентов, вступающих в кооперативные или конкурентные взаимодействия, что позволяет находить равновесные состояния распределения без необходимости централизованного сбора всей информации. Аукционные механизмы (auction-based dispatch) предлагают рыночный подход к аллокации дефицитных ресурсов, где агенты формируют заявки с указанием цены или приоритета, а диспетчер на основе этих заявок определяет победителей и итоговое распределение, обеспечивая экономическую эффективность и прозрачность процесса.

Каждый из указанных подходов обладает специфическими преимуществами и ограничениями. Методы RL демонстрируют высокую адаптивность, но требуют значительного времени на обучение и чувствительны к изменению условий среды. Теоретико-игровые модели гарантируют сходимость к равновесию, однако опираются на предположения о рациональности агентов, которые не всегда выполняются на практике. Аукционные механизмы обеспечивают прозрачное ценообразование, но могут создавать вычислительную нагрузку при большом количестве участников. В связи с этим актуальным направлением исследований является разработка гибридных методов, объединяющих адаптивность обучения с подкреплением, устойчивость игровых равновесий и экономическую эффективность аукционных механизмов. [1] [2]

Формализация ресурсов – это процесс их математического описания, необходимый для построения алгоритмов диспетчеризации. Она включает определение типов ресурсов, их параметров, ограничений и динамики изменения.

В автоматизированных домашних системах подлежат формализации четыре основные категории:

- 1 Энергия: электрическая мощность потребителей (освещение, климатическая техника, бытовые приборы), генерация от солнечных панелей, заряд/разряд накопителей.
- 2 Вода: объем и скорость потока для водоснабжения, сантехники, систем полива.
- 3 Каналы связи: пропускная способность беспроводных и проводных интерфейсов, обеспечивающих обмен данными между устройствами IoT.

4 Вычислительные мощности: процессорное время и память контроллеров, шлюзов, граничных узлов, задействованных в обработке данных.

Каждый ресурс описывается кортежем параметров: текущее значение, максимальный объем, скорость потребления/генерации, временные окна доступности, приоритеты потребителей. Учитываются также взаимосвязи между ресурсами (например, зависимость энергопотребления от вычислительной нагрузки). Формализованное представление создает основу для постановки задач оптимизации и применения интеллектуальных методов управления. [3]

Задачи распределения ресурсов в автоматизированных домашних системах представляют собой математическую основу процессов диспетчеризации и подразделяются на два взаимосвязанных класса: аллокация (allocation problem) и планирование (scheduling). Аллокация решает проблему статического или квазистатического распределения ограниченного объема ресурса между множеством потребителей в фиксированный момент времени. В контексте «умного дома» типичными примерами являются распределение лимита вводной мощности между одновременно работающими электроприборами, выделение пропускной способности канала связи для устройств Интернета вещей или распределение запаса воды из накопительного бака между различными точками водопотребления. Математически задачи аллокации обычно формулируются как задачи линейного или целочисленного программирования, где целевая функция отражает приоритеты потребителей или критерии экономической эффективности.

Планирование (scheduling), в отличие от аллокации, имеет динамическую природу и направлено на определение оптимальной временной последовательности выполнения задач с учетом прогнозируемого поступления ресурсов и изменения потребительского спроса. Характерными примерами выступают смещение работы энергоемких приборов (стиральная машина, посудомоечная машина, электрокотел) на периоды минимальных тарифов или максимальной генерации от солнечных панелей, составление расписания зарядки электромобиля, а также циклическое управление системами отопления и кондиционирования. Планирование относится к классу задач теории расписаний и решается методами динамического программирования или эвристическими алгоритмами. Взаимосвязь этих двух классов задач очевидна: планирование определяет, какие устройства будут претендовать на ресурс в каждый момент времени, а аллокация устанавливает конечные пропорции распределения, что в совокупности образует ядро интеллектуальной диспетчеризации. [4]

Обучение с подкреплением представляет собой класс методов машинного обучения, в котором агент обучается принимать решения путем взаимодействия со средой. В контексте диспетчеризации ресурсов агент-диспетчер последовательно наблюдает состояние системы (потребление, генерацию, приоритеты задач), выбирает действия (распределение ресурсов, смещение задач во времени) и получает вознаграждение, отражающее эффективность принятых решений – например, минимизацию затрат или максимизацию комфорта. Цель агента – выработать политику, максимизирующую накопленное вознаграждение в долгосрочной перспективе.

Ключевым преимуществом RL является способность адаптироваться к изменяющимся условиям без явного программирования всех возможных сценариев. Алгоритмы Q-learning и Deep Q-Networks (DQN) позволяют работать с большими пространствами состояний, характерными для автоматизированных домашних систем с множеством устройств. Методы обучения с подкреплением особенно эффективны для задач планирования, где последствия решений проявляются не мгновенно, а распределены во времени – например, при оптимизации работы накопителей энергии или управлении климатическими системами с учетом тепловой инерции здания. [5] [6]

Масштабируемость является критическим требованием к современным автоматизированным домашним системам, поскольку количество подключаемых устройств неуклонно растет, а архитектура должна сохранять работоспособность и эффективность при этом росте. Анализ масштабируемости IoT-сети включает оценку способности системы

обрабатывать возрастающий объем трафика, поддерживать устойчивое соединение для всех устройств и своевременно доставлять команды управления при увеличении числа узлов. Основными ограничивающими факторами выступают пропускная способность каналов связи, вычислительная мощность контроллеров и шлюзов, а также задержки при передаче данных. В централизованных архитектурах с ростом устройств резко возрастает нагрузка на единый центр обработки, что создает риск отказов и требует перехода к децентрализованным или гибридным моделям с распределенной обработкой данных на граничных узлах. Дополнительно масштабируемость оценивается с точки зрения вычислительной сложности алгоритмов диспетчеризации: некоторые интеллектуальные методы (например, теоретико-игровые модели или аукционы) могут демонстрировать экспоненциальный рост требуемых вычислений при увеличении числа агентов, что ограничивает их применимость в крупных системах без предварительной оптимизации. [7]

Кибербезопасность процессов диспетчеризации ресурсов в автоматизированных домашних системах представляет собой критически важный аспект, поскольку нарушение штатного режима управления может привести не только к экономическому ущербу, но и к созданию угроз для жизнеобеспечения и безопасности проживающих. Диспетчер, принимающий решения о распределении энергии, воды или доступе к устройствам, становится привлекательной целью для злоумышленников, стремящихся получить контроль над инфраструктурой умного дома. Основные векторы атак включают перехват и подмену управляющих команд при передаче по каналам связи, нарушение целостности данных телеметрии от сенсоров (на основе которых диспетчер принимает решения), а также атаки типа «отказ в обслуживании» (DoS), направленные на перегрузку шлюзов и контроллеров с целью парализации процессов управления.

Особую уязвимость создает гетерогенность устройств и протоколов связи в современных IoT-системах, где наличие слабозащищенных узлов (например, недорогих датчиков с ограниченными вычислительными ресурсами) может стать точкой входа для компрометации всей системы диспетчеризации. Дополнительную сложность вносит необходимость обеспечения безопасности в реальном времени: алгоритмы обнаружения вторжений должны работать с минимальными задержками, чтобы не влиять на циклы управления. Методы обеспечения кибербезопасности включают шифрование каналов управления и телеметрии, многофакторную аутентификацию устройств при подключении к сети, сегментацию IoT-инфраструктуры для изоляции критических подсистем, а также применение поведенческого анализа и методов машинного обучения для обнаружения аномалий, которые могут свидетельствовать о вторжении, компрометации устройств или некорректной работе самого диспетчера вследствие внешнего воздействия. [8]

Заключение. Эволюция автоматизированных домашних систем требует перехода от детерминированных алгоритмов к интеллектуальным методам диспетчеризации ресурсов – обучению с подкреплением, теоретико-игровым моделям и аукционным механизмам. Формализованы основные типы ресурсов (энергия, вода, каналы связи, вычислительные мощности) и задачи их распределения (аллокация и планирование). Отдельное внимание уделено проблемам масштабируемости IoT-сетей и кибербезопасности процессов управления, которые являются ключевыми ограничениями при внедрении интеллектуальных диспетчеров в реальных «умных домах».

Список литературы

1. Новости Интернета вещей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://iot.ru/wiki/umnyy-dom>
2. Умный дом будущего: новые технологии и перспективы на ближайшие годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.computerra.ru/303162/umnyj-dom-budushhego-novye-tehnologii-i-perspektivy-na-blizhajshie-gody/>
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 30100-1-2017 «Информационные технологии. Менеджмент ресурсов домашних сетей. Часть 1. Требования» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/cat0/2315-184.htm>
4. Системы управления энергопотреблением в жилых домах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://irepository.uniten.edu.my/entities/publication/ad7e733a-a0bf-41b0-802c-991c3326c0d7>
5. Динамическое планирование работы бытовой техники и управление энергопотреблением в «умных домах» с использованием методов адаптивного обучения с подкреплением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-08125-9>

6. Использование обучения с подкреплением (RL) для предотвращения туликовых ситуаций в системах с общими ресурсами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/61100>

7. Edge AI for SD-IoT: A Systematic Review on Scalability and Latency [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2624-831X/7/1/23>

8. Рекомендации по обеспечению кибербезопасности умного дома [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cepro.com/news/best-practices-for-smart-home-cybersecurity/134789/>

UDC 004.896:64

INTELLIGENT METHODS OF RESOURCE DISPATCHING IN AUTOMATED HOME SYSTEMS

Agapova V.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhachevsky D.V.. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation: This paper examines intelligent resource dispatching methods in IoT-based automated home systems (AHS). Resoes (energy, water, computing, communication channels) are formalized, and allocation and scheduling problems are defined. Modern approaches, including reinforcement learning (RL), game-theoretic models, and auction mechanisms, are analyzed. Issues of IoT network scalability and dispatch process cybersecurity are explored. The potential of hybrid methods combining the adaptability of RL with the stability of game equilibria is demonstrated.

Keywords: AHS, resource dispatching, smart home, reinforcement learning, game theory, auction mechanisms, scalability, cybersecurity

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Кухто В.С.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Василькова А.Н. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Стремительное развитие искусственного интеллекта сопровождается проблемой непонимания их внутренней логики. Сложные нейросетевые модели остаются непрозрачными, что порождает риски в области безопасности, этики и доверия. Визуализация помогает исследовать и понять работу алгоритмов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: искусственный интеллект, визуализация, алгоритм, нейронная сеть, иммерсивная визуализация, модель.

Введение. Стремительное развитие искусственного интеллекта (ИИ) стало цифровым двигателем современности. Технологии ИИ оказывают существенное влияние на все сферы человеческой деятельности. Вместе с тем темпы внедрения ИИ-решений существенно опережают возможности понимания механизмов их функционирования [1]. Современные нейронные сети зачастую характеризуются как «чёрные ящики»: их внутренняя логика принятия решений остаётся нераскрытой даже для разработчиков систем, что порождает риски в области безопасности, этики, доверия. Отсутствие прозрачности затрудняет прогнозирование поведения модели в нестандартных ситуациях. В результате возникают трудности внедрения ИИ-решений в различные сферы, так как невозможно гарантировать отсутствие скрытых ошибок в работе алгоритма. Данная проблема ставит серьезный вопрос: «Как работает искусственный интеллект?».

Основная часть. Визуализация работы алгоритмов искусственного интеллекта – это фундамент понимания их внутреннего устройства. Правильно построенные структурные диаграммы, графы вычислений (рисунок 1), дендрограммы, тепловые карты позволяют визуализировать абстрактные математические концепции и сделать их доступными для широкого круга специалистов. Перечисленные двумерные методы визуализации, являясь плоскими и статичными, не передают топологию связей между нейронами и слоями, динамику распространения и масштаб параметров. Это означает, что разработчик видит архитектуру, но не видит процесса обучения: например, как отдельные нейроны активируются в ответ на различные входные данные.

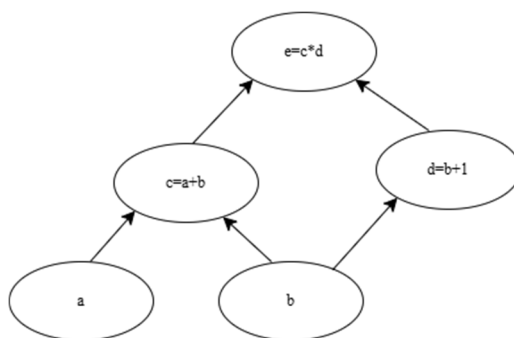


Рисунок 1 – Граф вычислений

Для решения проблем непонимания работы алгоритмов машинного обучения сегодня разработано множество инструментов и методов, выходящих за рамки статичных схем. Например, для преодоления описанных выше ограничений предлагается следующий подход:

иммерсивная научная визуализация внутренних пространств искусственного интеллекта в средах виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности. Преимуществом такой визуализации является интерактивность. Пользователь может «заглянуть» внутрь нейрона, получив информацию о типах входных данных, динамически изменять входные параметры, выявлять ложные корреляции [2].

Разнообразные способы визуализации признаков позволяют более точно определить, что именно активирует нейрон, проверять прогнозы относительно того, какие входные сигналы будут активировать нейрон.

Для визуализации алгоритмов нейронных сетей существует множество решений. Например, иммерсивная визуализация данных Google Experiments, где можно визуализировать данные в объемной форме [3].

На рисунке 2 можно увидеть, как нейронные сети формируют свое понимание изображений.

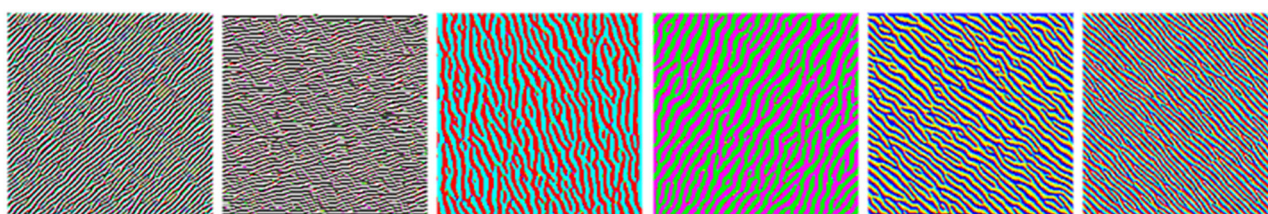


Рисунок 2 – Ребра (слой conv2d0)

Для образовательных целей может быть использован инструмент на базе TensorFlow Embedding Projector, позволяющий в интерактивном режиме исследовать многомерные пространства признаков [4]. Он дает возможность визуализировать 10 000 векторов word2vec, спроецированных в трехмерное пространство с использованием методов снижения размерности. Пользователю предоставляется возможность анализировать ближайших соседей, наблюдать семантические связи между словами, изучать кластеризацию данных в реальном времени, взаимодействуя с трехмерной моделью.

Такой же подход может быть применен к визуализации набора рукописных цифровых данных MNIST (рисунок 3), где каждое изображение проецируется в пространство объекта, а точки заменяются миниатюрами самих цифр, что позволяет визуально оценить, как нейронная сеть группирует визуально похожие образцы [5]. В результате разработчик может обнаружить закономерности в ошибках классификации: например, увидеть, как алгоритм путает графически схожие «5» и «6», или выявить аномальные экземпляры.

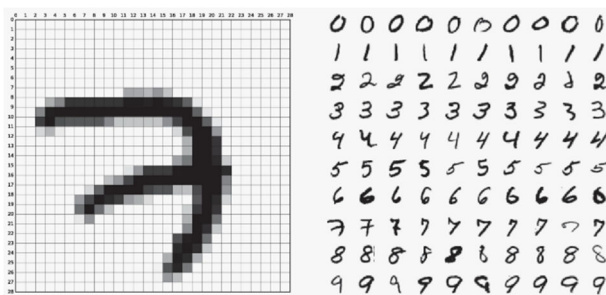


Рисунок 3 – Примеры рукописных цифр из обучающей выборки MNIST

Такая визуализация ценна для анализа качества обученной модели и выявления систематических ошибок, для получения представления о том, какие именно признаки усваивает сеть и где проходят границы принятия решений.

На практике ранее описанные методы визуализации находят прямое применение. В медицине врач-радиолог, используя установку с AR-приложением, может направить камеру

на КТ-снимок и увидеть тепловую карту, выделяющую подозрительную область. Дополнительное цветовое кодирование может отображать динамику изменений состояния здоровья пациента (например, при сравнении с предыдущими снимками пациента, где синим отмечены стабильные области, а красным – участки с негативной динамикой).

Студент, изучающий машинное обучение, может в интерактивном VR-симуляторе поместить любые данные на входную плоскость визуализированной сети и наблюдать, как данные проходят через фильтры и слои.

Описанные иммерсивные среды уже используются разработчиками и исследователями. Разработчик может визуально осмотреть трехмерный граф вычислений, приблизить интересующий участок и проверить, как проходят сигналы через отдельные нейроны. Это позволяет быстро находить неработающие элементы сети и исправлять ошибки еще до того, как начнется дорогостоящее обучение модели [6].

Заключение. Визуализация алгоритмов искусственного интеллекта – это не просто эффективный способ показать сложные вычисления. Это помогает исследовать и понять работу алгоритмов искусственного интеллекта, что является критически необходимым для понимания внутренней логики нейронных сетей. Без визуализации многие процессы остаются абстрактными математическими конструкциями, доступными лишь узким специалистам. Трехмерные графы вычислений, тепловые карты активности и иммерсивные среды превращают нейросети из «черного ящика» в наблюдаемую и изучаемую систему. По мере усложнения моделей роль визуализации будет только возрастать, становясь неотъемлемой частью рабочего процесса при создании и анализе различных систем искусственного интеллекта. Визуализация может стать ключевым инструментом в понимании работы алгоритмов, позволяя не просто наблюдать за результатом, но и анализировать причинно-следственные связи внутри модели.

Список литературы

1. Харбанс, Р. Грогаем алгоритмы искусственного интеллекта / Р. Харбанс ; пер. с англ. А. Киселёва. – СПб. : Питер, 2023. – 368 с.: ил. – (Серия «Библиотека программиста»). – ISBN 978-5-4461-2924-9.
2. Визуализация функций [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://distill.pub/2017/feature-visualization/>. Дата доступа: 10.02.2026.
3. Experiments with Google: Fractal [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://experiments.withgoogle.com/search?q=Fractal>. Дата доступа: 10.02.2026.
4. Встраивания: интерактивные упражнения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/embeddings/interactive-exercises?hl=ru>. Дата доступа: 24.02.2026.
5. База данных MNIST с рукописными цифрами [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/azure/open-datasets/dataset-mnist>. Дата доступа: 24.02.2026.
6. Машинное обучение [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/mashinnoye-obucheniye>. Дата доступа: 24.02.2026.

UDC 004.923:004.8

VISUALIZATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS

Kukhta V.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vasilkova A.N. – Senior Lecturer at the Department of EPE

Annotation. The rapid development of artificial intelligence is accompanied by a lack of understanding of its internal logic. Complex neural network models remain opaque, posing risks in terms of security, ethics, and trust. Visualization helps you explore and understand how artificial intelligence algorithms work.

Keywords: artificial intelligence, visualization, algorithm, neural network, immersive visualization, model.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ И ПРОИЗВОДСТВА RDF-ТОПЛИВА

Гурман В.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Ильясова М.С. – магистр, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Статья посвящена всестороннему техническому анализу применения методов искусственного интеллекта, прежде всего компьютерного зрения и нейросетевых алгоритмов, в технологиях переработки твердых коммунальных отходов и производства RDF-топлива в Республике Беларусь. Рассматриваются нормативные и стратегические предпосылки модернизации отрасли, физико-химические характеристики RDF, требования к его качеству, архитектура интеллектуальных сортировочных линий, сенсорные системы и выбор нейросетевых моделей для классификации материалов в реальном времени. Приведены сравнительные характеристики RDF и традиционных энергоносителей, проанализирована мировая практика внедрения ИИ в отрасли и дана оценка экономической и экологической эффективности подобных решений.

Ключевые слова: искусственный интеллект, RDF-топливо, компьютерное зрение, сортировка отходов, нейросети, NIR-спектрометрия, аналитика данных, экономика замкнутого цикла

Введение. В рамках Национальной стратегии развития экономики замкнутого цикла Республики Беларусь до 2035 года поставлена задача достичь 90 % повторного использования твердых коммунальных отходов, что требует модернизации сортировочных мощностей и внедрения интеллектуальных систем автоматизации [1]. Традиционные методы сортировки (механические сепараторы, магнитные установки, ручной труд) не обеспечивают требуемой точности при работе со смешанными полимерными и комбинированными материалами. При производстве RDF-топлива это критично: недостаточная точность сортировки снижает его теплотворную способность и стабильность состава, увеличивая экологические риски.

Основная часть. В Республике Беларусь отрасль обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) находится в стадии активной цифровой и технологической трансформации. Реализуется система раздельного сбора вторичных материальных ресурсов, проводится реконструкция мусоросортировочных комплексов и увеличиваются мощности переработки. В частности, модернизируются крупные объекты, такие как сортировочные линии на полигоне «Тростенецкий» в Минске, проектной мощностью до 600 тыс. тонн в год [2].

На отдельных предприятиях, включая завод вторичных ресурсов «Восточный» (Могилевская область), внедряются пилотные решения по автоматизированной сортировке полимерных отходов с использованием компьютерного зрения. Параллельно развивается направление производства RDF-топлива для цементной промышленности и энергетических установок, где оно используется как частичный заменитель угля.

Нормативные требования к RDF в Республике Беларусь ориентированы на обеспечение стабильной низшей теплоты сгорания, ограничение содержания хлора (как правило, не более 1 %), снижение зольности и минимизацию примесей тяжелых металлов [3]. Соответствие этим параметрам напрямую зависит от эффективности автоматической селекции фракций.

RDF представляет собой твердое восстановленное топливо, получаемое из высококалорийных фракций твердых коммунальных отходов путем удаления инертных и опасных компонентов, последующего измельчения, сушки и гомогенизации. Основу RDF составляют полимерные материалы, текстиль, бумага и другие горючие фракции.

Сравнительный анализ энергетических характеристик RDF и традиционных видов топлива представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики RDF и традиционных энергоносителей

Показатель	RDF	Каменный уголь	Природный газ
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	14–25	20–30	~50
Влажность, %	≤20	–	–
Зольность, %	15–30	12–25	практически отсутствует
Содержание хлора, %	≤1	–	практически отсутствует
Содержание серы, %	≤0,5	≤2	–

Ключевой технологической задачей является исключение ПВХ и других хлорсодержащих пластиков, поскольку их сгорание приводит к образованию коррозионно-активных соединений и токсичных выбросов. Таким образом, качество RDF напрямую определяется точностью автоматизированной сортировки. Интеллектуальная линия сортировки включает сенсорный блок, вычислительный блок, систему исполнительных механизмов и программный модуль искусственного интеллекта. Сенсорный блок формируется на основе комплекса датчиков. В его состав входят RGB-камеры высокого разрешения, обеспечивающие получение базовой визуальной информации о цвете и текстуре объектов, и NIR-спектрометры диапазона 900–1700 нм.

Вычислительный блок реализуется на базе графических процессоров (GPU) или FPGA-платформ, обеспечивающих выполнение нейронных сетей в режиме реального времени с задержкой менее 100 мс. Программный модуль ИИ включает модели сегментации и классификации, определяющие тип материала, вероятность принадлежности к целевой фракции, координаты и скорость движения объекта. Система исполнительных механизмов (пневмосепараторы, механические отбойники и роботизированные манипуляторы) осуществляет физическое разделение фракций в соответствии с принятым решением.

Алгоритм функционирования системы включает последовательные этапы мультисенсорного сканирования, предобработки данных, сегментации объектов, классификации по вероятностным признакам, расчета траектории движения и определения момента срабатывания исполнительного механизма. Такая архитектура минимизирует ложные срабатывания и повышает долю целевых фракций в конечном топливе.

Для реализации автоматической сортировки применяются современные модели глубокого обучения. Алгоритмы семейства YOLO (версии v5–v8) обеспечивают детекцию объектов в реальном времени и подходят для обработки конвейерного потока со скоростью реакции порядка 50–100 мс. Mask R-CNN используется для точной сегментации перекрывающихся объектов. Сверточные нейронные сети типа ResNet и EfficientNet применяются для высокоточной классификации на основе RGB- и NIR-данных.

Международный опыт демонстрирует значительный эффект от внедрения интеллектуальных систем. Норвежская компания TOMRA сообщает о достижении точности разделения пластиков до 95 % при использовании нейросетевых алгоритмов в оптических сепараторах [4]. Финская компания ZenRobotics внедрила роботизированные манипуляторы с ИИ-классификацией, обеспечивающие до 3000 операций сортировки в час с точностью позиционирования ±5 мм [5]. Американская компания AMP Robotics демонстрирует повышение качества сортировки пластиковых фракций на 20–30 % при сокращении ручного труда до 70–80 % [6]. В цементной промышленности Японии использование компьютерного зрения позволило снизить содержание ПВХ в RDF на 30–40 % по сравнению с традиционными линиями [7]. Применение глубоких нейросетей увеличивает точность классификации отходов в среднем на 12–18 % по сравнению с оптическими методами без интеллектуальной обработки данных [8].

Применение искусственного интеллекта в автоматизации сортировки позволяет увеличить долю качественного RDF на 15–25 %, снизить затраты на ручной труд на 60–80%, сократить операционный цикл сортировки на 30–40 % [9].

Заключение. Анализ технических требований, состояния отрасли в Республике Беларусь и мировой практики показывает, что искусственный интеллект является ключевым технологическим драйвером модернизации системы переработки отходов и производства RDF-топлива. Интеграция мультисенсорных систем (RGB + NIR + 3D), высокопроизводительных нейросетевых архитектур и аналитики данных позволяет существенно повысить точность сортировки, увеличить долю качественного RDF,

минимизировать влияние человеческого фактора и обеспечить экономическую и экологическую устойчивость отрасли. Это формирует основу для перехода к полностью цифровым и адаптивным производственным системам переработки отходов.

Перспективы развития связаны с внедрением edge-AI, расширением использования IoT-датчиков, обучением моделей на локальных белорусских данных и стандартизацией национальных требований к контролю качества RDF. Комплексное и технически обоснованное внедрение ИИ-технологий позволит Республике Беларусь достичь стратегических целей в области экономики замкнутого цикла и устойчивого промышленного развития.

Список литературы

1. Национальная стратегия развития экономики замкнутого цикла до 2035 года. – Утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь, 20.12.2023, № 521. – Минск, 2023.
2. Официальный сайт ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vtooperator.by>. – Дата доступа: 04.03.2026.
3. ТКП 17.11-08-2020 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Топливо из отходов (RDF). Технические условия. – Минск: Госстандарт, 2020.
4. TOMRA Sorting Solutions. Case Study: Increased Plastic Purity with AI [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.tomra.com>. – Date of access: 04.03.2026.
5. ZenRobotics. ZenRobotics 4.0: Technical Specifications [Electronic resource]. – Mode of access: <https://zenrobotics.com>. – Date of access: 04.03.2026.
6. AMP Robotics. 2024 Impact Report [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.amprobotics.com>. – Date of access: 04.03.2026.
7. Suzuki, T. Application of AI Vision Systems in Japanese Cement Industry for RDF Quality Improvement / T. Suzuki, K. Tanaka // *Journal of Material Cycles and Waste Management*. – 2023. – Vol. 45, № 3. – P. 215–223.
8. Wang, L. Deep Learning for Waste Classification: A Comprehensive Review / L. Wang, Y. Zhang // *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. – 2024. – Vol. 20, № 2. – P. 1542–1557.
9. Wilts, H. Artificial Intelligence in the Sorting of Municipal Waste as an Enabler of the Circular Economy / H. Wilts, B. R. García, R. G. Gómez // *Resources*. – 2021. – Vol. 10, № 4. – Article 28.

UDC 004.932:628.472.3

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN WASTE RECYCLING TECHNOLOGIES AND RDF FUEL PRODUCTION

Gurman V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Ilyasova M.S. – Master of Sci., assistant of the Department of EPE

Annotation. The article provides a comprehensive technical analysis of artificial intelligence (AI) applications, primarily computer vision and neural network algorithms, in municipal solid waste (MSW) recycling technologies and refuse-derived fuel (RDF) production in the Republic of Belarus. The study examines the regulatory and strategic prerequisites for industry modernization, the physicochemical characteristics of RDF, and its quality requirements. Furthermore, it details the architecture of intelligent sorting lines, sensor systems, and the selection of neural network models for real-time material classification. The paper presents a comparative analysis of RDF versus traditional energy sources, reviews global practices of AI implementation in the industry, and evaluates the economic and environmental efficiency of such solutions.

Keywords: artificial intelligence, RDF fuel, computer vision, waste sorting, neural networks, NIR spectrometry, data analytics, circular economy.

ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА В ПРЕДУПРЕЖДЕНИИ АВАРИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Калугина В.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Ильясова М.С. – магистр, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Статья посвящена применению предиктивной аналитики для предотвращения аварий на промышленных предприятиях. Рассматриваются технологические основы подхода, включая IoT-датчики, Big Data и машинное обучение, а также роль цифровых двойников на примерах в металлургии, авиации, газоснабжении и машиностроении.

Ключевые слова: предиктивная аналитика, промышленная безопасность, машинное обучение, IoT, цифровые двойники, мониторинг оборудования

Введение. Понятие «Промышленная авария» подразумевает возникновение чрезвычайной ситуации на предприятии, ставшей причиной остановки или выхода из строя производственного оборудования [1]. Подобные техногенные происшествия не только ведут к разрушению инфраструктуры предприятия, но и негативно сказываются на здоровье и жизни людей. Из-за внезапных поломок и простоев оборудования могут останавливаться целые производственные линии, что приводит к значительным убыткам для компаний. Классическая система планово-предупредительного ремонта (ППР), привязанная к определенному графику, всё чаще демонстрирует свою низкую эффективность. Она не учитывает реальное техническое состояние оборудования, что приводит либо к «переремонту» (меняются еще исправные детали, появляются неоправданные траты), либо к большому количеству незапланированных работ. Предиктивная аналитика способна исправить упомянутую выше ситуацию, позволяя перейти от обслуживания по графику к обслуживанию по фактическому состоянию оборудования.

Основная часть. Предиктивная аналитика (Predictive Analytics) – это процесс анализа данных и использования статистических алгоритмов и машинного обучения для прогнозирования будущих событий или результатов [2]. Система собирает потоковые данные, которые достигают сотни параметров в секунду, с контроллеров и датчиков и прогнозирует отказы оборудования на основе полученной информации.

Технологически предиктивная аналитика основывается на трёх ключевых компонентах:

- IoT-датчиках, непрерывно собирающих данные о вибрации, температуре, давлении, токе и других параметрах работы оборудования;
- инфраструктуре Big Data, способной обрабатывать миллиарды записей;
- модели машинного обучения, выявляющей неочевидные для человека закономерности и аномалии.

Значимое место занимают цифровые двойники – виртуальные копии оборудования, получающие данные с объектов в режиме реального времени. На таких моделях можно тестировать сценарии «что, если» без риска для производства, а также обучать персонал действиям в аварийных ситуациях.

Работа цифрового двойника строится на последовательном взаимодействии нескольких компонентов. Сначала датчики на оборудовании фиксируют такие параметры его работы, как температуру, вибрацию, давление, нагрузку. Эти данные передаются в систему сбора и обработки (IoT-платформу), где очищаются и агрегируются. Затем анализируются ML-модулем, который прогнозирует возможные отклонения, и используются цифровым двойником для формирования отчётов и предупреждений, которые инженер получает в виде

панели мониторинга или уведомления о потенциальной неисправности. На рисунке 1 представлено описанное взаимодействие компонентов.



Рисунок 1 – Схема взаимодействия компонентов предиктивной аналитики

Результативность такого подхода подтверждается успешным внедрением предиктивной аналитики в промышленности по всему миру. На металлургическом заводе – ведущем производителе сплавов – система DataMind AI от Razor Labs в марте 2025 года зафиксировала повышенную осевую вибрацию на мощном агло-вентиляторе. Традиционные средства виброконтроля отклонений не выявили, однако алгоритмы машинного обучения продолжили повышать уровень критичности агрегата. Принудительная остановка обнаружила два скрытых дефекта: несоосность муфты и дисбаланс рабочего колеса. Причинами стали незакрытый кожух всасывания после ремонта и повреждение лопаток от удара посторонним предметом. Благодаря ранней диагностике на основе ИИ ремонтная бригада вмешалась до наступления отказа, что позволило избежать разрушения узла. Предотвращённый ущерб оценивается в 336 тысяч долларов [3].

Ещё одним ярким примером служит опыт корпорации General Electric – одного из пионеров внедрения цифровых двойников. В авиации и энергетике GE создаёт виртуальные копии двигателей и турбин, которые получают данные с сотен датчиков в реальном времени. Это позволяет не только прогнозировать износ и предотвращать отказы, но и тестировать новые конструкторские решения без риска для реального оборудования. Сквозное применение цифровых двойников помогло клиентам GE сэкономить 1,6 млрд долларов, сократить производственные отходы на 75% и снизить эксплуатационные затраты на 30% [4]. Данный случай показывает, что предиктивная аналитика способна работать не только как система раннего оповещения об авариях, но и как комплексный инструмент оптимизации производства.

Технологии предиктивной аналитики активно развиваются и в Беларуси. Одним из наиболее масштабных проектов стало создание цифрового двойника газораспределительной системы страны, реализованное ГПО «Белтопгаз» совместно с Полоцким государственным университетом имени Евфросинии Полоцкой. Разработка представляет собой комплекс программных средств, интегрированных с реальными технологическими процессами газоснабжающих организаций. На базе университета развернута специализированная лаборатория, где технологические процессы воспроизведены в условиях, идентичных реальным [5]. Это позволяет не только моделировать состояние газопроводов и оборудования в режиме реального времени, но и формировать научно-методическую базу для прогнозирования аварийности на объектах газоснабжения.

В машиностроительной отрасли предприятие ОАО «БЕЛАЗ» разработало и внедрило собственную интеллектуальную систему мониторинга (IMS – Intelligent Monitoring System), которая устанавливается на самосвалы особо большой грузоподъемности еще на сборочном конвейере. Система позволяет полностью отслеживать и контролировать техническое состояние парка самосвалов, оценивать эффективность работы техники, основываясь на

данных телеметрии и GPS-позиционирования, обнаруживать нарушения эксплуатации и прогнозировать выход из строя указанных узлов в привязке к местоположению и режимам эксплуатации, изучать историю работы самосвала, а также строить графики полученных величин [6]. Ключевая особенность IMS заключается в способности к самообучению. По мере накопления данных система прогнозирует отказ конкретных узлов с учетом индивидуальных условий эксплуатации каждой машины: климатического региона, профиля трассы, загруженности и стиля вождения оператора. Это позволяет сервисным службам горнодобывающих предприятий своевременно проводить обслуживание, предотвращая внезапные остановки техники в карьере. Хотя стоимость внедрения подобных систем мониторинга варьируется в зависимости от масштаба парка техники, мировой опыт свидетельствует о быстрой окупаемости таких инвестиций. По данным аналитических отчетов в сфере промышленного интернета вещей (IIoT), внедрение предиктивной аналитики позволяет снизить затраты на техническое обслуживание на 20-30% и увеличить время безотказной работы оборудования до 45%. Для таких горнодобывающих предприятий, эксплуатирующих технику, как БЕЛАЗ, это означает, что инвестиции в IMS окупаются менее чем за год за счет предотвращения простоев, стоимость которых может достигать десятков тысяч долларов в час.

Заключение. Предиктивная аналитика сегодня перестала быть экспериментальной технологией и превратилась в действенный инструмент повышения промышленной безопасности и экономической эффективности. Рассмотренные примеры демонстрируют, что внедрение систем на базе искусственного интеллекта и цифровых двойников позволяет снизить риск аварий, предотвратить многомиллионные убытки от простоев и оптимизировать затраты на ремонты.

Список литературы

1. Промышленные происшествия: трагические инциденты и их последствия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://metallcheckiy-portal.ru/articles/bezopasnost/promishlennye_proisshestvia_tragicheskie_incidenti_i_ix_posledstvia. – Дата доступа: 24.02.2026.
2. Предиктивная аналитика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sochisiri.ru/news/7349>. – Дата доступа: 25.02.2026.
3. Фрагмент тематического исследования: Объединение данных с датчиков позволяет выявить механическую деградацию вентилятора спекательного оборудования до его выхода из строя. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.razor-labs.com/sensor-fusion-identifies-mechanical-degradation-in-sinter-fan-before-failure/>. – Дата доступа: 25.02.2026.
4. 4 типа цифровых двойников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://digitaldirections.com/4-types-of-digital-twins-basic-overview-with-examples/#ge-aviation>. – Дата доступа: 25.02.2026
5. Открытие инновационной лаборатории цифровых двойников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.psu.by/ru/novosti/sobytiya/otkrytie-innovatsionnoj-laboratorii-tsifrovyykh-dvojnikov>. – Дата доступа: 26.02.2026
6. IMS: интеллектуальная система мониторинга и прогнозной аналитики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bitlogistic.ru/statii/ims-intellektualnaya-sistema-monitoringa-i-prognoznnoj-analitiki>. – Дата доступа: 26.02.2026.

UDC 004.774:331.45

PREDICTIVE ANALYTICS IN PREVENTING ACCIDENTS AT ENTERPRISES

Kalugina V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Ilyasova M.S. – Master of Sci., assistant of the Department of EPE

Annotation. The article focuses on the application of predictive analytics to prevent accidents in industrial enterprises. It explores the technological foundations of this approach, including IIoT sensors, Big Data, and machine learning, as well as the role of digital twins in industries such as metallurgy, aviation, gas supply, and mechanical engineering.

Keywords: predictive analytics, industrial safety, machine learning, IIoT, digital twins, equipment monitoring

ТРАНЗАКЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В СФЕРЕ ФИНАНСОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кохан А.Д.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Василькова А.Н. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье рассмотрена роль транзакционных систем в работе современных финансовых учреждений, описаны компоненты таких систем и принципы их функционирования и взаимодействия друг с другом и с внешними системами.

Ключевые слова: финансовые технологии, транзакционная система, Java, база данных, брокер сообщений, сервер приложений.

Введение. Стремительное развитие финансовых технологий является ключевым двигателем цифровой трансформации мировой экономики, и его устойчивый рост в условиях цифровизации, глобальной конкуренции и повышенных требований к безопасности напрямую зависит от активного внедрения и интеграции новейших технологий. Развитие этой сферы оказывает глубокое и многогранное положительное влияние на мир, выходящее далеко за рамки просто удобств клиентов банков. Это стало возможным благодаря развитию автоматизированных банковских систем, которые на данный момент являются основой рабочего процесса практически всех финансовых учреждений, что признают такие большие исследовательские компании как Gartner и IBM [1].

Основная часть. Gartner определяет основную банковскую систему как внутреннюю автоматизированную систему, которая обрабатывает ежедневные банковские операции и производит обновление счетов и других финансовых записей [2]. Основные банковские системы обычно включают в себя возможности обработки депозитов, займов и кредитов, с возможностью подключения к стандартным системам бухгалтерского учёта и инструментам отчетности.

В настоящее время многие крупные финансовые учреждения могут самостоятельно разработать свою систему и не прибегать к решениям других компаний-разработчиков. В некоторых случаях финансовое учреждение может купить лицензию на уже готовый продукт, такие решения называются коробочный программный продукт. Это значит, что техническим специалистом учреждения придётся самостоятельно интегрировать продукт в свой процессинг и произвести некоторые настройки, прежде чем он начнёт выполнять свою функцию. Он поставляется на условиях «как есть», со стандартными для всех покупателей функциями [3]. В отличие от заказного программного продукта, само появление которого обусловлено требованием конкретного заказчика. И в отличие от проектного программного продукта, продажа которого может, по требованию заказчика, сопровождаться проектной доработкой или разработкой функций, дополняющих стандартные возможности. Распространённым примером таких продуктов являются Oracle FLEXCUBE, SAP Transactional Banking [4] и Temenos Transact, на примере которого далее в этой статье будет подробнее рассмотрено устройство подобных систем.

Комплексно архитектуры систем обычно характеризуют как монолитную или микросервисную. Монолитная архитектура – это традиционная модель программного обеспечения, которая представляет собой единый модуль, работающий автономно и независимо от других приложений. Микросервисная архитектура представляет собой метод организации архитектуры, основанный на ряде независимо развертываемых служб. У этих служб есть собственная бизнес-логика и база данных с конкретной целью [5].

Рассматриваемую в статье систему Temenos Transact правильнее было бы характеризовать как монолитную, но с оговоркой на то, что это модульный монолит. Модульный монолит – это архитектурный подход, который сочетает в себе аспекты как монолитной, так и модульной парадигм проектирования [6]. Вместо того чтобы разбивать приложение на отдельные микросервисы или распределенные компоненты, что может привести к усложнению процесса развертывания и затратам на связь, модульный монолит организует кодовую базу в виде четко определенных модулей в рамках одного приложения. Эти модули обычно организованы на основе бизнес-возможностей или принципов проектирования, основанных на предметной области. Далее будет рассмотрено как это реализовано в системе.

Автоматизированная банковская система работает на сервере, расположенном либо в центре обработки данных финансового учреждения, либо предоставляемого, по принципу IaaS (инфраструктура как услуга), другой организацией, например Amazon Web Services [7]. Такой сервер может работать под управлением операционной системы Windows Server или множества серверных дистрибутивов Linux, например RedHat или Oracle [8]. При необходимости можно использовать и десктопные версии операционных систем, что запустить систему локально на рабочем компьютере или ноутбуке. Это может потребоваться в процессе разработки, т.к. содержать отдельные сервера может быть экономически невыгодно.

Система Temenos Transact традиционно использует серверы приложений для функционирования. Сервер приложений – это тип сервера, на котором размещается программное обеспечение, используемое для исполнения бизнес-логики. В системах, связанных с финансовыми услугами или мониторингом, код системы содержит бизнес-логику, которая позволяет ей исполнять свои функции. Бизнес-логика – это логика, применяемая для того, чтобы помочь системе выполнять критически важные операции, такие как транзакции или вычисления, на основе бизнес-правил. Обычно она определяет вычислительные задачи и порядок их выполнения [9]. Примерами таких веб-серверов являются IBM WebSphere и RedHat JBoss. Систему Temenos Transact традиционно разворачивают с помощью RedHat JBoss Enterprise Application Platform, который способен исполнять Java код, добавленный к нему с помощью jar, war и ear архивов. JBoss может применяться как на Windows, так и на Linux за счёт дублирования скриптов в bash и bat формат и за счёт использования виртуальной машины Java.

В качестве базы данных для хранения сущностей системы может использоваться любая реляционная система управления базами данных, например Oracle Database, Microsoft SQL Server или PostgreSQL. В базе данных системы присутствует более 60 тысяч таблиц и более 40 тысяч представлений. Такое большое количество данных обусловлено не только сложностью вычислений финансовых показателей, но и вызвано необходимостью распределения данных одной сущности по нескольким физическим таблицам для облегчения работы с данными и обеспечения возможности ленивой загрузки. Ленивая загрузка – это способ извлечения данных из базы при котором полный набор данных извлекается лишь при необходимости, предоставляя базово лишь часть данных или только идентификатор записи [10]. Также причинами большого количества данных в некоторых случаях становятся ошибки разработчиков системы, например, некоторые сущности дублируются в разных таблицах, какие-то таблицы перестают применяться из-за устаревания механизмов, которые их использовали, но при этом не удаляются из системы, а продолжают накапливаться [11]. Когда продукт долго разрабатывается большой командой, возникают архитектурные ошибки, которые приводят к негативным последствиям в виде увеличенного объёма системы и понижения производительности.

Для обмена сообщениями между исполняемыми модулями системы, которыми, в данном примере, являются java архивы используются брокеры сообщений. Брокер сообщений – это программное обеспечение, которое позволяет приложениям, системам и службам взаимодействовать и обмениваться информацией, даже если они написаны на разных языках или реализованы на разных платформах, путем перевода сообщений между официальными

протоколами обмена сообщениями [12]. Temenos Transact использует Apache ActiveMQ или Artemis для обмена сообщениями через очереди и по принципу темы и подписчика. Однако существует возможность при необходимости подключить сторонний брокер, который совершенно не обязательно должен работать внутри JBoss. Так, например, некоторые микросервисы, которые компания Temenos разработала, в последнее время требуют разворачивания брокера сообщений Apache Kafka.

Заключение. Для обработки данных в финансовых учреждениях используются различные программное обеспечение, которое было разработано по проекту для конкретной организации или разработанной для продажи по лицензии одной из технологических компаний. Такое программное обеспечение называется автоматизированной банковской системой. В качестве примера, в этой статье, была разобрана транзакционная система Temenos Transact и набор технологий, который используется в совокупности с ней. За исключением систем управления базой данных, которая может использовать любой другой набор технологий, почти все компоненты экосистемы Temenos Transact работают с применением технологий Java. Причиной тому является баланс между небольшой сложностью разработки, надёжностью, безопасностью и высокой производительностью набора технологий Java. За 30 лет своего существования Java зарекомендовала себя надёжным решением, к которому существует множество решений, что не только упрощает разработку, но и обеспечивает простоту интеграции с любыми прочими технологиями.

Список литературы

1. What is core banking? // IBM [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ibm.com/think/topics/core-banking>. Дата доступа: 30.01.2026
2. Core Banking System // Gartner [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/core-banking-systems>. Дата доступа: 30.01.2026
3. King, B. Bank 4.0: Banking Everywhere, Never at a Bank / Brett King // Wiley. – 2018. – Vol. 1. – P. 18.
4. Автоматизированные банковские системы // SOWARE [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://soware.ru/products/temenos-transact/alternatives>. Дата доступа: 01.02.2026
5. Ричардсон, К. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга / Крис Ричардсон // Питер. – 2021. – Vol. 1. – P. 52.
6. What Is a Modular Monolith? // Geeks for Geeks [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.geeksforgeeks.org/system-design/what-is-a-modular-monolith/>. Дата доступа: 01.02.2026
7. What are the types of cloud computing? // AWS Amazon [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://aws.amazon.com/types-of-cloud-computing/>. Дата доступа: 02.02.2026
8. Ванденбринк, Р. Linux для сетевых инженеров / Роб Ванденбринк // Питер. – 2023. – Vol. 1. – P. 31.
9. What is an application server? // IBM [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ibm.com/think/topics/application-server>. Дата доступа: 02.02.2026
10. Lazy Loading в Java // Хабр [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/819357/>. Дата доступа: 06.02.2026
11. Кэмпбелл, Л. Базы данных. Инжиниринг надёжности / Лейн Кэмпбелл, Черити Мейджорс // Питер. – 2021. – Vol. 1. – P. 278.
12. What is a message broker? // IBM [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ibm.com/think/topics/message-brokers>. Дата доступа: 06.02.2026

UDC 334.024

ONLINE TRANSACTION PROCESSING IN MODERN FINANCIAL TECHNOLOGY

Kokhan A.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Vasilkova A.N. – senior lecturer of department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. Current article examines the role of transactional systems in the workflow of modern financial institutions, describing the components of such systems and the principles of their functioning and interaction with each other and with external systems.

Keywords. financial technologies, online transaction processing, application programming interface, Java, database, message broker, application server.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕТЕКЦИИ И БАРЬЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ МИКРОПЛАСТИКА

Аксёнова А. А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Ильясова М. С. – магистр, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье проанализирована проблема микропластика как техногенного загрязнителя. Рассмотрены инструментальные методы его идентификации (ИК-Фурье и Рамановская спектроскопия, пиролизическая ГХ/МС) и выполнено сравнение эффективности технологий водоподготовки: механическая фильтрация (для частиц >20 мкм), мембранные методы (до 99% очистки) и сорбция. Отдельно оценена ситуация в Беларуси: представлены данные по содержанию микропластика в реках Свислочь и Днепр, питьевой воде Минска, а также эффективность работы очистных сооружений (КОС-2, КОС-3) в сравнении с международными решениями (ЕС, Япония, США).

Ключевые слова: микропластик, ИК-Фурье спектрометрия, мембранная фильтрация, обратный осмос, очистные сооружения, сточные воды, технический анализ, нанопластик.

Введение. Загрязнение окружающей среды микропластиком признано одной из глобальных экологических проблем XXI века [1]. Высокая устойчивость к деградации, способность к биоаккумуляции и трансграничному переносу делают микропластик новым классом техногенных загрязнителей, требующим разработки и внедрения эффективных методов детекции и барьерной защиты.

Особую опасность представляет нанопластик – фракция частиц размером менее 1 мкм, способная проникать через биологические барьеры, накапливаться во внутренних органах и служить транспортом для токсичных загрязнителей, сорбированных на поверхности частиц. В связи с этим вопросы контроля содержания микропластика в питьевой воде, а также предотвращения его поступления в природные водоемы со сточными водами приобретают критическое значение.

В Республике Беларусь, в рамках реализации принципов «зеленой» экономики и Национальной стратегии развития экономики замкнутого цикла до 2035 года, проблема обращения с отходами и предотвращения вторичного загрязнения водных объектов выходит на первый план [2]. Традиционные системы водоподготовки и очистки сточных вод изначально не проектировались для удаления частиц микропластика, однако современные исследования демонстрируют их потенциал в качестве барьера [3].

Основная часть. Проблема микропластика в водных объектах Беларуси находится на начальном этапе системного изучения. Актуальность исследований продиктована необходимостью оценки реального уровня загрязнения и эффективности работы существующих очистных сооружений. Городские очистные сооружения Минска являются ключевым звеном, предотвращающим поступление загрязнителей в бассейн р. Свислочь, и представляют собой важный объект для исследования [4].

Современная аналитическая химия предлагает несколько высокоточных методов идентификации микропластика, различающихся по принципу действия, чувствительности и области применения [3]. Наиболее распространены спектральные методы: ИК-Фурье спектрометрия (FTIR) и КР-спектроскопия, позволяющая анализировать частицы мельче 10 мкм. Для количественного определения массовой концентрации полимеров используется пиролиз-газовая хроматография/масс-спектрометрия [5].

Комбинирование методов позволяет получать наиболее полную информацию о загрязнении. Критически важным этапом остается пробоподготовка, включающая разделение частиц по плотности и фильтрацию через мембраны с заданным размером пор.

Эффективность удаления микропластика зависит от стадии водоподготовки или очистки сточных вод и реализуемых механизмов задержания. Сравнительный анализ представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики RDF и традиционных энергоносителей

Технология	Размер удаляемых частиц	Эффективность удаления, %	Механизм задержания
Механическая (песколовки, отстаивание)	>100 мкм	50–80	Седиментация, флотация
Микрофильтрация (МФ)	0.1–10 мкм	90–98	Ситовой
Ультрафильтрация (УФ)	0.01–0.1 мкм	98–99.9	Ситовой, образование гелевого слоя
Нанофильтрация (НФ) и Обратный осмос (ОО)	<0.001 мкм (до ионов)	>99.9	Диффузионный, растворение
Сорбция (активированный уголь)	10–100 мкм	30–70	Адсорбция
Коагуляция/флокуляция	1–100 мкм	60–90	Агломерация

Анализ данных таблицы позволяет сделать следующие выводы. Традиционные механические методы эффективны только для крупных частиц. Мембранные технологии демонстрируют принципиально более высокую эффективность: микрофильтрация задерживает практически весь микропластик (>0,1 мкм), ультрафильтрация обеспечивает удаление до 99,9% частиц, включая крупный нанопластик, а нанофильтрация и обратный осмос являются абсолютным барьером. Сорбционные методы в качестве самостоятельной технологии малоэффективны.

Анализ международного опыта и первых отечественных исследований позволяет оценить ситуацию в Беларуси [4]. Исследования, проведенные на р. Свислочь в черте города Минска и ниже по течению (в районе Королищевичей), фиксируют присутствие частиц микропластика в концентрациях от 0.2 до 0.8 частиц/м³, преимущественно в виде волокон и фрагментов полиэтилена (ПЭ), полипропилена (ПП) и полистирола (ПС) [6]. Концентрации варьируются в зависимости от сезона и гидрологического режима, однако прослеживается тенденция к их увеличению (в 1.5–2 раза) после прохождения через городскую черту, что указывает на вклад диффузных источников и недостаточно очищенных сточных вод. В р. Днепр в районе Могилева концентрации микропластика фиксируются на уровне 0.1–0.3 частиц/м³, что ниже, чем в Свислочи, но также требует системного мониторинга.

Очистные сооружения Минска, использующие полный цикл биологической очистки с доочисткой на песчаных фильтрах, демонстрируют высокую общую эффективность задержания микропластика (до 95–98%), сопоставимую с показателями современных европейских станций [1]. Основное удаление (до 80–90%) происходит на стадиях механической и первичной очистки, где частицы связываются с осадком и удаляются в составе сырого осадка и избыточного активного ила. Тем не менее, даже при столь высокой эффективности, абсолютное количество частиц, попадающих в реку с очищенными водами, остается значительным из-за больших объемов стоков. Расчеты показывают, что суточный сброс микропластика с очищенными водами КОС может составлять от 20 до 80 млн частиц, что создает потенциальную нагрузку на водную экосистему [5].

Сравнение с мировыми данными показывает схожую картину. В странах, Японии и США действуют директивы и национальные программы, стимулирующие исследования по дооснащению очистных сооружений ступенями мембранной фильтрации (МФ/УФ) для повышения барьерной функции, особенно в отношении нанопластика. В Японии внедрение мембранных биореакторов (МБР), сочетающих биологическую очистку с ультрафильтрацией, является стандартом для новых сооружений. В США Агентство по охране окружающей среды разрабатывает рекомендации по учету микропластика при проектировании систем водоснабжения.

В Беларуси применение мембранных технологий пока ограничено системами локальной водоподготовки для фармацевтической, электронной и пищевой промышленности. Для финальной доочистки городских сточных вод эти технологии используются в меньшей степени. Данное направление является перспективным для модернизации очистных сооружений. Техничко-экономические расчеты показывают, что внедрение ультрафильтрации на стадии доочистки может повысить эффективность удаления микропластика до 99.5–99.9% и обеспечить дополнительную защиту от бактериального и вирусного загрязнения [3].

Заклучение. Технический анализ показывает, что проблема микропластика требует комплексного подхода, сочетающего совершенствование методов детекции и модернизацию барьерных технологий. Современные инструментальные методы позволяют надежно идентифицировать и количественно оценивать загрязнение [1]. Мембранные технологии признаны наиболее эффективным барьером, способным задерживать до 99.9% частиц [5].

Для Республики Беларусь актуальными являются несколько задач. Прежде всего, необходима стандартизация методик отбора проб и анализа микропластика для получения сопоставимых данных по водным объектам. Важно проведение систематического мониторинга содержания микропластика в поверхностных водах, питьевой воде и сточных водах. Требуется технико-экономическое обоснование внедрения ступеней мембранной фильтрации на крупных очистных сооружениях для создания надежного технологического барьера. Также необходима реализация мер по снижению поступления пластика в окружающую среду на этапах производства, потребления и обращения с отходами, что напрямую коррелирует с целями Национальной стратегии развития экономики замкнутого цикла [2]. Решение этих задач позволит минимизировать экологические риски и обеспечить технологический суверенитет страны в области охраны водных ресурсов.

Список литературы

1. TOMRA Sorting Solutions. Case Study: Increased Plastic Purity with AI [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.tomra.com>. – Date of access: 04.03.2026.
2. Национальная стратегия развития экономики замкнутого цикла до 2035 года. – Утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь, 20.12.2023, № 521. – Минск, 2023.
3. Wang, L. Deep Learning for Waste Classification: A Comprehensive Review / L. Wang, Y. Zhang // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2024. – Vol. 20, № 2. – P. 1542–1557.
4. Официальный сайт ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vtoroperator.by>. – Дата доступа: 04.03.2026.
5. ZenRobotics. ZenRobotics 4.0: Technical Specifications [Electronic resource]. – Mode of access: <https://zenrobotics.com>. – Date of access: 04.03.2026.
6. ТКП 17.11-08-2020 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Топливо из отходов (RDF). Технические условия. – Минск: Госстандарт, 2020.

UDC 628.16.08:504.5:678.7

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF DETECTION AND BARRIER PROTECTION AGAINST MICROPLASTICS

Aksionava A. A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Ilyasova M.S. – Master of Sci., assistant of the Department of EPE

Annotation. The article analyzes the problem of microplastics as a technogenic pollutant. Instrumental methods for its identification (FTIR and Raman spectroscopy, pyrolytic GC/MS) are reviewed, and a comparison of the efficiency of water treatment technologies is carried out: mechanical filtration (for particles >20 µm), membrane methods (up to 99% purification) and sorption. The situation in Belarus is separately assessed: data on the content of microplastics in the Svisloch and Dnieper rivers, drinking water of Minsk, as well as the efficiency of wastewater treatment plants (WWTP-2, WWTP-3) in comparison with international solutions (EU, Japan, USA) are presented.

Keywords: microplastics, FTIR spectrometry, membrane filtration, reverse osmosis, wastewater treatment plants, wastewater, technical analysis, nanoplastics.

ФОТОНИКА – ЭЛЕКТРОНИКА БУДУЩЕГО

Коновалов Н.О., Богдевич К.С.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Бычек И.В. – к. т. н., доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Представлены основные направления фотоники. Показаны преимущества фотоники по сравнению с электроникой. Рассмотрены принципы работы и дальнейшее развитие.

Ключевые слова: фотоника, фотонные интегральные схемы, электроника

Введение. Современная наука стоит на пороге новой технологической революции – перехода от электроники к фотонике, то есть к системам, в которых перенос и обработка информации осуществляются с помощью света. Развитие фотоники связано с необходимостью преодоления ограничений, накладываемых законами физики на электронные устройства – предельные частоты переключения транзисторов, рост тепловых потерь и энергопотребления. Фотонные технологии обещают решения этих проблем, обеспечивая более высокие скорости передачи данных, низкие потери энергии и компактность систем [1].

Основная часть. Фотоника – наука и технология, изучающая создание, управление и использование света для передачи и обработки информации. Она включает в себя широкий спектр направлений – от волоконно-оптической связи до квантовых вычислений и лазерной медицины. Согласно определению Международного общества оптики и фотоники (SPIE), фотоника охватывает «все технологии, в которых используются фотоны для создания, управления и преобразования информации» [2]. В фотонике выделяют четыре основных направления (рисунок 1).



Рисунок 1 – Основные направления фотоники

Главный принцип фотоники заключается в использовании света как носителя информации. Фотонные технологии легли в основу интернета и глобальных

телекоммуникаций, обеспечивая передачу данных по оптоволоконным линиям со скоростью десятки терабит в секунду.

Фотоника рассматривается как естественное продолжение электроники, но между ними существуют принципиальные различия (таблица 1) [3].

Фотонные интегральные схемы (ФИС) представляют собой оптический аналог электронных микросхем. Такие схемы позволяют создавать оптические процессоры, где логические операции выполняются с помощью света. Скорость работы таких систем в сотни раз выше, чем у электронных чипов, а энергопотребление в десятки раз ниже [4].

Таблица 1 – Последовательность тестирования ФБ М

Параметр	Электроника	Фотоника
Носитель информации	Электроны	Фотоны
Скорость передачи данных	до 10 бит/с	до 10 бит/с
Энергопотребление	Высокое	Низкое
Перегрев	Значительный	Минимальный
Потери при передаче	Сопротивление, индукция	Оптическое затухание
Миниатюризация	Зависит от литографии	Ограничена длиной волны света (~500 нм)

Основные компоненты ФИС представлены на рисунке 2.

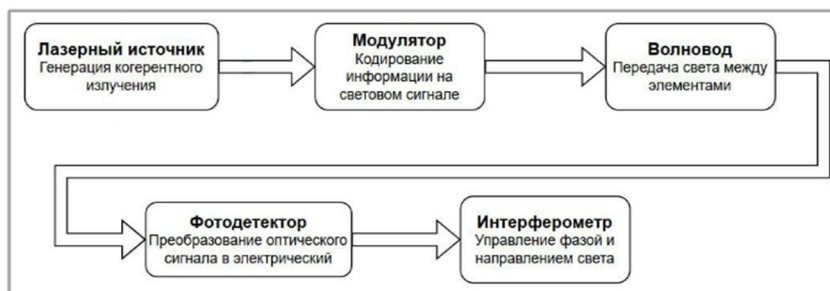


Рисунок 2 – Упрощенная структура фотонной интегральной схемы

Фотоника нашла широкое применение. Сегодня более 99 % межконтинентального трафика проходит по оптическим кабелям. Фотонные кубиты используются для создания квантовых компьютеров и абсолютно защищенной связи [5]. К основным направлениям будущей фотоники относятся фотонные нейроморфные системы, фотонные чипы для искусственного интеллекта, квантовые фотонные процессоры, гибридные электронно-фотонные платформы для центров обработки данных. Компании Intel, IBM и Huawei активно разрабатывают кремниевую фотонику – технологию интеграции фотонных компонентов прямо в микросхемы [6]. Эти решения позволят увеличить пропускную способность систем связи в сотни раз при сохранении совместимости с современными процессами производства.

Заключение. Фотоника – это не просто направление науки, а фундамент новой технологической эпохи. Использование света вместо электронов позволяет многократно ускорить вычисления, снизить энергозатраты и создать новые формы вычислительных систем.

Список литературы

1. Saleh, B. E. A. *Fundamentals of Photonics* / B. E. A. Saleh, M. C. Teich. – 2-е изд. – New York: Wiley, 2019. – 1518 с.
2. Agrawal, G. P. *Fiber-Optic Communication Systems* / G. P. Agrawal. – New York: Wiley, 2021. – 552 с.
3. O'Brien, J. L. *Quantum Photonic Technologies* / J. L. O'Brien // *Nature Photonics*. – 2020. – Vol. 14, № 4. – PP. 209–216.
4. Miller, D. A. B. *Attojoule Optoelectronics for Low-Energy Information Processing and Communications* / D. A. B. Miller // *Journal of Lightwave Technology*. – 2017. – Vol. 35, № 3. – PP. 346–396.
5. ITU. *Optical Fiber Networks and Global Internet Infrastructure* / International Telecommunication Union. – Geneva, 2022. – 86 с.
6. SPIE – International Society for Optics and Photonics. *Photonics Fundamentals* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://spie.org>. Дата доступа: 02.12.2025.

PHOTONICS: THE FUTURE OF ELECTRONICS

Konovalau N.O., Bogdevich K.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bychek I.V. – Cand. of Sci., associate professor of the department of ETT

Annotation. The main directions in photonics are presented. The advantages of photonics over electronics are demonstrated. Its operating principles and future developments are considered.

Keywords: photonics, photonic integrated circuits, electronics

СВЧ-КОМПОНЕНТЫ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Куприянович О.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бычек И.В. –к. т. н., доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Рассмотрены направления развития компонентов СВЧ-диапазона. Показано, что переход на миллиметровые и субмиллиметровые волны позволяет увеличить пропускную способность каналов связи и создать высокоточные сенсорные системы.

Ключевые слова: сверхвысокие частоты, СВЧ-компоненты, миллиметровые волны, монокристаллический алмаз, микроэлектромеханические системы, нейроморфные вычисления

Введение. Сверхвысокие частоты (СВЧ) являются основой функционирования современных систем беспроводной связи, радионавигации, радиолокации и дистанционного зондирования. В последнее время наблюдается стремительное развитие СВЧ-электроники, где научные открытия напрямую влияют на инженерные решения.

Основная часть. СВЧ – это вид электромагнитного излучения, занимающий в спектре место между радиоволнами и инфракрасным излучением. Диапазон СВЧ охватывает частоты от 300 МГц до 300 ГГц, что соответствует длинам волн от 1 м до 1 мм (рисунок 1) [1].

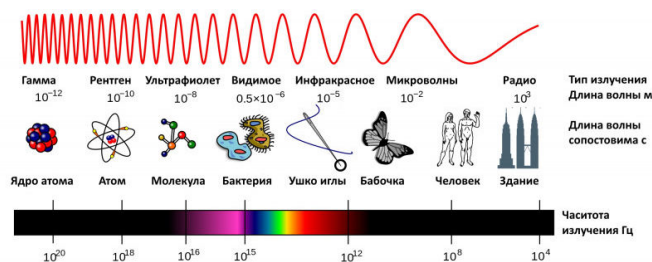


Рисунок 1 – Шкала электромагнитного спектра

Поскольку длина СВЧ-волн является промежуточной между световым излучением и обычными радиоволнами, они обладают свойствами и света, и радиоволн. Например, СВЧ-волны, как и свет, распространяются по прямой, перекрываются твердыми объектами, могут фокусироваться в луч и отражаться [2].

Одним из известных применений СВЧ-компонентов является микроволновая печь [3], однако на практике технологии на основе СВЧ встречаются значительно чаще: Bluetooth, Wi-Fi, спутники прямого вещания и GPS. Кроме того, СВЧ-технологии находят применение в радиоастрономии и спектроскопии, давая возможность ученым исследовать космические объекты и молекулярные строения [4].

СВЧ-компоненты обладают рядом ключевых преимуществ, определивших их широкое распространение. Благодаря высокой частоте они способны передавать значительные объемы информации, что делает их незаменимыми в системах беспроводной связи. Их способность эффективно взаимодействовать с веществом позволяет использовать СВЧ-излучение для нагрева, а возможность фокусировки в узкие лучи – для радаров и спутниковой связи. Кроме того, малая длина волны обуславливает компактность самих компонентов [5].

Однако эти технологии имеют и существенные ограничения. Ключевой недостаток – прямолинейное распространение микроволн, требующее прямой видимости между передатчиком и приемником. Сложность и высокая стоимость проектирования и производства СВЧ-компонентов, а также потенциальные риски для здоровья при длительном воздействии излучения также остаются актуальными вызовами, требующими строгого контроля [6].

Одной из ключевых тенденций развития СВЧ-компонентов является переход на миллиметровые и субмиллиметровые диапазоны. Например, современные сканеры в аэропортах, работающие в миллиметровом диапазоне СВЧ-излучения (70-80 ГГц), активно вытесняют устаревшее рентгеновское оборудование, поскольку позволяют безопасно создавать трехмерные изображения скрытых предметов за счет анализа естественного теплового излучения тела и отраженных микроволновых сигналов [7].

В производстве СВЧ-компонентов классические материалы, такие как кремний или нитрид галлия, все шире замещаются монокристаллическим алмазом. Методы микроволновой химии, способные в десятки раз ускорять химические реакции, открывают новые возможности, такие как переработка отходов и создание экологичных производств. Еще одно перспективное направление – развитие микроэлектромеханических СВЧ-компонентов (МЭМС). Эти детали ориентированы на портативные и мобильные устройства связи. МЭМС характеризуются миниатюрностью, низким энергопотреблением, высокой надежностью и устойчивостью к внешним нагрузкам [7].

Значительным прорывом стало создание микрочипа, который имитирует работу нейронов головного мозга с помощью микроволновых сигналов. Этот чип способен выполнять сложные задачи по обработке информации, такие как распознавание речи и рукописного ввода. Технология открывает путь к созданию нового поколения вычислительных систем, сочетающих высокую скорость обработки данных с энергоэффективностью [8].

Закключение. Ключевыми направлениями эволюции СВЧ-технологий являются освоение миллиметрового диапазона, применение перспективных материалов, например, монокристаллического алмаза, и миниатюризация компонентов на основе МЭМС. Особый потенциал демонстрируют нейроморфные вычисления, где микроволновые сигналы имитируют работу человеческого мозга для эффективного решения сложных задач. Таким образом, СВЧ-компоненты остаются фундаментом для технологического прорыва в таких областях, как связь нового поколения, искусственный интеллект и наукоемкие производства.

Список литературы

1. Microwave transmission [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.geeksforgoeks.org/electronics-engineering/microwave-transmission/>. Дата доступа: 27.11.2025.
2. СВЧ излучение. Физические характеристики. Область применения, в том числе в медицине. Влияние СВЧ излучения на организм. Патогенез воздействия. Профилактика воздействия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/16684112/page:63/>. Дата доступа: 27.11.2025.
3. Прирученные невидимки. Все о микроволновых печах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.elremont.ru/small.rbt/rem2.php>. Дата доступа: 27.11.2025.
4. Microwave Technology [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ebsco.com/research-starters/science/microwave-technology>. Дата доступа: 27.11.2025.
5. Микроволны, физические свойства, применение [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://focus-msk.ru/mikrovolny-fizicheskie-svoystva-primeneniye>. Дата доступа: 27.11.2025.
6. Выбор технологии СВЧ-транзисторов для использования в усилителях мощности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://microwave-e.ru/components/vybor-tehnologii-svch/>. Дата доступа: 27.11.2025.
7. Перспективы развития СВЧ-компонентов: новые технологии и идеи [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://acomsupply.com/perspektivy-razvitiya-svch-komponentov-novyye-tehnologii-i-idei/>. Дата доступа: 27.11.2025.
8. Ученые создали первый «микроволновый мозг»: уникальный микрочип [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hi-tech.mail.ru/news/132112-uchenye-sozdali-pervyj-mikrovolnovyj-mozg-unikalnyj-mikrochip/>. Дата доступа: 27.11.2025.

UDC 621.385.69

CHEMISTRY IN DISPLAY TECHNOLOGIES

Kuprianovich O.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bychek I.V. – Cand. of Sci., associate professor of the department of ETT

Annotation. The directions of the development of the components of the ultrahigh frequency range are considered. It is shown that the transition to millimeter and submillimeter waves makes it possible to increase the bandwidth of communication channels and create high-precision sensor systems.

Keywords: ultrahigh frequencies, microwave components, millimeter waves, single crystal diamond, microelectromechanical systems, neuromorphic computing

ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Николаеня С.Р., Сидоренко В.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Бычек И.В. – к. т. н., доцент кафедры ЭТТ

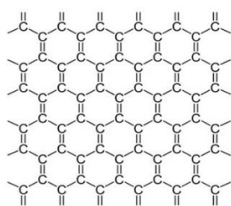
Аннотация. Проведен анализ современных достижений и перспективных направлений развития нанотехнологий как ключевого фактора технологического прогресса. Рассмотрена классификация наноматериалов по происхождению и свойствам. Изучены инновационные решения: огнезащитный аэрогель, биоразлагаемая упаковочная пленка, а также дезинфицирующие средства. Проанализирована динамика роста мирового рынка нанотехнологий и их интеграция в ключевые отрасли промышленности.

Ключевые слова: нанотехнологии, наноматериалы, аэрогель, биоразлагаемая упаковка, дезинфицирующие средства, рынок нанотехнологий, графен, нанотрубки, фуллерен

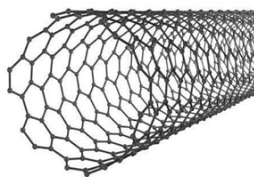
Введение. Нанотехнологии представляют собой междисциплинарную область науки и техники, ориентированную на создание и применение структур с размерами менее 100 нм. Идея нанонауки была предложена Р. Фейнманом в 1959 году, однако практическая реализация стала возможной лишь с развитием методов манипулирования веществом на атомарном уровне [1]. Уникальность нанообъектов проявляется в доминировании квантовых и поверхностных эффектов, что позволяет создавать материалы с принципиально новыми свойствами.

Основная часть. Классификация наноматериалов основана на их происхождении, химическом составе и структуре. Природные наноматериалы возникли в результате биологических и геологических процессов. Среди биогенных компонентов выделяются белки и нуклеиновые кислоты, имеющие размеры порядка 2-10 нм, вирусные частицы – 20-300 нм, а также нанокомпозиты, образующие костную ткань, состоящую из коллагена и гидроксиапатита. Магнитные наночастицы, синтезируемые бактериями, представляют собой естественные биофабрикаты с размерами 3-15 нм. Небиогенные природные материалы включают наноструктурированные глинистые минералы с толщиной слоя около 1 нм, вулканический пепел и опалы – упорядоченные наносферы диоксида кремния.

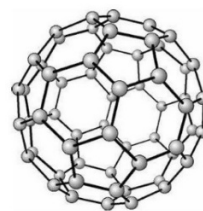
Искусственные наноматериалы (рисунок 1) разрабатываются с целью оптимизации характеристик и расширения функционала. Углеродные материалы, получившие широкое развитие, включают одноатомный слой графена (рисунок 1, а) с рекордной прочностью и высокой электропроводностью, углеродные нанотрубки (рисунок 1, б) различных типов, а также фуллерены (рисунок 1, в) (например, C_{60} и C_{70}), способные к образованию разнообразных структур и обладающие уникальными электрофизическими свойствами. Кроме того, неорганические квантовые точки, такие как CdSe и PbS, позволяют регулировать спектр люминесценции, что актуально для оптоэлектроники и биомедицинских сенсоров. Органические наноматериалы представлены дендримерами, липосомами и полимерными мицеллами [2].



а – химическая структура графена



б – нанотрубки



в – фуллерен

Рисунок 1 – Искусственные наноматериалы

Особое внимание уделяется огнезащитным материалам на основе аэрогелей, созданных из целлюлозных нановолокон и нанопластин сульфида молибдена. Методика сублимационной сушки обеспечивает формирование пористой структуры с высокой удельной площадью. Нанобарьерные свойства сульфида молибдена MoS_2 препятствуют диффузии кислорода и тепла в полимерную матрицу, а атомы молибдена инициируют ускоренное формирование обугленного защитного слоя, повышающего кислородный индекс и огнестойкость. Помимо этого, снижается выделение токсичных летучих соединений, изменение которых негативно сказывается на безопасности в случае пожара [3].

В ответ на экологические вызовы разработана биоразлагаемая упаковочная пленка из линейных полисахаридов агарозы и хитозана, изготовленная методом контролируемого полимерного осаждения. Такие пленки демонстрируют улучшенные механические свойства, прозрачность и устойчивость к влаге, что позволяет рассматривать их в качестве перспективной альтернативы традиционным нефтехимическим полиэтиленовым материалам, уровень производства которых превышает четверть общего объема пластмасс [3].

Ученые разработали наночастицы на основе масел мяты и зеленого чая. Результат обеспечивает значительное повышение растворимости масел в водной среде, расширенный спектр антимикробной активности, длительный период действия (свыше 96 часов) и повышенную термическую стойкость. Эти свойства делают наночастицы эффективными и экологически безопасными средствами для очистки пищевых продуктов, воды и поверхностей [3].

Развитие мировой индустрии подтверждается стабильным ростом рынка: в 2024 году его объем оценивался на уровне 120-130 млрд долларов США, при прогнозе увеличения до 227,54 млрд долларов к 2032 году при среднегодовом темпе 7-9 % [4].

Заключение. Анализ текущих тенденций свидетельствует о трансформации нанотехнологий из научной идеи в фундаментальную движущую силу развития современной промышленности. Классификация наноматериалов выявляет их различия и уникальные свойства, что способствует разработке инновационных продуктов и решений. Прогнозируемый рост мирового рынка подтверждает высокую экономическую значимость отрасли.

Список литературы

1. Нанотехнологии: прорыв к обществу, совместимому с ресурсами и энергией в 21 веке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.aist.go.jp/Portals/0/resource_images/aist_e/research_results/publications/pamphlet/today/nanotechnology_e.pdf. – Дата доступа: 08.12.2025.
2. Природные и искусственные наноматериалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://education.nationalgeographic.org/resource/nanotechnology/market>. – Дата доступа: 08.12.2025.
3. Top 10 nanotechnology innovations for 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.inpart.io/blog/top-10-new-nanotechnology-innovations>. – Дата доступа: 08.12.2025.
4. Размер рынка нанотехнологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.databridgemarketresearch.com/ru/reports/global-nanotechnology-market>. – Дата доступа: 08.12.2025.

UDC 620.3:552.086

ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS OF NANOTECHNOLOGY

Nikalayenia S.R., Sidorenko V.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bychek I.V. – Cand. of Sci., associate professor of the department of ETT

Annotation. The analysis of modern achievements and promising directions of nanotechnology development as a key factor of technological progress is carried out. The classification of nanomaterials by origin and properties is considered. Innovative solutions have been studied: a flame retardant aerogel, as well as a biodegradable packaging film with antimicrobial coatings. The dynamics of the global nanotechnology market growth and their integration into key industries are analysed.

Keywords: nanotechnology, nanomaterials, aerogel, biodegradable packaging, antimicrobial coatings, nanotechnology market, graphene, nanotubes, fullerene

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Журавская Е.А., Гололобов Н.С.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Бычек И.В. – к. т. н., доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Рассмотрены три перспективных класса полупроводниковых материалов, способных сформировать элементную базу электроники: широкозонные полупроводники (SiC, GaN) для силовой и высокочастотной электроники; соединения A_3B_5 (GaAs, InP) для оптоэлектроники и СВЧ-устройств; двумерные материалы (графен, MoS_2) с уникальными свойствами, но сложностями внедрения.

Ключевые слова: широкозонные полупроводники, двумерные материалы, соединения A_3B_5 , карбид кремния, нитрид галлия, графен

Введение. На протяжении десятилетий основой микроэлектроники был кремний, но сейчас он приближается к своим физическим пределам. При нанометровых размерах транзисторов становятся существенными квантовые эффекты: токи утечки и проблемы тепловыделения. Это требует перехода к новым материалам с превосходящими свойствами [1].

Основная часть. К наиболее перспективным классам полупроводников относятся широкозонные материалы (SiC, GaN) для силовой и высокочастотной электроники; соединения A_3B_5 (GaAs, InP) для оптоэлектроники и СВЧ-устройств; двумерные материалы (графен, MoS_2) с уникальными свойствами [1].

Основное отличие широкозонных полупроводников – большая запрещённая зона, определяющая электронные свойства. Чем она шире, тем большие токи способен пропускать транзистор. У кремния ширина запрещённой зоны около 1,1 эВ, у карбида кремния – 3,2 эВ.

Карбид кремния SiC (3,2 эВ) обладает высокой термостойкостью, высоким пробивным напряжением и отличной теплопроводностью. Он широко применяется в силовой электронике для создания компактных и надёжных устройств. Основные ограничения – высокая стоимость и сложность обработки.

Нитрид галлия GaN (3,4 эВ) демонстрирует превосходные характеристики в высокочастотном диапазоне. Используется в светодиодах, лазерных диодах и компактных зарядных устройствах. Недостатки: чувствительность к электростатике и высокая цена [2]. Следующими представителями полупроводниковых материалов являются соединения типа A_3B_5 (III-V), которые характеризуются высокой подвижностью электронов и являются прямозонными, что делает их идеальными для оптоэлектронных применений.

Большая ширина запрещённой зоны и высокая подвижность электронов заставляют устройства на основе арсенида галлия GaAs быстро реагировать на электрические сигналы, что делает это соединение подходящим для усиления высокочастотных сигналов. Кроме того, этот материал показал свою эффективность при высоких температурах и хорошую устойчивость к радиационному излучению. Недостатки: хрупкость, сложность изготовления и относительно низкая теплопроводность.

По сравнению с арсенидом галлия еще более высокочастотным материалом является фосфид индия InP. Используется для создания сверхвысокочастотных транзисторов, лазерных диодов и лавинных фотодиодов, в том числе для волоконно-оптических линий связи. Основной барьер для массового применения – высокая стоимость [3].

Принципиально новый класс материалов атомарной толщины с уникальными свойствами представляют собой двумерные материалы [4]. Графен обладает исключительной

механической прочностью, высокой электропроводностью и теплопроводностью. Он перспективен для применения в гибкой электронике, сенсорах и элементах квантовых компьютеров. Фундаментальным недостатком для цифровой логики является отсутствие запрещенной зоны, что не позволяет создавать классические транзисторы с полным запирающим. Также остаются сложности с получением материала высокого качества в промышленных масштабах [5].

Дисульфид молибдена MoS_2 в отличие от графена, обладает стабильной запрещенной зоной, что делает его перспективным для создания наноразмерных транзисторов, детекторов и выпрямителей. Основная проблема – сложность получения крупногабаритных однородных пленок с контролируемыми свойствами [4].

Среди других новейших разработок полупроводниковых материалов выделяется оксид галлия Ga_2O_3 . Он обладает сверхширокой запрещенной зоной (~4,8 эВ) и потенциально может быть дешевле SiC и GaN , обеспечивая более высокие пробивные напряжения. Основная текущая проблема – низкая теплопроводность, что требует разработки эффективных методов отвода тепла [1].

Заключение. Дальнейшее развитие микроэлектроники связано со специализацией материалов под конкретные задачи. Широкозонные полупроводники займут нишу силовой и высокочастотной электроники. Соединения типа A_3B_5 останутся критически важными для оптоэлектроники и высокочастотной техники. Двумерные материалы, такие как дисульфид молибдена и оксид галлия, открывают путь к созданию устройств с принципиально новыми характеристиками. Ключевыми задачами для внедрения этих материалов являются совершенствование технологий их синтеза, управления дефектностью и создания надежных гетероструктур. Решение этих задач откроет путь к созданию энергоэффективной, высокопроизводительной и специализированной электроники будущего [1, 2].

Список литературы

1. Не кремнием единым: из каких материалов сегодня изготавливают полупроводники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hightech.fm/2022/08/06/silicon-alternatives>. – Дата доступа: 01.03.2026.
2. Широкозонные полупроводники как главный инструмент повышения энергоэффективности электроники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.syntezmicro.ru/uploads/files/pub/Article42-4-5.pdf>. – Дата доступа: 01.03.2026.
3. Бинарные полупроводниковые соединения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.gsu.by/bitstream/123456789/5351/1/Лекция%2012.pdf>. – Дата доступа: 01.03.2026.
4. Графен и его применение в электронике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2020/article/2018020517>. – Дата доступа: 01.03.2026.
5. Двумерные материалы, их свойства и применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://intjournal.ru/wp-content/uploads/2023/03/Panchenko.pdf>. – Дата доступа: 01.03.2026.

UDC 621.315.59

PROMISING SEMICONDUCTOR MATERIALS FOR MICROELECTRONICS

Zhuravskaya E.A., Gololobov N.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bychek I.V. – Cand. of Sci., associate professor of the department of ETT

Annotation. As silicon technology reaches its physical scaling limits due to quantum leakage and heat dissipation, new semiconductors are needed. This report examines three classes: wide-bandgap materials (SiC , GaN) for power electronics; III–V compounds (GaAs , InP) for optoelectronics and microwave devices; 2D materials (graphene, MoS_2) with unique but hard-to-implement properties. Material specialization and synthesis advances are crucial.

Keywords: wide-band semiconductors, two-dimensional materials, A_3B_5 compounds, silicon carbide, gallium nitride, and graphene

ОТКРЫТИЯ ПРОШЛОГО НА СТРАЖЕ НАСТОЯЩЕГО. КОНСТРУКЦИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЕЙ

Буйневич Д.А., Языков С.К., Соловей А.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Савилова Ю.И. – к.т.н., доцент, доцент кафедры физики

Аннотация. В данной статье изучены эксперименты великих физиков из прошлого, с электромагнитными волнами. Рассмотрены принципы работы современных металлодетекторов. Описаны варианты их схем. Приведены примеры их использования в интересах людей.

Ключевые слова: металлоискатель, электромагнетизм, электромагнитное поле, электромагнитная индукция, закон Ленца, закон Био–Савара–Лапласа, индуктивность, соленоид, вихревые токи, индукционный баланс, методы обнаружения металлов, BFO (Beat Frequency Oscillator), IB (Induction Balance), PI (Pulse Induction).

Введение. Сложно представить себе современный мир без норм общественной безопасности. Мы встречаемся с ними каждый день, когда спускаемся в метро и видим работников службы безопасности, которые не допускают проноса опасных для людей вещей. Когда посещаем массовые мероприятия с большим скоплением людей, где на входе, сотрудники милиции проводят осмотр граждан, на предмет хранения запрещённых к проносу предметов. Даже, когда идем в магазин, на входе нас встречают рамки “Антикражи” недопускающие выноса неоплаченного товара. Во всех приведённых случаях применяются устройства, реагирующие на изменение электромагнитного поля внутри себя. Данные устройства несут свою доблестную службу в различных органах безопасности не первый год, но как же они устроены?

Основная часть. Один из первых шагов к изобретению современного металлоискателя совершил датский физик Ханс Кристиан Эрстед. В 1820 году проводя обычное лекционное занятие, Эрстед подключил токопроводящий провод к источнику тока (вольтов столб), и заметил, как магнитная стрелка, расположенная рядом, дрогнула. Хотя сам Эрстед не вывел формулу, но современная физика описывает его опыт законом Био-Савара-Лапласа, формула 1:

$$\beta = \frac{\mu I}{2\pi r}$$

где μ – магнитная постоянная; I – сила тока в проводнике; r – расстояние до проводника; β – магнитная индукция

Таким образом, именно опыт Эрстеда, помог установить связь электричества и магнетизма.

Серьёзный прорыв в этих исследованиях совершил известный французский физик Андре-Мари Ампер. Не останавливаясь на экспериментах Эрстеда, он провёл несколько опытов, к примеру: пустил по двум параллельным проводам ток в одном направлении и заметил, что провода стали притягиваться, после чего, при изменении направления тока в одном из проводов, они стали отталкиваться. Во время проведения второго опыта, Ампер свернул провод в катушку (соленоид) и пустив по ней ток, заметил, что катушка повела себя как классический магнит. У неё появились северный и южный полюса. Таким образом Ампер подтвердил, что то что мы называем магнитом-это совокупность круговых токов внутри вещества.

В 1831 году английский физик Майкл Фарадей, загорелся идеей доказать, что раз ток создаёт магнитное поле, то и магнитное поле создаёт ток. Намотав катушку на токопроводящую сердцевину, у пустив по проводу ток, он стал передвигать внутри катушки магнит, в результате чего стрелка датчика (гальванометра) стала двигаться. В дальнейшем на основе этого опыта был составлен закон электромагнитной индукции, формула 2:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

где ε – ЭДС индукции в контуре, $\Delta\phi$ -изменение магнитного потока, Δt -время изменения.

В 1833 году Российский физик Эмилий Христианович Ленц фактически поставил точку в вопросе, оставленном Фарадеем, который заметил, что ток возникает при изменении магнитного поля, но не знал в какую сторону этот ток течёт. Ленц же увидел, что когда передвигаешь магнит внутри катушки вперёд, стрелка датчика идёт в одну сторону, когда магнит двигается назад, стрелка идёт обратно. Так он сформулировал свой закон: “Индукционный ток всегда направлен так, чтобы своим магнитным полем противодействовать изменению магнитного потока, которое его вызвало”.

Финальный шаг к изобретению современного металлоискателя совершил в 1881 году Александр Грэм Белл. 2 июня 1881 президент США Джеймс Гарфилд получил два пулевых ранения. Врачи не могли найти, где именно находится пуля. Тогда Белл решил использовать для этого, устройство Дэвида Хьюза, построенное на принципе индукционного баланса: 2 катушки (передающая и принимающая), в нормальном состоянии сигнал на принимающей отсутствовал, но при появлении между ними металла, вторая катушка принимала сигнал. Белл подсоединил к ним провод от телефона, который подавал звуковой сигнал при появлении металла. Однако поскольку Гарфилд лежал на металлической кровати, пулю найти так и не удалось. Однако в результате этого случая был создан первый прототип металлоискателя.

Существует 3 основных схемы металлоискателей:

1 BFO-Beat Frequency Oscillator (метод биений)- В приборе расположены два генератора радиочастоты. Частота первого фиксированная, а в колебательный контур второго включена катушка-искатель. Если в поле катушки попадает цветной металл, её индуктивность падает, если чёрный металл, то растёт. Оба этих сигнала смешиваются на слух. При появлении металла, в наушниках слышны скачки (биения) звука вверх или вниз.

2 IB-Induction Balance (индукционный баланс)- В приборе две катушки, расположенные особым образом: либо крест на крест, либо одна в одной плоскости, а вторая сдвинута. Поля обеих катушек строго скомпенсированы, так, чтобы одна катушка наводила во второй 0 вольт. Как только под нами появляется металл, компенсация катушек сбивается, и вторая катушка падает сигнал.

3 PI-Pulse Induction (Импульсная Индукция)-Здесь только одна катушка, которая работает по очереди приёмником и передатчиком. Импульс создаёт поле, которое начинает затухать, при исчезновении импульса. Но металлические предметы создаёт вихревые токи, и поле от них затухает постепенно. Его и фиксирует катушка при переходе в режим приёма.

Разберём одну из возможных схем, которую несложно собрать вручную.

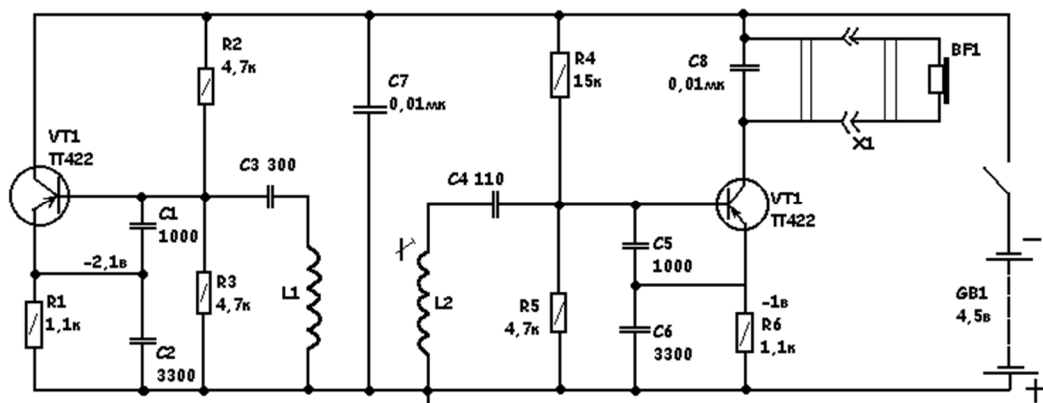


Рисунок 1 – Принципиальная схема металлоискателя

Это схема простого металлоискателя построенного на принципе индукционного баланса. Питание от батареи 4.5В и ток потребления 1.5мА, при обнаружении металла до 7мА. Состоит из двух катушек, каждая по 40 витков из провода диаметром 0.25мм на диэлектрический сердечник, для достижения частоты работы примерно 100кГц. В процессе работы индуктивности катушек приблизительно 1-2мГн. Левый транзистор VT1 совместно с катушкой L1 работаю как высокочастотный генератор, создающий необходимые 100кГц, конденсаторы C1 и C2 определяют частоту генерации. Правый транзистор VT2 и катушка L2 работаю как активный искатель, который и реагирует на металл. Сами транзисторы подключены так, чтобы стабилизировать изменение напряжения, при изменении свойств окружающей среды (температура, влажность и т.д.).

В нормальном состоянии ЭДС, наводимые катушками скомпенсированы, правый транзистор ток не пропускает, генератор высоких частот работает в резонанс. При появлении металла в поле катушек, в нем возникают вихревые токи. Эти токи создают своё поле, противофазное полю катушек. Магнитный поток через катушку L1 уменьшается, баланс пропадает. Появляется разница в ЭДС, частота высокочастотного генератора уменьшается, амплитуда сигнала в детектор (катушка L2 и правый транзистор) падает, правый транзистор начинает пропускать ток к динамику, звучит сигнал.

Преимущества данной схемы в том, что она проста в изготовлении, низкое энергопотребление, не требует сложной настройки. Например, изменяя сопротивление резисторов R1 и R6 мы можем изменять чувствительность и порог срабатывания.

Технология металлоискателя является крайне полезной в рамках специальности «Системы и сети инфокоммуникаций», на которой обучаются авторы данной статьи. Металлодетекторы могут быть использованы для трассировки подземных коммуникаций. Специализированные металлоискатели, имеющие название трассоискатели широко используются для поиска повреждений подземных кабелей связи по причине того, что оптоволокно часто имеет металлический трос или оплётку. Кроме того знание самих принципов металлодетектора значительно поможет при эксплуатации линий связи.

Заключение. Таким образом, созданный ещё в начале 20 века, металлоискатель по сей день надёжно стоит на страже и обороне нашей страны. Ещё во времена Великой Отечественной войны, он помогал сапёрам обнаруживать и обезвреживать минные заграждения. Благодаря нему, сейчас наши правоохранительные органы могут наиболее совершенно и полно обеспечивать нашу безопасность. А работники таможенных и пограничных служб гарантируют спокойствие граждан. Металлоискатель – это пример прибора, который прошёл путь от полей сражений до современных реалий, показав свою надёжность и безотказность, обеспечивая нам зону комфорта на вокзалах, в метро, на улице и во всех местах общественной важности. Технологии не стоят на месте и будем надеяться, что в этой отрасли они тоже будут шагать в ногу с потребностями современных реалий.

Список литературы

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. – М. : Наука, 1988. – 512 с.
2. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 2 : Электричество и магнетизм. – М. : Наука, 2003. – 432 с.
3. Гриффитс Д. Введение в электродинамику : пер. с англ. – М. : Бином, 2012. – 528 с.
4. Purcell E. M., Morin D. J. *Electricity and Magnetism*. – Cambridge : Cambridge University Press, 2013. – 821 p.
5. Maxwell J. C. *A Treatise on Electricity and Magnetism*. – Oxford : Clarendon Press, 1873. – 2 vols.
6. Faraday M. *Experimental Researches in Electricity*. – London : Royal Society, 1839. – 512 p.
7. Whittaker E. T. *A History of the Theories of Aether and Electricity*. – London : Longmans, Green and Co., 1951. – 480 p.
8. Серуэй Р. А., Джуэйт Дж. Физика для ученых и инженеров. Т. 2 : Электричество и магнетизм. – М. : Мир, 2014. – 624 с.
9. Bray D. *Metal Detecting: Theory and Practice*. – New York : McGraw-Hill, 1995. – 304 p.
10. Garrett C. *Inside the Metal Detector*. – Sweet Home : White's Electronics, 1987. – 198 p.
11. Ключев В. В. Методы неразрушающего контроля : учеб. пособие. – М. : Машиностроение, 2004. – 656 с.
12. Гусев Ю. П. Основы радиотехнических систем. – М. : Радио и связь, 2001. – 384 с.
13. Спасский Б. И. История физики. Т. 1. – М. : Наука, 1977. – 392 с.
14. Кужир П. Г., Самойлюкович В. А., Тесевич Б. И. Физика. Электричество и магнетизм : учеб.-метод. пособие. – Минск : БНТУ, 2015. – 216 с.
15. Бояришинова О. А. Электромагнетизм : метод. указания к практическим занятиям. – Минск : БНТУ, 2011. – 98 с.
16. Жданович А. А. Электромагнитные поля и волны : учеб. пособие. – Минск : БГУ, 2014. – 240 с.
17. Bryakin I. V., Bochkarev I. V., Khramshin V. R. *Developing a Combined Method for Detection of Buried Metal Objects // Machines*. – 2021. – Vol. 9, № 5. – P. 92–110.
18. Wilson B. A., Ledger P. D., Lionheart W. R. B. *Identification of Metallic Objects using Spectral Magnetic Polarizability Tensor Signatures // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 59, № 11. – P. 9023–9040.
19. Elson L., Meraki A., Rushton L. M. *Detection and characterisation of conductive objects using electromagnetic induction and a fluxgate magnetometer // Journal of Applied Geophysics*. – 2022. – Vol. 198. – P. 104–121.
20. Металлоискатель (металлодетектор) // Большая российская энциклопедия : электрон. ресурс. – Режим доступа: <https://bigenc.ru> (дата обращения: 24.02.2026).
21. *Electromagnetic induction // Encyclopaedia Britannica* : электрон. ресурс. – Режим доступа: <https://www.britannica.com> (дата обращения: 24.02.2026).
22. *IEEE Xplore Digital Library* : электрон. ресурс. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org> (дата обращения: 24.02.2026).
23. *SpringerLink* : электрон. ресурс. – Режим доступа: <https://link.springer.com> (дата обращения: 24.02.2026).
24. *ScienceDirect* : электрон. ресурс. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com> (дата обращения: 24.02.2026).
25. Национальная библиотека Беларуси : электрон. каталог. – Минск, 2026. – Режим доступа: <https://nlb.by> (дата обращения: 24.02.2026).
26. Патент США № 239,693. *Apparatus for detecting metal / A. G. Bell*. – Washington : U.S. Patent Office, 1881.

UDC 621.317.7:537.86

DISCOVERIES OF THE PAST GUARDING THE PRESENT. DESIGN AND APPLICATION OF MODERN METAL DETECTORS

Buinevich D.A., Yazykov S.K.,
Solovey A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics Minsk, Republic of Belarus
Savilova U.I. – *Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of physics*

Annotation. This article examines the experiments of great physicists from the past with electromagnetic waves. The operating principles of modern metal detectors are considered. Variants of their circuit designs are described. Examples of their use in the interests of people are provided.

Keywords: Metal detector, electromagnetism, electromagnetic field, electromagnetic induction, Lenz's law, Biot–Savart–Laplace law, inductance, solenoid, eddy currents, induction balance, metal detection methods, BFO (Beat Frequency Oscillator), IB (Induction Balance), PI (Pulse Induction).

МЕТОДИКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Вдовина В.А.

Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Республика Татарстан

Научный руководитель: Зинуров В.Э. – к.т.н., заведующий кафедрой ИГ

Аннотация. В работе представлена методика технико-экономического обоснования применения газотурбинных установок (ГТУ) для автономного энергоснабжения удаленных объектов. Рассмотрены основные этапы проведения ТЭО, включая анализ технических характеристик, расчет капитальных и эксплуатационных затрат, а также оценку интегральных показателей эффективности инвестиций. Определены ключевые факторы, влияющие на выбор ГТУ: мощность, тип топлива, режим работы, стоимость жизненного цикла. Предложенная методика может быть использована на этапе проектирования систем автономного энергоснабжения.

Ключевые слова: газотурбинная установка, автономное энергоснабжение, методика, технико-экономическое обоснование, эффективность инвестиций

Введение. Обеспечение надежного и экономичного энергоснабжения объектов, удаленных от централизованных энергосистем, является актуальной задачей энергетики. Традиционным решением выступают дизельные электростанции (ДЭС), но высокие эксплуатационные затраты и зависимость от топлива стимулируют поиск альтернатив. Газотурбинные установки (ГТУ) рассматриваются как перспективный вариант благодаря возможности работы на различных видах топлива, высокому моторесурсу и потенциалу утилизации тепла [1]. Целью данной работы является разработка методики технико-экономического обоснования (ТЭО) применения ГТУ для автономного энергоснабжения, позволяющей выбирать тип и параметры оборудования на предпроектной стадии.

Основная часть. Предлагаемая методика включает последовательную реализацию следующих этапов:

1 Анализ исходных данных и формирование требований к системе энергоснабжения: характер и график нагрузки, требуемая надежность, доступность и вид топлива, климатические условия, ограничения по площадке размещения.

2 Формирование множества альтернативных вариантов энергоснабжения, включая варианты на базе ГТУ различных типов и производителей; традиционный вариант на базе ДЭС (базовый для сравнения); вариант подключения к централизованной электросети (при оценке целесообразности строительства ЛЭП).

3 Оценка технических характеристик рассматриваемых вариантов: установленная мощность, электрический КПД, моторесурс до капитального ремонта, коэффициент готовности, экологические показатели. Особое внимание уделяется соответствию технических характеристик режимам электропотребления объекта [2].

4 Расчет капитальных затрат (CAPEX). Капитальные вложения включают стоимость основного и вспомогательного оборудования, транспортировку, строительно-монтажные и пусконаладочные работы [3].

5 Расчет эксплуатационных затрат (OPEX) в годовом исчислении. Учитываются затраты на топливо (с учетом цены, теплотворной способности и КПД); затраты на техническое обслуживание и ремонт (норматив в % от CAPEX или на моточас); заработная плата персонала; прочие расходы.

6 Оценка экономической эффективности инвестиций с использованием динамических методов [4]. Основные показатели, рекомендуемые для анализа: чистая приведенная стоимость (NPV); внутренняя норма доходности (IRR); дисконтированный срок окупаемости (DPP); индекс доходности (PI).

7 Анализ чувствительности полученных показателей к изменению ключевых факторов: цены топлива, ставки дисконтирования, величины CAPEX, годовой выработки электроэнергии. Данный этап позволяет оценить риски проекта и устойчивость выбранного решения [5].

На основе анализа технико-экономических показателей формулируются критерии, определяющие целесообразность применения ГТУ:

1 Экономическая эффективность: положительное значение NPV, IRR выше ставки дисконтирования, приемлемый срок окупаемости.

2 Техническая реализуемость: наличие свободных мощностей для маневрирования, соответствие графику нагрузки, возможность работы на заданном виде топлива.

3 Надежность и долговечность: достаточный моторесурс, наличие сервисной инфраструктуры.

4 Экологические ограничения: соответствие уровня выбросов действующим нормативам.

Заключение. Разработанная методика позволяет системно подойти к вопросу выбора газотурбинных установок для автономного энергоснабжения на этапе технико-экономического обоснования. Ее применение дает возможность оценить сравнительную эффективность различных вариантов, выявить ключевые факторы, влияющие на результат, и принять обоснованное проектное решение. Методика носит универсальный характер и может быть адаптирована для различных типов объектов и условий энергоснабжения. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка специализированного программного обеспечения, автоматизирующего процедуру ТЭО на основе предложенной методики.

Список литературы

1. Гусаров, В. А. Газотурбинная установка малой мощности на основе турбокомпрессора двигателя внутреннего сгорания / В. А. Гусаров, Я. В. Кулагин // *Энергетик*. – 2015. – № 9. – С. 17-18.
2. Кондратьев, Н. В. Оценка эффективности теплообменного оборудования турбохолодильной машины применяемой для повышения эффективности работы газотурбинной установки / Н. В. Кондратьев, В. В. Калекин // *Международная научно-практическая конференция «Транспортные системы: безопасность, новые технологии, экология»*, Якутск, 04 апреля 2025 года. – Якутск: Сибирский государственный университет водного транспорта, 2025. – С. 619-635.
3. Иванов Д. Н. Паровые турбины // *Новые технологии в теплоснабжении и строительстве*. – 2021. – С. 49.
4. Касьяненко Т. Г., Маховикова Г. А. Экономическая оценка инвестиций // *Учебник и практикум / ТГ Касьяненко, ГА Маховикова – М.: Юрайт*. – 2014.
5. Рияд Р. М., Шевлюгин М. В. Оценка целесообразности создания собственной генерации на основе укрупненных расчетов газотурбинных установок // *Бюллетень результатов научных исследований*. – 2025. – №. 3. – С. 47-60.

UDC 621.438:330.322

METHODOLOGY FOR THE FEASIBILITY STUDY OF USING GAS TURBINE UNITS FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY

Vdovina V.A.

*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Republic of Tatarstan
Zinurov V.E. – Cand. of Sci., head of the department of Engineering Graphics*

Annotation. The paper presents a methodology for the feasibility study of using gas turbine units (GTU) for autonomous power supply of remote facilities. The main stages of the feasibility study are considered, including the analysis of technical characteristics, calculation of capital and operating costs, as well as the assessment of integral investment efficiency indicators. The key factors influencing the choice of GTU are identified: power, fuel type, operating mode, life cycle cost. The proposed methodology can be used at the design stage of autonomous power supply systems.

Keywords: gas turbine unit, autonomous power supply, methodology, feasibility study, investment efficiency.

ЭВОЛЮЦИЯ РОБОТОТЕХНИКИ – ОТ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ К АВТОНОМНОМУ АНТРОПОМОРФНОМУ ИНТЕЛЛЕКТУ

Шухно А. В., Бурак Е. М.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Шабанович Р.А. – магистр техн. наук, доцент, заведующий кафедры ИТАС

Аннотация. В работе рассматривается эволюция робототехники: от образовательных конструкторов до автономных систем. Анализируется роль STEM-образования, опыт использования антропоморфного робота FEDOR на МКС и влияние методов машинного обучения, таких как обучение с подкреплением и синтетические симуляции. Показано, как синергия этих направлений стирает грань между машиной и интеллектуальным партнёром.

Ключевые слова: робототехника, STEM-образование, антропоморфные роботы, FEDOR, обучение с подкреплением, симуляции.

Введение. Современная робототехника переживает фундаментальную трансформацию. Она превращается из узкоспециализированной дисциплины в комплексную экосистему. Эта экосистема объединяет образование, космонавтику и передовые методы машинного обучения. Раньше роботы использовались преимущественно для заводов или лабораторий. Теперь они интегрируются в повседневную жизнь, космос и школьные программы.

Основная часть. Робототехника выходит за рамки науки для специалистов. Она становится доступной для широкой аудитории – от школьников до космонавтов. Это эволюция от простых механизмов к сложным системам. В работе рассматривается роль образования в создании базы, применение в космосе для проверки и машинное обучение для повышения интеллекта. Всё это стирает грань между машиной и человеком.

Интерактивные платформы вроде LEGO Mindstorms или отечественного Роббо выходят за рамки простых конструкторов. Они служат базой для формирования STEM-компетенций. STEM охватывает науку, технологии, инженерию и математику. Через практический эксперимент осваиваются алгоритмизация и механика. Это создаёт кадровый резерв для разработки систем принципиально иного уровня. [1]

LEGO Mindstorms включает наборы с моторами, сенсорами и блочным программированием. Устройства собираются для задач вроде следования по линии или реакции на свет. Роббо – российская платформа, адаптированная для школ. Она интегрируется в уроки информатики и оказывается дешевле аналогов.

Ранее программирование оставалось теорией. Теперь практика развивает логическое мышление и понимание взаимодействия робота с окружением. Страны с развитым STEM-образованием, такие как США и Китай, лидируют в робототехнике. В России количество кружков по робототехнике растёт; тысячи участников соревнуются на RoboFest.

Образование обеспечивает доступность робототехники. Без него развитие кадровых ресурсов становится невозможным. Это фундамент для дальнейших достижений.

Примером перехода от теории к сложнейшим прикладным задачам служит проект FEDOR (Final Experimental Demonstration Object Research). Это наиболее узнаваемый российский робот. Успешное испытание антропоморфного робота на МКС подтвердило возможность делегирования машинам критически важных функций в экстремальных условиях. Требуется тонкая моторика и имитация человеческих действий.

FEDOR представляет собой гуманоида с двумя руками и пальцами. Он выполняет стрельбу, езду на самокате и игру в шахматы. В 2017–2019 годах робот прошёл испытания на МКС. Он закручивал болты и использовал инструменты. Космос подразумевает невесомость, радиацию и тесноту, где риски для человека высоки.

Видео испытаний демонстрируют взаимодействие FEDOR с космонавтами. Это не демонстрация, а подтверждение практической ценности. Обучение происходило через телеприсутствие, но сейчас интегрируется ИИ для автономии. Проект FEDOR актуален для космонавтики. На МКС роботы разгружают грузы и мониторят оборудование. В перспективе применение на Луне или Марсе. Без тестов в космосе робототехника ограничилась бы земными условиями.

Конструкция FEDOR включает 28 степеней свободы в руках, аналогично человеческому. Сенсоры в пальцах фиксируют давление для ремонта. Испытания длились месяцы; робот вернулся с данными. Аналоги разрабатываются для Арктики и дальнего космоса. [4]

Главным барьером на пути к естественному движению гуманоидов долгое время оставался «дефицит данных». Традиционный метод Motion Capture слишком дорог и ограничен. Решение в пайплайнах NVIDIA (среда Isaac Gym) знаменует переход к генерации синтетических данных. Motion Capture фиксирует движения актёров в костюмах с маркерами. Данные применяются для обучения роботов ходьбе. Метод требует студии, оборудования и оказывается затратным. Данные ограничены человеческими движениями.

Isaac Gym от NVIDIA создаёт виртуальных роботов для симуляций. Они проходят миллионы падений и учатся вставать за часы на GPU. Синтетические данные реалистичны и позволяют варьировать условия. Статьи NVIDIA описывают обучение робота Atlas в Isaac Gym для улучшения ходьбы. Метод экономичен. Для России он актуален из-за снижения затрат на Мосар.

Проблема Sim-to-Real заключается в расхождении симуляции и реальности. Domain Randomization меняет параметры симуляции для адаптации. Это революционизирует движение гуманоидов, обеспечивая бег и прыжки вместо шатания.

На данный момент наблюдается отказ от жесткого детерминированного программирования в пользу глубокого обучения с подкреплением (Reinforcement Learning). Благодаря Sim-to-Real роботы обучаются в виртуальных мирах, совершая миллионы итераций за часы. Это даёт физическую устойчивость и адаптивность, недоступные при ручном кодировании. Детерминированное программирование использует if-then правила. В изменяющихся условиях оно неэффективно. RL подразумевает пробу действий с наградами или штрафами.

Симуляторы Isaac Gym и MuJoCo позволяют проходить миллиарды шагов. Перенос в реальность работает для задач вроде прыжков через препятствия у робота ANYmal. Аналогия с обучением ребёнка подчёркивает автономию. В космосе это критично для непредсказуемости. В России RL применяется в FEDOR 2.0 для хватания объектов. Открытые библиотеки OpenAI (Gym, Stable Baselines) доступны для экспериментов. [5]

Синергия доступного образования и высокотехнологичных симуляций стирает грань между искусственной машиной и естественным поведением. Это подготавливает почву для интеграции роботов в человеческую среду. Образование формирует кадры, симуляции развивают навыки, космос проверяет. Школьные конструкторы ведут к студенческим моделям RL и космическим тестам. Роботы переходят от слуг к партнёрам. Роботы уже помогают хирургам, водят в пробках и исследуют планеты. Вызовы включают этику и безопасность, но прогресс продолжается.

Заключение. Подводя итог, современная робототехника стоит на пороге новой эры. Робот перестаёт быть исполнительным механизмом и становится интеллектуальным партнёром. Путь от школьных конструкторов ведёт к системам для открытого космоса и цифровых симуляций. Переход к синтетическому обучению – качественный скачок. Роботы учатся «быть», а не просто выполнять команды. Будущее – в симбиозе человеческого видения и машинной мощности. Робототехника отражает стремление к совершенству и познанию.

Список литературы

1. Habr. Роботы и ИИ: как современные системы осваивают новые навыки [Электронный ресурс] // Habr. – 2024. – URL: <https://habr.com/ru/articles/958020/>
2. Ferra.ru. Роботы смогли быстрее обучиться новым навыкам [Электронный ресурс] // Ferra.ru: Технологии и жизнь. – 2024. – URL: <https://www.ferra.ru/news/techlife/roboty-smogli-bystrye-obuchitsya-novym-navykam-17-06-2024.htm>
3. NVIDIA Developer. Building a Synthetic Motion Generation Pipeline for Humanoid Robot Learning [Электронный ресурс] // NVIDIA Technical Blog. – 2024. – URL: <https://developer.nvidia.com/blog/building-a-synthetic-motion-generation-pipeline-for-humanoid-robot-learning/>
4. Роскосмос. Федор: антропоморфный робот на МКС. Отчёт о миссии. 2019. URL: <https://www.roscosmos.ru/>
5. NVIDIA. Isaac Gym: High-Performance Reinforcement Learning. Технический отчёт. 2021. URL: <https://developer.nvidia.com/isaac-gym>
6. Sutton R. S., Barto A. G. Reinforcement Learning: An Introduction. 2nd ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2018. 552 p. ISBN 978-0262039246.

UDC 608.1

**THE EVOLUTION OF ROBOTICS: FROM EDUCATIONAL MODELS
TO AUTONOMOUS ANTHROPOMORPHIC INTELLIGENCE**

Shukhno A. V., Burak E. M.

*Academy of Public Administration under the President of the Republic of Belarus,
Minsk, Belarus*

Shabanovich R. A. – Mast. of Tech. Sci.

Annotation. The paper examines the evolution of robotics: from educational construction kits to autonomous systems. It analyzes the role of STEM education, the experience of using the anthropomorphic robot FEDOR on the ISS, and the impact of machine learning methods such as reinforcement learning and synthetic simulations. It is shown how the synergy of these directions blurs the line between a machine and an intelligent partner.

Keywords: robotics, STEM education, anthropomorphic robots, FEDOR, reinforcement learning, simulations.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЯЗЫК: ОТ ИДЕИ ДО ПРОТОТИПА

Ефимович В.В., Федосюк А.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Столер В.А. – к.т.н., доцент, профессор кафедры ИКТ

Аннотация. В данной статье мы рассматриваем роль инженерной графики как гибкого, уникального средства коммуникации в передовом проектировании. Показаны этапы развития графического языка от привычных, естественных чертежей до цифровых, автоматизированных 3D-моделей. Так же проводится анализ последовательности этапов трансформирования теоретической идеи в физический, реальный прототип, включая проектирование, монолитное моделирование в САПР и прибавляемое производство. И в заключение подчеркивается значение стандартов ЕСКД и ISO для обеспечения простоты восприятия технической информации специалистами из разных стран.

Ключевые слова: инженерная графика, 3D-моделирование, САПР, реальный прототип

Введение. Инженерная графика – универсальный язык технической коммуникации, трансформирующий идеи в чертежи и 3D-модели [1]. Человечество начало передавать информацию наглядно через наскальную живопись, что предопределило появление письменности. Сегодня графические навыки так же важны для инженеров, как умение говорить и писать [2]. Актуальность темы – в необходимости унифицированной коммуникации между инженерами, дизайнерами и производством на всех этапах: от концепции до изготовления и контроля качества. Цель – анализ процесса превращения идеи в прототип средствами инженерной графики.

Основная часть. Современный процесс проектирования представляет собой четко сформированную последовательность, где графический язык играет ведущую роль. Этот путь от идеи до прототипа можно разделить на несколько основных этапов (рисунок 1). Первый этап – концепт-разработка. На этом этапе идея, сформированная в голове инженера, обретает первые контуры. Эскизы от руки позволяют быстро воспроизвести форму будущего изделия, его пропорции и потенциал [3]. Второй, ключевой этап – 3D-моделирование. С помощью систем автоматизированного проектирования (САПР), таких как КОМПАС-3D или SolidWorks, создается точный цифровой двойник объекта. Модель содержит не только геометрию, но и информацию о вещественной основе, допусках и сопряжениях. Преимущество 3D-модели перед плоским чертежом – возможность всестороннего анализа: контроля совместимости, моделирования предельных состояний (CAE) и генерации цифрового двойника [4].



Рисунок 1 – Основные этапы перехода от идеи до прототипа

Третий этап плотно связан со вторым – это проектирование информационного базиса изделия. Несмотря на мощь 3D-моделирования, производство по-прежнему требует наличия классических двумерных чертежей. На этом этапе формируется детализированный

графический регламент, сборочные чертежи, схемы и спецификации. Именно соблюдение стандартов ЕСКД (Единая система конструкторской документации) и ISO (Международная организация по стандартизации) гарантирует, что чертеж, созданный в Минске, будет обладать когнитивной прозрачностью для инженера в Пекине или Москве. Это делает графику внеязыковой семиотической системой [1]. Финальный этап – создание прототипа. Стереоскопическая CAD-модель служит основой для создания физического прототипа. Современные технологии послойного синтеза (3D-печать методами FDM, SLA, SLS) или обработка на станках с ЧПУ позволяют превратить цифровую модель в натурное воплощение. Прототип дает возможность оценить антропометрическую совместимость, провести тестирование функциональности и выявить скрытые ошибки проектирования до запуска массового производства, что является очень важным [5]. Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что инженерная графика не просто обслуживает каждый из этих этапов, но и синтезирует в нерасторжимый континуум. Она выступает инструментом визуализации на этапе эскиза, средством точного расчета и моделирования – на этапе 3D-конструирования, языком коммуникации с производством – на этапе выпуска документации, и базой для изготовления – на этапе создания прототипа.

Заключение. Инженерная графика, претерпев масштабную эволюционную трансформацию от наскальных рисунков до сложных цифровых моделей, выступает фундаментальной константой инженерного дела. Это универсальный язык, понятный специалистам во всем мире благодаря системе стандартов. Рассмотренная в работе последовательность «идея – эскиз – 3D-модель – документация – прототип» наглядно демонстрирует, что именно графическое представление информации является тем связующим звеном, которое превращает умозрительную интенцию в готовое изделие. Дальнейшее развитие этого направления будет связано с углублением интеграции САПР с технологиями виртуальной и дополненной реальности, что откроет новые возможности для коллективной работы над проектами.

Список литературы

1. Инженерная графика: учебник / под ред. А. П. Достанко. – Минск: Беларуская навука, 2020. – 260 с.
2. Бородин, О. Ю. Инженерная графика в нашей жизни / О. Ю. Бородин ; науч. рук. И. В. Толстик // 60-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 23–24 апр. 2024 г. – Минск: БГУИР, 2024. – С. 125–126.
3. Лосев, В. В. Основы автоматизированного проектирования / В. В. Лосев, Е. Б. Бродская. – М.: Радио и связь, 2018. – 312 с.
4. Sze, S. M. Semiconductor Devices: Physics and Technology / S. M. Sze, Lee M. K. – New York: John Wiley & Sons, 2012. – 578 p.
5. Медиаконвертер D-Link DMC-F15SC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dlink.ru/ru/products/4/1673.html>. – Дата доступа: 03.03.2026.

UDC 744:004.9

ENGINEERING GRAPHICS AS A UNIVERSAL LANGUAGE: FROM IDEA TO PROTOTYPE

Yefimovich V.V., Fedosiuk A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Stoler V. A. – Cand. of Sci., associate professor, professor of the department of ECG.

Annotation. In this article, we examine the role of engineering graphics as a flexible and unique means of communication in advanced design. The stages of development of the graphical language are presented, tracing its evolution from familiar, traditional drawings to digital, automated 3D models. The sequence of transforming a theoretical idea into a physical, real prototype is also analyzed, including design, solid modeling in CAD systems, and additive manufacturing. Finally, the importance of ESKD and ISO standards is emphasized as a foundation for ensuring that technical information is easily understood by specialists from different countries.

Keywords: engineering graphics, 3D modeling, CAD, physical prototype

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКАЖЕНИЙ ВОСПРИЯТИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНЖЕНЕРНОЙ ПРАКТИКЕ

Швабо Д.В., Сорокин М.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Гиль С.В. — к.т.н., доцент, доцент кафедры ИКТ

Аннотация. Рассматривается проблема неоднозначности интерпретации графических данных в инженерной деятельности, обусловленная оптическими иллюзиями и когнитивными механизмами восприятия плоских изображений. Выдвигается гипотеза о появлении «цифровых неоднозначностей» в среде CAD-систем.

Ключевые слова: инженерная графика, оптические иллюзии, когнитивная психология, CAD-системы, проектирование, визуальное восприятие

Введение. Современное инженерное образование на факультете компьютерного проектирования (ФКП) БГУИР характеризуется активным внедрением в учебный процесс различных систем автоматизированного проектирования (САПР) в качестве инструмента в изучении инженерной графики. Несмотря на цифровизацию, конечным звеном в цепочке обработки информации остаётся человек – инженер, проектировщик, конструктор или технолог. Критической зоной становится пересечение базовых принципов создания чертежа, лежащих в основе начертательной геометрии – первого раздела инженерной графики, и психологии восприятия, формирующей понятие «когнитивной ясности» чертежа.

Актуальность исследования определяется тем, что двусмысленность в документации провоцирует производственные риски, рост брака и финансовые убытки. Для специальности «Компьютерное проектирование» понимание принципов интерпретации линий мозгом является ключевой компетенцией, позволяющей предотвращать ошибки, не фиксируемые автоматическими валидаторами геометрии.

Основная часть. Чертеж представляет собой графический язык со строгим синтаксисом (ГОСТ) и семантикой. Процесс «чтения» подразумевает реконструкцию пространственного образа объекта по его плоским проекциям [1]. Наблюдается разрыв между формальным (математическим) и неформальным (интуитивным) восприятием.

Формальный подход опирается на алгоритмы начертательной геометрии. Геометрически проекция точки инвариантна, однако совокупность проекций обязана давать однозначный результат. Неформальное прочтение – это мгновенная интерпретация образа до логического анализа. Природа неоднозначности заключается в многовариантности прочтения. При проецировании трехмерного тела на плоскость теряется часть информации. Отсутствие достаточного количества видов или разрезов создает инвариантность, трактуемую в психологии как неопределенность стимула.

Визуальное восприятие является активным процессом «достраивания» образа, а не пассивным копированием. Мозг инженера функционирует как прогностическая система, заполняющая пробелы в данных [2]. На плоскости отсутствуют реальные признаки глубины (стереопсис), поэтому используются вторичные маркеры: перекрытие линий, перспективное сокращение, тени. Основные типы иллюзий:

– куб Неккера: демонстрирует неустойчивость ориентации объекта. В чертежах без штриховых линий деталь может визуально «выворачиваться» (рисунок 1);

– лестница Пенроуза: невозможные фигуры. В CAD-системах при определенных ракурсах возникают визуальные парадоксы, маскирующие пересечения деталей (рисунок 2).

Согласно теории «визуального интеллекта» Д. Хоффмана, человек конструирует мир по определенным правилам [3]. При работе с чертежом эти инстинкты часто конфликтуют со

стандартами. Например, мозг стремится к симметрии: едва заметный скос может игнорироваться, и образ достраивается до привычного прямоугольника.

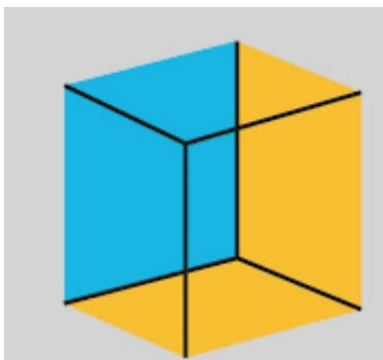


Рисунок 1 – Куб Неккера

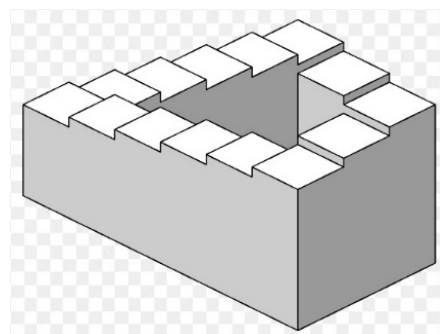


Рисунок 2 – Лестница Пенроуза

Различия в способности «видеть» объем обусловлены развитием пространственного мышления и эффективностью работы вентрального и дорсального потоков обработки информации в коре головного мозга. Изучение дисциплины «Инженерная компьютерная графика» в БГУИР направлена на тренировку этих когнитивных путей, переводя восприятие из области интуиции в область алгоритмического анализа.

Различие между художественной иллюзией и техническим браком заключается в интенции. В инженерии иллюзия – это катастрофа. Потенциальные последствия:

- производственные ошибки: неверная интерпретация уклона или глубины отверстия приводит к порче заготовки;
- коллизии при сборке: в аксонометрии детали могут казаться непересекающимися, тогда как физически монтаж невозможен. Известны случаи, когда из-за удачного ракурса не замечались критические зазоры в системах охлаждения.

Для проверки гипотезы о влиянии иллюзий на восприятие документации авторами было проведено тестирование студентов ФКП БГУИР (выборка: 47 человек, группы 513801–513803). Результаты приведены в таблице 1. Методика включала три теста:

- 1 Инверсия (Куб Неккера): определение ближней грани каркасного куба без штриховых линий за 5 секунд.
- 2 «Невозможная фигура»: оценка реализуемости детали в металле по чертежу со скрытым пересечением плоскостей.
- 3 Семантическая полнота: отличие цилиндрической поверхности от призматической на чертеже вала без осевых линий и знаков диаметра.

Таблица 1 – Результаты тестирования

Тип теста	Правильные (%)	Время (с)	Причина ошибки
Инверсия	42	8,2	Когнитивное переключение
Невозможная деталь	58	12,5	Gestalt-достраивание
Без ЕСКД-меток	33	15,0	Неоднозначность проекции

Система государственных стандартов (ГОСТ) выступает в роли фундаментального механизма снижения неопределенности данных в инженерной графике [3]. Технические приемы визуализации, такие как выполнение разрезов и сечений, необходимы для детализации сложной геометрии: они устраняют визуальное наложение линий, делая внутреннюю структуру объекта доступной для однозначного анализа. Немаловажную роль играют унифицированные условные обозначения (символы диаметра, квадрата), которые функционируют как жесткие смысловые маркеры, направляя интерпретацию чертежа в строго определенное русло и исключая вариативность понимания формы. Завершающим элементом данной системы являются осевые линии, создающие логический скелет изображения; они

фиксируют оси симметрии и предотвращают возникновение оптических иллюзий, связанных с кажущимся смещением или нарушением пропорций детали.

Концепция применения нейросетевых алгоритмов для оценки психологической понятности проектной документации представляет собой перспективное направление в области технической коммуникации. Современные языковые модели способны анализировать тексты по множеству параметров: сложность синтаксических конструкций, плотность терминологии, логичность изложения и когнитивная нагрузка на читателя.

Практическая реализация подобной системы предполагает обучение модели на размеченных корпусах документации с экспертными оценками понятности, после чего алгоритм способен автоматически выявлять проблемные фрагменты – избыточно сложные предложения, неопределённые референции, логические разрывы между разделами. Результатом становится не просто метрика читабельности, а конкретные рекомендации по улучшению текста с учётом целевой аудитории: разработчик, менеджер или конечный пользователь воспринимают одну и ту же документацию принципиально по-разному.

Ключевое преимущество перед традиционными индексами читабельности (Флеш, Ганнинг Фог) состоит в контекстуальном понимании: нейросеть учитывает не только длину предложений и частотность слов, но и смысловую связность, соответствие терминов предметной области и структурную последовательность требований.

Заключение. В аспекте обеспечения надёжности оптические иллюзии и геометрическая многозначность проектной графики выступают существенными факторами инженерного риска. Переход к 3D-моделированию трансформирует данную проблему в плоскость «цифровой неопределённости», где ошибки связаны с интерпретацией виртуальных данных. Для современного инженера чертеж – это интерфейс передачи смыслов от модели к человеку, поэтому совместное применение норм ЕСКД и принципов когнитивной эргономики позволяет снизить вероятность ошибочного прочтения, обеспечивая однозначность документации и надёжность технических решений.

Список литературы

1. Гордон В. О., Семенцов-Огиевский М. А. Курс начертательной геометрии: Учеб. пособие для вузов.: Наука, 2018. – 272 с.
2. Хоффман Д. Визуальный интеллект: как мы создаем то, что видим. – М.: Ломоносовъ, 2011. – 304 с.
3. ГОСТ 2.305-2008. ЕСКД. Изображения – виды, разрезы, сечения. – М.: Стандартинформ, 2010.

UDC 004.925.8

STUDY OF GRAPHIC INFORMATION PERCEPTION DISTORTIONS IN ENGINEERING PRACTICE

Shvabo D.V., Sorokin M.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Gil S.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ECG

Annotation. The article examines the problem of ambiguity in the interpretation of graphical data in engineering, caused by optical illusions and cognitive mechanisms in the perception of 2D projections. A hypothesis is proposed regarding the emergence of «digital ambiguities» within CAD environments.

Key words: engineering graphics, optical illusions, cognitive psychology, CAD systems, design, visual perception

УДК 004.94 + 621.98

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ЛИСТОВОЙ ДЕТАЛИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ КОНСТРУКЦИИ С УЧЁТОМ ИНСТРУМЕНТОВ AUTODESK INVENTOR

Суходолов И.А., Павлюченко З.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Гиль С.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ИКГ

Аннотация. Работа посвящена анализу влияния параметров сгиба на технологичность листовой детали и возможностям инструментов Autodesk Inventor, применяемых при моделировании таких изделий. Рассматриваются два варианта конструкции – с минимальными и увеличенными радиусамигиба. Особое внимание уделено тому, как выбор команд и настроек Inventor влияет на корректность развертки, качество формообразования и удобство дальнейшего производства.

Ключевые слова: технологичность конструкции, Autodesk Inventor, листовая деталь, развертка, гибка

Введение. В последние годы наблюдается рост интереса к трехмерному моделированию изделий из листового металла, таких как корпуса, панели и кожухи, что связано с необходимостью повышения эффективности производственных процессов. Технологичность конструкции является одним из ключевых свойств изделия, определяющих возможность его изготовления с минимальными затратами при сохранении требуемого качества. В соответствии с ГОСТ 14.205-83 технологичность определяется как «совокупность свойств конструкции изделия, определяющих её приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, техническом обслуживании и ремонте» [1].

Таким образом, результаты данного исследования могут быть использованы для улучшения процессов проектирования и производства изделий из листового металла, что, в свою очередь, будет способствовать повышению конкурентоспособности предприятий в данной области.

Основная часть. В данной работе рассматриваются два варианта одной и той же листовой детали, отличающиеся величиной радиусовгиба:

- 1 Вариант А – минимально допустимые радиусыгиба (Равные толщине детали).
- 2 Вариант Б – увеличенные радиусыгиба. (Увеличены в 3 раза).

Вариант А: Минимальные радиусы



Рисунок 1 – Вариант А – развертка с минимально допустимыми радиусамигиба

Вариант Б: Увеличенные радиусы



Рисунок 2 – Вариант Б – развертка с увеличенными радиусамигиба

Листовые детали формируются из плоской заготовки путём гибки по заданным линиям. Основные параметры, влияющие на технологичность: толщина материала, минимально допустимый радиусгиба, количество гибов и их взаимное расположение, точность развертки, необходимость компенсации пружинения, доступность инструмента при гибке.

Autodesk Inventor предоставляет специализированный набор команд для создания и редактирования листовых деталей. Каждая команда имеет диалоговое окно, где можно задать параметры сгиба, тип расчёта развертки и метод компенсации пружинения. Это критически важно для оценки технологичности.

Среди основных команд: Flange (Фланец) – создание базового изгиба от кромки, Contour Flange (Фланец по контуру) – построение сложного профиля по эскизу, Edge Flange (Отбортовка) – усиление кромок, Bend (Сгиб) – добавлениегиба между участками, Lofted Flange (Лофтированный фланец) – переход между разными профилями [2]. В каждой из них задаются радиус, угол, направление, а также тип сгиба: от внутренней поверхности, от наружной или двунаправленный. Дополнительно можно задать коэффициент K-factor, метод расчёта развертки (по таблице, по формуле, по умолчанию), а также параметры компенсации пружинения и тип инструмента.

Для данного исследования наиболее важным является диалоговое окно настройки фланца, а именно параметр «Положение сгиба». Он определяет, как материал будет деформироваться:

- от внутренней поверхности: внутренний радиус сохраняется, внешний растягивается;
- от наружной поверхности: наружный радиус сохраняется, внутренний сжимается;
- двунаправленное (относительно базовой кромки): сгиб формируется симметрично.

Выбор этого параметра напрямую влияет на итоговую длину развертки и, как следствие, на точность раскроя заготовки.

Таблица 1 – сравнение вариантов сгиба

Показатель	Вариант А (минимальные радиусы)	Вариант Б (увеличенные радиусы)
Стабильность геометрии развертки	Высокая чувствительность к параметру «Положение сгиба». Смена положения (внутри/наружу) даёт значительное изменение площади развертки.	Низкая чувствительность к положению сгиба. Изменение положения слабо влияет на итоговые габариты развертки, что упрощает подбор заготовки.
Учет пружинения	Компенсацию пружинения (угла отскока материала) сложно заложить в модель, требуются отдельные расчеты и корректировка угла вручную.	Меньшая упругая деформация. Угол после гибки ближе к заданному в модели, что снижает необходимость корректировки.

Продолжение таблицы 1

Визуальный контроль дефектов	Инструмент «Анализ углов» и «Эпюры напряжений» (при наличии соответствующих модулей) покажет зоны экстремального растяжения/сжатия на внешней сторонегиба.	Зоны деформации визуально более гладкие, эпюры напряжений показывают равномерное распределение нагрузки по зонегиба.
Сложность инструмента	Модель требует применения в производстве специальных пуансонов с малым радиусом, что усложняет подбор оснастки по каталогам стандартных инструментов [5].	Модель совместима с большинством стандартных радиусов пуансонов, что ускоряет переход от проектирования к производству [5].

Вариант А – минимальные радиусыгиба ($R = t$). Минимальный радиусгиба выбирается исходя из толщины материала и его пластичности [4]. Такой вариант обеспечивает компактность детали, но вызывает ряд технологических ограничений: требуется более точное оборудование, повышается риск появления трещин на внешнем слое, возрастает чувствительность к погрешностям развертки, возможна необходимость применения специальных пуансонов.

Вариант Б – увеличенные радиусыгиба ($R = 3t$). Увеличение радиусагиба приводит к: снижению напряжений в зоне деформации, уменьшению вероятности дефектов, повышению стабильности размеров, упрощению развертки [4]. Однако увеличенные радиусы могут ухудшить компоновку изделия и увеличить габариты.

Заключение. Проведённое моделирование показало, что увеличенные радиусыгиба значительно повышают технологичность детали. Вариант с минимальными радиусами требует наличия специальных инструментов, чувствителен к погрешностям развертки и даёт высокий риск брака из-за пружинения. Вариант с увеличенными радиусами, напротив, обеспечивает стабильность геометрии, позволяет использовать стандартное оборудование и снижает число производственных корректировок. Таким образом, при отсутствии жестких компоновочных ограничений предпочтительно применять увеличенные радиусыгиба – это оптимальное сочетание качества и производственной эффективности [3].

Список литературы

1. ГОСТ 14.205–83. Система технологической подготовки производства. Технологичность конструкции изделия. Термины и определения.
2. Autodesk Inventor Help – Sheet Metal Design
3. Кузнецов В. Е., Левин И. М. Технологичность конструкций машин. – М.: Машиностроение, 2005.
4. Горячев А. М. Технология обработки листового металла: гибка, штамповка, резка. – СПб.: Питер, 2016.
5. Шепелев В. П. Проектирование технологических процессов изготовления деталей. – М.: Форум, 2017.

UDC 004.94 + 621.98

EVALUATION OF THE PROCESSABILITY OF A SHEET PART IN VARIOUS DESIGN OPTIONS USING AUTODESK INVENTOR TOOLS

Suhodolov I.A., Pavlyuchenko Z.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Gil S.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ECG

Annotation. This work is devoted to the analysis of the influence of the bending parameters on the processability of a sheet part and the capabilities of the Autodesk Inventor tools used in the modeling of such products. Two design options are considered: with minimal and increased bending radii. Special attention is paid to how the choice of Inventor commands and settings affects the correctness of the unfolding, the quality of shaping, and the convenience of further production.

Keywords: design technology, Autodesk Inventor, sheet part, unfolding, bending

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ 3D-МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАРКЕТИНГА

Духовская С.О., Василюк В.Ю.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Гиль С.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ИКТ

Аннотация. Статья исследует влияние интерактивной 3D-графики на ключевые метрики цифрового маркетинга. Основным инструментом для создания такого контента выступает Blender. На примере Nike, IKEA, Apple и автопроизводителей показано: использование 3D повышает конверсию онлайн-торговли почти вдвое.

Ключевые слова: интерактивные 3D-модели, Blender, цифровой маркетинг, визуализация продукции, WebGL, рекламная анимация

Введение. Вместо обычных картинок компании всё чаще выбирают интерактивные 3D-модели. Blender применяется для создания объёмной графики без потери качества. Цифровой маркетинг получает новые инструменты благодаря трёхмерным сценам. Продукцию теперь можно показать под любым углом – зритель сам управляет обзором. WebGL позволяет запускать модели прямо в браузере, установка не требуется. Рекламная анимация становится живее за счёт плавного движения и реалистичного освещения. Формат glTF упрощает передачу данных между платформами, он лёгкий и открытый.

Основная часть. Сегодняшнее обилие информации делает классическую рекламу – например, обычные баннеры или видео по порядку – всё менее заметной; люди перестают их замечать [1]. Вместо одностороннего послания клиент теперь ждёт возможности взаимодействовать. Именно здесь 3D-модели с элементами управления приобретают значение: они стирают границу между реальным магазином и онлайн-пространством [2].

В маркетинге под интерактивной 3D-визуализацией имеют в виду не столько показ полигональной модели, сколько построение сцены, меняющейся при взаимодействии человека. Пользователь может внимательно рассмотреть продукт – это помогает восполнить недостаток физического контакта во время онлайн-покупок [4].

Исследование методов компаний - лидеров рынка выявляет особенности внедрения трёхмерной графики, зависящие от специфики сферы. Так, в fashion-индустрии Nike применяет платформу Nike By You: здесь изображение генерируется прямо в браузере покупателя. Благодаря этому клиент может подбирать ткани и расцветку деталей обуви самостоятельно, ощущая причастность к дизайну товара – это усиливает приверженность марке [5].

Часто люди колеблются перед покупкой мебели – им трудно представить, как она впишется в пространство. Приложение IKEA Place предлагает взглянуть на предмет интерьера прямо в своей комнате, благодаря функциям дополненной реальности. Тени и свет при этом остаются естественными, масштаб точный. Как показывают цифры от компании, число возвращаемых товаров упало почти на треть: теперь клиентам проще выбрать подходящее. Это решение помогло сделать процесс менее рискованным для покупателя [6].

Компании вроде Apple полагаются на детализированное изображение. Их устройства на сайтах показывают через 3D, применяя карты нормалей вместе с PBR – эффект почти как живое изделие перед глазами. Вращая модель, человек осматривает разъемы и поверхности, благодаря чему меньше приходится читать характеристики [7].

Ниже представлена сравнительная таблица 1, демонстрирующая разницу в ключевых показателях продаж для компаний Nike, IKEA и Apple.

Таблица 1 – Сравнение эффективности маркетинга с 3D-моделями и без них

Компания	Показатель	Без 3D-моделей	С 3D-моделями
NIKE	Выручка	\$36.4 млрд (2018)	\$46.7 млрд (2022)
	Рост выручки	Базовый показатель	+28% за 4 года
	Время на сайте	Средний показатель	7 минут в среднем
	Возвраты	27% в индустрии	Снижение на 15-20%
	Трафик	Стандартный	60 млн посещений/мес
IKEA	Скачивания AR-приложения	–	8+ млн загрузок
	Точность визуализации	–	98% точности масштаба
	Конверсия	Базовая	+11% с IKEA Place
	Вероятность покупки	Стандартная	+65% с AR
	Каталог CGI	Фотографии (2006)	75% CGI (2014)
APPLE	Предзаказы	Стандартный уровень	Рост на 20-30%
	Вовлечённость	2D изображения	3D просмотр iPhone
	Уверенность покупателя	Средняя	Высокая (AR preview)
	Время принятия решения	Дольше	На 25% быстрее

Сложнее всего внедрение проходит в автопроме. Виртуальные салоны у Mercedes-Benz и Audi – это уже не просто выбор комплектаций, а почти осязаемый опыт. Тут имеет значение не столько сам кузов, сколько живое взаимодействие: открой дверь, поменяй ткань сидений или проверь, как загораются лампочки на панели. Чтобы картинка летала ровно по 60 кадров в секунду даже на смартфоне, приходится аккуратно вычищать лишние полигоны, не подменяя детализацию [4].

Что касается практического применения, Blender содержит всё нужное для адаптации 3D-моделей под интернет. Работа проходит через ряд важных шагов. Начинается это с упрощённой геометрии – её получают либо с помощью инструмента Decimate, либо перестраивая сетку вручную. Затем детали с объёмной версии переносятся на простую: так передаются тени и микрорельеф при помощи bake текстур нормалей и освещения. Третий момент – адаптация материалов под возможности движков, работающих в режиме реального времени: вместо объёмных процедурных решений, выбирают обычные растровые текстуры. Формат выгрузки – glTF 2.0, подходящий для сред на базе WebGL; он позволяет эффективно упаковывать как модели, так и изображения [5].

У рекламных баннеров с 3D-графикой кликабельность обычно на треть выше, чем у обычных. Причина – пользователи дольше задерживаются на элементах, которые можно крутить или приближать. Такое поведение платформы замечают и начинают чаще показывать объявление. Но если сцена грузится больше трёх секунд, эффект теряется из-за массового закрытия страниц. Критичность скорости загрузки иллюстрирует исследование поведения пользователей (рисунок 1).



Рисунок 1 – Как влияет скорость загрузки на заинтересованность пользователя

Важно успеть зацепить взгляд до первого движения мыши.

Заключение. Исследование показывает: интерактивные трёхмерные модели теперь не просто новинка – они стали необходимы там, где важна наглядность продукта. Благодаря Blender, создание таких материалов становится систематичным, затраты при этом снижаются. Впереди – внедрение сетей для автоматического нанесения покрытий и упрощение структуры мешей; это постепенно снимет барьеры для массового входа в 3D-маркетинг.

Список литературы

1. Smith, J. *Digital Attention Economy* / J. Smith. – New York : Marketing Press, 2022. – 210 p.
2. WebXR Device API Specification [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.w3.org/TR/webxr/>.
3. Kumar, V. The Impact of 3D Visualization on E-commerce Conversion / V. Kumar // *Journal of Retailing*. – 2023. – Vol. 45, № 2. – P. 112–125.
4. *Automotive UX Trends 2024* / G. Müller [et al.]. – Berlin : AutoTech Verlag, 2024. – 150 p.
5. Foundation. *Blender 3.6 Release Notes* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.blender.org/download/>.
6. Maionic: 3D Configurators: Nike's Secret Tool For Changing Trends, 2024
7. *Smart Spatial: Apple iPhone 17 3D visualization analysis*, 2025

UDC 004.921

USING INTERACTIVE 3D MODELS TO IMPROVE MARKETING EFFECTIVENESS

Dukhouskaya S.O., Vasilyuk V.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Gil S.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ECG

Annotation. This article examines the impact of interactive 3D graphics on key digital marketing metrics. Blender is the primary tool for creating such content. Using examples from Nike, IKEA, Apple, and automakers, it shows that using 3D nearly doubles online sales conversion rates.

Keywords: interactive 3D-models, Blender, digital marketing, product visualization, WebGL, advertising animation

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИММЕРСИВНЫХ СИСТЕМ В ИНДУСТРИИ И МЕДИЦИНЕ

Лешкович С.С., Красовская Д.Ю.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Марамыгина Т.А. – ст. преподаватель кафедры ИКТ

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ использования технологий виртуальной реальности в промышленном и медицинском секторах по состоянию на 2026 год. Рассмотрены технические особенности внедрения VR-симуляторов в Республике Беларусь и международный опыт использования дихоптической визуализации в нейрореабилитации. Особое внимание уделено алгоритмическим аспектам построения иммерсивных сред.

Ключевые слова: виртуальная реальность, процедурная память, дихоптрический рендеринг, промышленная безопасность

Введение. Виртуальная реальность (VR) – это ехнология, которая погружает человека в полностью цифровой мир, где можно взаимодействовать с объектами почти как в реальности. К 2026 году VR сильно выросла: из простых «посмотреть и поиграть» она превратилась в серьёзные симуляторы, которые реально влияют на работу мозга и когнитивные способности. В нашем докладе мы сравнили, как VR применяют в Беларуси и в мире – особенно в двух направлениях: промышленность и медицина (реабилитация, терапия). Интересно, что несмотря на разные сферы, в основе всех этих проектов лежат очень похожие технические принципы создания цифрового контента. Например, в промышленных тренажёрах РУП «Витебскэнерго» (у них есть крутой VR-комплекс «Виртуальная подстанция») главное – добиться максимальной реалистичности картинки. Здесь используют специальные алгоритмы физически правильного рендеринга, чтобы оборудование выглядело точно, как настоящее. Это критично, когда человек учится диагностировать неисправности или отрабатывает действия в опасных условиях – ошибка может дорого стоить. А в медицинских приложениях, например, в системах для лечения амблиопии (ленивого глаза), фокус совсем другой. Здесь важно точно разделять картинку между глазами: одному показывают ярче/чётче, другому – с пониженным контрастом или с маской части изображения. Это называется дихоптическая стимуляция – она заставляет мозг заново учиться работать обоими глазами вместе, активируя зрительную кору по-новому. Получается, что VR уже давно вышла за рамки просто «красивой визуализации». Теперь это инструмент, который напрямую воздействует на биологию человека – тренирует мозг, восстанавливает зрение, учит навыкам в безопасной среде.

Основная часть. В начале 2026 года в Республике Беларусь отмечается формирование собственного комплекса технологических решений в области иммерсивного обучения. Ключевой особенностью является модель инноваций «снизу вверх», где инженерные инициативы специалистов адаптируются под государственные задачи безопасности.

Наглядным примером является VR-тренажер МЧС, разработанный для обучения детей поведению в чрезвычайных ситуациях [1]. Система генерирует критические сценарии: пожары в жилых помещениях, грозовую активность и дезориентацию в лесных массивах. Практическая ценность и значимость проекта заключается в том, что VR-тренажер позволяет довести действия до автоматизма. Вместо заучивания правил безопасности, человек многократно проживает ситуацию в виртуальной среде. Это задействует процедурную память – механизм, отвечающий за формирование устойчивых навыков. В результате у человека вырабатывается своего рода «мышечная память» на правильные действия в экстремальной ситуации. То есть в реальной опасности мозг не будет тратить время на раздумья, а сработает автоматически, воспроизводя уже отработанный в виртуальной реальности сценарий, что критически важно для сохранения самообладания в чрезвычайных ситуациях.

В промышленном секторе особого внимания заслуживает разработка предприятия «Витебскэнерго» – специализированная обучающая среда по охране труда [2]. Проект основывается на принципе преобладания виртуального опыта над реальным. Суть его проста: прежде чем человек получит доступ к работе с опасным высоковольтным оборудованием, он должен доказать свое мастерство в безопасном цифровом пространстве. Такой подход позволяет новичку совершать ошибки, не подвергая риску свое здоровье или дорогое оборудование. Программа имитирует производственную ситуацию, а автоматизированная система оценивает поведение сотрудника. Только после того, как все алгоритмы действий (от проверки заземления до последовательности переключений) будут подтверждены безупречным результатом в очках виртуальной реальности, специалист допускается к работе на реальном объекте. Важно подчеркнуть, что этот проект является примером полной технологической независимости. Весь программный код, логика сценариев и трехмерные модели оборудования созданы белорусскими инженерами и методистами. Это не просто копия зарубежных аналогов, а продукт, учитывающий специфику наших энергообъектов и национальные стандарты безопасности.

Однако потенциал подобных разработок выходит далеко за рамки промышленности, поскольку создание любой иммерсивной системы – это прежде всего решение сложнейших задач в области компьютерной графики. Если в тренажерах для энергетиков инженеры делают ставку на физически корректную визуализацию (так называемый метод PBR), то в мировой клинической медицине те же графические технологии используются для прямого воздействия на здоровье человека. Ярким примером такого подхода является метод раздельного (дихоптического) вывода изображения, который успешно применяется для лечения амблиопии. Амблиопия – заболевание, известное как «ленивый глаз» [3]. Технически ее лечение реализуется через глубокую настройку графического конвейера: программа разделяет видеопоток на этапе формирования изображения. Вместо одного стандартного кадра система создает два независимых буфера кадра – Eye Buffers. Благодаря этому становится возможным дифференцированный вывод графики: в буфер левого глаза передаются одни элементы сцены, а в буфер правого – другие, дополняющие их. Например, в специализированных версиях игры «Тетрис» один глаз видит только падающие фигуры, а другой – только стакан, в который их нужно поместить. Такое искусственное разделение картинки заставляет мозг активно включаться в работу и объединять два изображения. Этот процесс стимулирует естественную пластичность мозга и постепенно восстанавливает полноценное объемное зрение. Последние научные данные за 2025-2026 годы подтверждают высокую эффективность таких тренировок: всего за 10-20 часов занятий в виртуальной реальности острота зрения пациентов повышается. Таким образом, графические алгоритмы, которые создавались для визуализации, превращаются в действенный инструмент нейрореабилитации.

Помимо офтальмологии, технологии виртуальной реальности показывают впечатляющие результаты в лечении сложных неврологических состояний, таких как болезнь Паркинсона [4]. Опираясь на последние клинические отчеты за начало 2026 года, использование VR-тренажеров позволяет значительно улучшить двигательную активность пациентов. Это происходит во время создания игровых сценариев, требующих от человека точно скоординированных движений в виртуальном пространстве. Например, пациенту необходимо обходить препятствия или ловить виртуальные объекты. Благодаря высокой частоте обновления кадров и точному отслеживанию движений рук и ног, мозг получает мгновенную визуальную обратную связь. Это стимулирует создание новых нейронных связей в обход поврежденных участков мозга. Статистика подтверждает: у группы пациентов, регулярно проходивших VR-тренинги, наблюдается значимое улучшение координации и скорости ходьбы. Инженерная ценность таких систем заключается в возможности настройки под каждого человека, что превращает обычный шлем виртуальной реальности в полноценный медицинский аппарат. Это еще раз доказывает, что иммерсивное программное обеспечение – это не просто визуальная оболочка, а инструмент глубокого воздействия на биологические процессы организма.

Особое место в современной медицине 2026 года занимает использование виртуальной реальности для борьбы с фантомными болями [5]. Это состояние, при котором человек продолжает чувствовать мучительную боль в ампутированной конечности, возникает из-за

«ошибки» в работе головного мозга: он посылает сигналы к отсутствующей руке или ноге и, не получая ответа, интерпретирует это молчание как сигнал сильной боли. Инженерное решение этой проблемы: пациент надевает VR-шлем, в котором создается точная копия его тела. С помощью датчиков движения система отслеживает жесты здоровой конечности и зеркально отображает их на месте отсутствующей в виртуальном пространстве. Когда человек видит в цифровом мире свою «восстановленную» руку, которая плавно двигается и выполняет команды, его мозг получает визуальное подтверждение того, что конечность на месте и с ней всё в порядке. Этот процесс, называемый протоколом целевой нейрореабилитации (TBR), буквально «перепрошивает» нейронные связи. Статистика начала 2026 года показывает, что уровень боли у пациентов снижается примерно в два раза – с 4.9 до 2.4 баллов по международным шкалам. Таким образом, виртуальная реальность является не просто как визуальным аттракционом, а своего рода «цифровым обезболивающим», позволяя пациентам возвращаться к нормальной жизни без тяжелых медикаментов.

Заключение. К началу 2026 года в Республике Беларусь сформировалась устойчивая технологическая база для развития иммерсивных систем. Проекты в сфере промышленной и общественной безопасности уже доказали свою эффективность. Они работают на уровне мировых стандартов. И хотя задачи у инженеров-энергетиков и медиков радикально различаются, их объединяет общая технологическая основа: использование эффекта присутствия для формирования устойчивых навыков и управление графическим контентом.

Тот опыт, который был получен при разработке тренажеров для МЧС и энергосектора, открывает реальные перспективы для создания отечественных медицинских VR-платформ. Мы научились использовать виртуальную реальность для визуализации сложных технологических процессов, следовательно, использование VR-технологий в медицине – это лишь вопрос времени. Дальнейший прогресс в этой области зависит не только от мощности графических процессоров, но и от тесного взаимодействия инженеров, врачей и педагогов. Именно такой состав команды позволит превратить виртуальную реальность из простого средства визуализации в по-настоящему нужный инструмент для развития человека.

Список литературы

1. Мину-центр безопасности «Центр 112» открылся в Гродно / *Новости Гродно* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.grodnoplustv.by/index.php/novosti/item/24073-mini-tsentr-bezopasnosti-tsentr-112-otkrylsya-v-grodno>. Дата доступа: 01.03.2026.
2. Виртуальную систему обучения охране труда презентовали в «МНТКО» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vitebskbelproftrans.by/virtualnuyu-sistemu-obucheniya-ohrane-truda-prezentovali-v-mitso.html>. Дата доступа: 02.03.2026
3. Hess, R.F. Dichoptic training enables binocular vision in adults with amblyopia / R.F. Hess, B. Thompson, G. Baker // *Current Biology*. – 2013. – Vol. 23, № 9. – P. 826-831 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23618662/>. Дата доступа: 04.03.2026
4. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. VR training in Parkinson's disease: randomized controlled trial/J. Yu., J. Wu [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12984-023-01256-y>. Дата доступа: 04.03.2026
5. *Journal of Hand Therapy*. Targeted Brain Rehabilitation (TBR) protocol for phantom limb pain/ Calvin C. Chandler, Ryan P. Serbin [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.jhandtherapy.org/article/S0894-1130\(25\)00202-9/Annotation](https://www.jhandtherapy.org/article/S0894-1130(25)00202-9/Annotation). Дата доступа: 04.03.2026

UDC 004.946:614.8:615.825

APPLIED ASPECTS OF IMMERSIVE SYSTEMS IN INDUSTRY AND MEDICINE

Leshkovich S.S., Krasovskaya D.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radio electronics, Minsk, Republic of Belarus

Maramygina T.A. – senior lecturer at the department of ECG

Annotation. The paper provides a comparative analysis of the use of virtual reality technologies in the industrial and medical sectors as of 2026. Technical features of the implementation of VR simulators in the Republic of Belarus and international experience in using dichoptic rendering in neurorehabilitation are considered. Particular attention is paid to the algorithmic aspects of constructing immersive environments.

Keywords: virtual reality, immersiveness, procedural memory, dichoptic rendering, industrial safety

ОБУЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ФИЗИКЕ МИРА С ПОМОЩЬЮ WORLD MODELS

Минченко Д.Н.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Марамыгина Т.А. – ст. преподаватель кафедры ИКТ

Аннотация. Статья посвящена анализу качественного скачка в развитии искусственного интеллекта, произошедшему в 2025–2026 годах. Этот период характеризуется переходом от языковых моделей, которые умеют «говорить», к мировым моделям (World Models), которые понимают принципы физики.

Ключевые слова: искусственный интеллект, World models, LLM, воплощенный интеллект, физический ИИ, смена парадигмы

Введение. Представим «существо», которое прочитало миллиарды книг, выучило все энциклопедии мира, цитирует Э. Канта и пишет дипломы, но при этом оно никогда не держало в руках камень, не роняло чашку, не толкало тележку в супермаркете. Если его спросить: «Что будет, если положить тяжелую книгу на пустую коробку из-под обуви?», то получим правильный текстовый ответ – потому что в книгах написано «коробка сомнется». Однако, такое существо не понимает почему, так как у него нет внутренней модели физики мира [1].

Таковыми «существами» и являются ChatGPT, Claude, Gemini и другие большие языковые модели (LLM). Их фундаментальное ограничение доказано: LLM обучаются на текстах, предсказывая следующее слово по предыдущим [2]. Такие модели не имеют никакого опыта взаимодействия с реальностью. Они как будто «головы в банке», подключенные ко всем библиотекам мира.

Настоящая статья ставит целью объяснить, что такое World models простыми словами, показать реальные прорывы января-февраля 2026 года и доказать: 2026 год стал водоразделом, после которого ИИ перестал быть просто «разговорчивым библиотекарем» и начал осваивать физический мир [3].

Основная часть. Простыми словами world model – это внутреннее представление среды в «голове» искусственного интеллекта, которое позволяет ему предсказывать последствия своих действий. Например, можно считать, что у пятилетнего ребенка есть world model. Он знает: если толкнуть стакан, он упадет, если уронить яйцо, то оно разобьется, а большой кубик нельзя поставить на маленький, потому что конструкция упадет. LLM не знают этого. Они знают только, что слова «стакан», «упал», «разбился» часто встречаются рядом.

Главное отличие между рассматриваемыми моделями заключается в следующем:

– модели LLM предсказывают следующее слово, а World models предсказывают следующее состояние мира;

– LLM видят корреляцию, а World models понимают причину и следствие;

– LLM пишут план действий, World models проигрывают этот план в голове, проверяя его на внутренней модели реальности [4].

Янн ЛеКун, лауреат премии Тьюринга и ведущий исследователь ИИ, объясняет World models следующим образом: «Вы можете вообразить последовательность действий, которые собираетесь совершить, и ваша World model позволит вам предсказать, каким будет эффект этих действий на мир». Именно такой способности предугадывать последствия и лишены современные языковые модели, и именно эту способность разработчики пытаются дать им сегодня.

На наш взгляд одним из важных событий было открытие китайской компанией Ant Lingbo (дочерняя компания Alibaba) исходного кода модели LingBot-VA, который она

представила 10 февраля 2026 года [5]. Это первая реализация принципа «авторегрессивное видео-действие», которое заключается в том, что робот не просто выполняет заученные движения, а изучает задачу, проигрывает в голове несколько вариантов решения, выбирает тот, который с наибольшей вероятностью приведет к успеху, выполняет задачу и корректирует себя в реальном времени. Для обучения новой задаче LingBot-VA достаточно 30-50 демонстраций, а для других моделей требовались тысячи. Такие задачи, как складывание мягкой одежды, заправка постели, аналогов.

Практически одновременно командами Стэнфорда и NVIDIA была опубликована Cosmos Policy. Cosmos Policy ломает все шаблоны и представляет собой чистую видеогенерацию, превращенную в управление роботом. От обычного подхода, когда модель VLA смотрит картинку, читает текст, выдает действие, в модели Cosmos Policy используется подход генерации видео того, что должно произойти, из которого извлекаются управляющие команды для робота. Рассмотрим, зачем это нужно? Так как видеоданных в мире миллиарды часов, а данных о работе роботов часы, то Cosmos Policy позволяет использовать гигантские массивы обычных видео для обучения физическому интеллекту. Успешность Cosmos Policy на бенчмарке LIBERO, стандарте для тестирования роботов, составляет 98,5 %, что является абсолютным рекордом

Платформа NVIDIA Cosmos, которая была анонсирована на CES 2025, к январю 2026 уже скачана более 2 миллионов раз. Основными клиентами данной платформы являются: Uber, Figure AI, Waabi, XPENG, 1X, то есть все, кто делает реальные роботы и беспилотники [3]. Цель NVIDIA состоит в создании ChatGPT-момент для робототехники».

Поэтому ключевым понятием 2026 года и стало контрфактическое мышление, которое заключается в том, что робот учится задавать вопрос: «А что будет, если я сделаю по-другому?». Система DreamZero от NVIDIA реализует это через совместное предсказание будущего видео и соответствующих действий, т.е. робот больше не имитатор, а становится мыслителем.

Рассмотрим в чем же состоит технологическая суть современных моделей. Раньше роботов учили сначала создать виртуальную среду, натренировать в ней миллионы итераций и перенести на реального робота. При это возникала проблема, что симулятор никогда не совпадает с реальностью на 100 %, так как симулятор не знает ни физики жидкостей, ни деформации мягких материалов, ни сенсорных шумов и т.п. Главный ученый компании Ant Lingbo считает, что «Sim-to-Real – не наш основной технический путь. Мы используем физические данные реального мира плюс интернет-видео».

Второе ключевое понятие – это принцип «один мозг – много тел». Принцип традиционной робототехники, когда под каждую конструкцию робота разрабатывается своя программа. Например, если сменили захват, то соответственно, надо переписать и управление. Новая парадигма заключается в том, что разрабатывается универсальный мозг, так называемая, базовая модель, которая может управлять любым телом: двуногим, четвероногим, колесным, с двумя захватами или с пятью пальцами. LingBot-VLA адаптирован под 9 различных промышленных конфигураций роботов. Смысл такой же, как и в Android, то есть одна операционная система может использоваться для тысяч моделей смартфонов. В 2026 году такой подход используется и в робототехнике.

Ключевым моментом стало проведение в феврале 2026 года крупнейшей конференции по робототехнике ICRA, на которой работала отдельная секция «World Models» [6] и академическое сообщество официально признало, что World models – это магистральный путь к следующему поколению искусственного интеллекта [7].

Однако, в настоящий момент, для развития World models существуют определённые ограничения. Например, модели LLM учились на триллионах слов, а для World models необходимы триллионы кадров взаимодействия с физическим миром. Таких данных пока нет. NVIDIA Cosmos тренировался на 9000 триллионов токенов из 20 миллионов часов видео, а это требует инфраструктуры, доступной лишь нескольким корпорациям мира.

Ученый, один из основателей современного глубокого обучения Янн ЛеКун признает, что еще не известно точно, как именно должна быть устроена идеальная World model. I-JERA, DreamZero, Genie 3, LingBot-VA, Cosmos Policy являются только экспериментом, а не финальным решением, сохраняется еще теоретическая незавершенность.

Заключение. 2026 год войдет в историю искусственного интеллекта как год, когда ИИ перестал быть «головой в банке». Он начал обретать тело и через это тело понимать физику мира.

На основе проведенного исследования, можно выделить четыре аспекта, которые подтверждают эту смену парадигмы:

– технологический: LingBot-VA, Cosmos Policy, Motus доказали, что World models работают на реальных роботах, превосходя старые подходы на 20–35%;

– институциональный: Янн ЛеКун, главный авторитет в глубоком обучении, ставит на World models свою репутацию и 500 миллионов евро инвестиций;

– индустриальный: NVIDIA Cosmos скачан 2 миллиона раз, а Uber, Figure, Waabi внедряют физический ИИ в свои продукты;

– академический: ICRA и IEEE вводят World models в мейнстрим научной повестки.

Люди научили ИИ понимать, что камень упадет, но пока не научили его учиться физике так же эффективно, как пятилетний ребенок, потому что ребенку достаточно трех падений, роботу – тысячи демонстраций. Однако направление задано, и обратного пути нет.

Можно сказать, что 2026 год стал годом, когда ИИ наконец вышел из библиотеки в реальный мир.

Список литературы

1. Brodsky, S. World models help AI learn what five-year-olds know about gravity / S. Brodsky // IBM. – 2025. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ibm.com/think/news/cosmos-ai-world-models>. Дата доступа: 24.02.2026.
2. Крыжный, А. ИИ-компании делают шаг в направлении создания суперинтеллекта / А. Крыжный // Экономическая правда. – 29.09.2025. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pravda.com.ua/rus/tehnologii/ii-kompanii-delayut-stavku-na-mirovye-modeli-812197/>. Дата доступа: 26.02.2026.
3. Crosley B. World Models Race 2026: How LeCun, DeepMind, and World Labs Are Redefining the Path to AGI / B. Crosley // Introl Blog. – 02.01.2026. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://introl.com/blog/world-models-race-agi-2026>. Дата доступа: 26.02.2026.
4. World Models in Artificial Intelligence: Sensing, Learning, and Reasoning Like a Child / Javier Del Ser, Jesus L. Lobo, Heimo Müller, Andreas Holzinger // arXiv. – 2025. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2503.15168>. Дата доступа: 26.02.2026.
5. 世界模型驱动：具身智能告别「盲动」时代。= Мировая модель: воплощённый интеллект прощается с эпохой «слепого движения» // 36kr.com. – 2026. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://36kr.com/p/3678363993252488>. Дата доступа: 24.02.2026.
6. Competitions: AgiBot World Challenge // IEEE ICRA 2026. – 10.11.2025. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://2026.ieee-icra.org/program/competitions/#agibot>. Дата доступа: 26.02.2026.
7. Digital Twins and World Models: Bridging Next-Generation AI, Wireless, and Robotics Systems // IEEE ComSoc. – 05.02.2026. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://r2.ieee.org/event/ieee-comsoc-2026-lecture-series/>. Дата доступа: 26.02.2026.

UDC 004.8:004.94:004.942:530.1

TEACHING ARTIFICIAL INTELLIGENCE THE PHYSICS OF THE WORLD USING WORLD MODELS

Minchanka M.D.

Belarusian State University of Informatics and Radio electronics, Minsk, Republic of Belarus

Maramygina T.A. – senior lecturer at the department of ECG

Annotation. The article examines the qualitative leap in the development of artificial intelligence that occurred in 2025-2026. This period is characterized by a transition from language models capable of “speaking” to World Models that understand the principles of physics.

Keywords: artificial intelligence, World Models, LLM, embodied intelligence, physical AI, paradigm shift

ЦИФРОВЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНОГО ВУЗА АСПЕКТАМ СОХРАНЕНИЯ ИСТОРИЧЕСКОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Тарасова А.В.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, г. Новосибирск

Научный руководитель: Тен М.Г. – ст. преподаватель кафедры ИКГ

Аннотация. В статье исследованы проблемы сохранения исторического архитектурного наследия города Новосибирска. Предложен актуальный подход, связанный с возможностью применения цифровых образовательных ресурсов в процесс подготовки инженеров-строителей и реставраторов.

Ключевые слова: историческая застройка, цифровые образовательные ресурсы, сохранение

Введение. Деревянные здания в центре Новосибирска – важный элемент культурного наследия. Их сохранение требует подготовки компетентных реставраторов. Для этого предлагается использовать современные цифровые технологии и образовательные ресурсы.

Основная часть. Русское деревянное зодчество имеет древние корни. Мастера строили дома без гвоздей, используя рубку «в чашу», «в лапу», «в ласточкин хвост» [1]. Деревянные постройки начала XX века – основа исторической застройки Новосибирска. Визуальный осмотр зимой 2026 г. показал, что многие дома, вопреки охранному статусу, находятся в плохом состоянии. Многие имеют комбинированную конструкцию: первый этаж каменный, второй – деревянный. Это связано с пожаром 1909 г., уничтожившим 794 деревянных дома [2].

Биологическое поражение древесины в деревянной части строений (гниение, поражение грибом) вызывает особую тревогу. Удручающе выглядят элементы декоративной резьбы на наличниках, карнизах, элементах декора колонн и стен. Это связано с отсутствием своевременной реставрации, а применение неправильных технологий неподготовленными специалистами усугубляет ситуацию. Конечно, не все дома выглядят плачевно и некоторые радуют глаза и поражают своей уникальной красотой прошлой эпохи.

Существует государственная система по охране памятников, регулируется федеральным законодательством (73-ФЗ). Государственная инспекция по охране объектов культурного наследия Новосибирской области осуществляет государственную охрану исторической застройки. Согласно инструкции проводятся плановые проверки с периодичностью раз в пять лет. Чтобы выяснить, почему часть зданий выглядит отреставрированными, а некоторые – плачевно, взято интервью в Государственной инспекции по охране объектов культурного наследия Новосибирской области. Заместитель начальника инспекции ответил, что в ряде случаев срок выполнения предписания о проверке еще не истек, но имеются и другие, «глубинные» причины. Прежде всего, это ответственность и добросовестность граждан – арендаторов исторических домов. Они зачастую не спешат выполнять охранные обязательства, если за этим не следует немедленного наказания. Кроме того, реставрация объекта культурного наследия требует значительных средств, которыми располагают далеко не все владельцы. Отдельную сложность представляет наличие нескольких собственников в многоквартирных домах – договориться о проведении реставрационных работ между множеством владельцев крайне сложно, что приводит к ускоренному разрушению таких объектов. Таким образом, проблематика сохранения деревянного зодчества упирается прежде всего в ответственность и добропорядочность граждан, а также в их финансовые возможности. Полагаем, что срок проверки – раз в пять лет не позволяет своевременно фиксировать и предотвращать необратимые разрушительные процессы, скорость которых значительно превышает периодичность контрольных мероприятий.

Несмотря на описанные сложности, существуют механизмы государственной поддержки. В частности, действует федеральная программа «Культура РФ», в рамках которой можно рассчитывать на выделение бюджетных средств на реставрацию. Правительством РФ в декабре 2025 года утверждена программа, рассчитанная до 2030 года, которая предполагает приведение в удовлетворительное состояние двух тысяч памятников по всей стране. Практика постепенно нарабатывается, и такие механизмы должны помочь в сохранении деревянного наследия города.

Главный недостаток действующей системы – слишком большой разрыв между плановыми проверками. За пять лет деревянный дом, особенно без своевременной консервации, может перейти из категории «требующий ремонта» в категорию «аварийный» с необратимой утратой декора. Решением могло бы стать привлечение волонтеров к ежегодному мониторингу состояния объектов. Волонтерами могут выступать студенты строительных специальностей НГАСУ «Сибстрин», местные жители, равнодушные к истории города, активисты общественных организаций. Они могли бы ежегодно проводить визуальный осмотр закрепленных за ними объектов, осуществлять фотофиксацию состояния фасадов и декоративных элементов. Это позволит сократить срок выявления проблем с пяти лет до одного года и создать ежегодную базу фотофиксации для отслеживания динамики разрушений.

Предлагаем ввести для собственников обязанность ежегодного предоставления отчета с актуальными фотографиями фасадов и декоративных элементов, кратким описанием проведенных работ и информацией о произошедших утратах. Отчет может подаваться в электронном виде через специальное приложение, что не создаст излишней бюрократической нагрузки, но будет дисциплинировать собственника. Необходимо привлекать частных инвесторов и спонсоров из числа коммерческих компаний. Инвесторам можно предложить размещение информации о компании на информационных табличках у отреставрированного объекта, упоминание в цифровых приложениях и на сайтах, посвященных исторической застройке, создание специальной «доски почета инвесторов» в мобильном приложении или на городском портале, публичную благодарность в СМИ и на мероприятиях. Для небольших объектов или конкретных работ эффективным инструментом может стать краудфандинг – это коллективное сотрудничество людей, которые добровольно объединяют свои деньги или другие ресурсы вместе, как правило, через Интернет, чтобы поддержать усилия других людей или организаций, народный сбор средств через специализированные платформы [3].

Студенты строительных специальностей могут создавать 3D-визуализации отреставрированных объектов, которые используются в краудфандинговых кампаниях для наглядности – это и учебная задача, и реальная помощь. Все предложенные меры могут быть объединены в рамках единой цифровой платформы – мобильного приложения и сайта, посвященных деревянному зодчеству Новосибирска. На этой платформе волонтеры смогут загружать фото домов и вести историю наблюдений, собственники – подавать ежегодные отчеты и получать напоминания о сроках, инвесторы – видеть «доску почета» и информацию о доступных объектах, жители – сообщать о проблемах, жертвовать деньги и узнавать историю домов, студенты – учатся создавать 3D-модели и пополнять цифровой архив декора, а инспекция – получать оперативные данные о состоянии объектов.

Отдельная важная функция – создание базы данных элементов декора: наличников, карнизов, резьбы. Пока уникальные узоры не исчезли окончательно, их необходимо фиксировать с помощью фотограмметрии. Фотограмметрия – это область науки, которая занимается получением точных измерений из фотографических и цифровых снимков. Она играет важную роль в современном мире, позволяя определять форму, размеры и пространственное положение объектов, а также их площадь, объем и различные сечения, что позволит сохранить информацию для будущих реставраций и для изучения [4]. Данная ситуация ставит задачу не только поиска новых подходов к сохранению исторического наследия, но и подготовки квалифицированных специалистов-строителей, способных работать с уникальными деревянными конструкциями и декором. Эффективным

инструментом выступают цифровые образовательные ресурсы: видеоматериалы, фиксирующие состояние деревянной застройки (видеообзор на платформе RuTube [5]), позволяют студенту детально изучать декор и конструкции и формируют навыки визуальной диагностики еще до выхода на объект. Одним из перспективных направлений решения данных проблем выступает использование цифровых образовательных ресурсов (ЦИОР) в процессе подготовки будущих специалистов-строителей. Современные технологии: 3D-сканирование, фотограмметрия, лазерное моделирование, создание цифровых баз данных – открывают широкие возможности.

Заключение. Проведенный анализ состояния деревянной застройки Новосибирска и интервью с заместителем начальника Государственной инспекции по охране объектов культурного наследия Новосибирской области позволяет сделать следующие выводы. Необходимы меры, которые можно объединить в рамках единой цифровой платформы – мобильного приложения и сайта, посвященных деревянному зодчеству Новосибирска. Отдельная важная функция – создание базы данных элементов декора: наличников, карнизов, резьбы.

Данная ситуация ставит задачу не только поиска новых подходов к сохранению исторического наследия, но и подготовки квалифицированных специалистов-строителей, способных работать с уникальными деревянными конструкциями и декором. Только комплексный подход, сочетающий общественные инициативы, экономические стимулы, цифровые инструменты и подготовку специалистов, способен сохранить уникальное деревянное зодчество города для будущих поколений.

Список литературы

1. Русское деревянное Зодчество на Руси //URL: <https://drevcenter.ru/articles/760-russkoe-zodchestvo-na-rusi/> (дата обращения : 06.03.2026)
2. Котович Л.В. Под стук колес Новосибирского метро. - : НГПИУ, 2022 – 45,-URL: <https://54.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/professionalnye-prazdniki/yubileynye-daty/125-let-pozharной-ohrane-novosibirskoy-oblasti/razrushitelnyy-pozhar-1909-goda> (дата обращения : 06.03.2026)
3. Краудфдинг//Википедия: свободная энциклопедия.-URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%83%D0%B4%D1%84%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B3> (дата обращения : 06.03.2026)
4. Что такое фотограмметрия ? // Архитектурная фотограмметрия.- 2021. – URL: <https://photogrammetria.ru/440-chto-takoe-fotogrammetrija.html> (дата обращения : 06.03.2026)
5. А.В.Ополовников. «Русское деревянное зодчество». – Москва: «ИСКУССТВО», 1986
6. Как там было в Новониколаевске (видеозапись) // RuTube: видеохостинг.- URL <https://rutube.ru/plst/1465059/> (дата обращения 06.03.2026)

UDC 69.059:72.025+378

DIGITAL EDUCATIONAL RESOURCES IN TEACHING STUDENTS OF CIVIL ENGINEERING UNIVERSITIES IN THE PRESERVATION OF HISTORICAL URBAN DEVELOPMENT

Tarasova A.V.

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk

Supervisor: Ten M.G. - Senior Lecturer, Department of Historical and Urban Development

Annotation. This article examines the issues of preserving the historical architectural heritage of Novosibirsk. A relevant approach is proposed, focusing on the potential use of digital educational resources in the training of civil engineers and restorers.

Keywords: historical development, digital educational resources, preservation

USING VIDEOGAMES FOR MILITARY TRAINING

Antonovich.E. A., Efremov.A.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Berestovsky.A.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article examines the potential of using video games for military training. In the context of modern technological development and the transformation of armed conflicts, the integration of innovative approaches is becoming necessary. The paper considers specific methods and techniques for integrating video game technologies into the combat training of soldiers.

Keywords: military training, realistic suppression system, Modern combined-arms combat, military simulators, tactics, game-based training, SQUAD

Introduction. Amidst the evolution of technology and the changing nature of armed conflicts, traditional training methods are being augmented by innovative approaches. One such approach involves the training of soldiers through video games. This paper will examine that concept using the specific video game Squad as case studies, focusing on their realistic depiction of combat operations, tactics, teamwork, and terrain navigation.

Main part. Squad (Picture-1) is a multiplayer tactical military first-person shooter developed by the Canadian studio Offworld Industries. The game was officially released on Steam on September 23, 2020, and is built upon the core principles of teamwork and communication. The developers demonstrate that in modern combined-arms combat, communication, strategy, logistics and supply, leadership, the ability to operate as part of a unit, marksmanship, and navigation are critically important.



Figure 1: Video game

Let us examine the gameplay mechanics utilized in Squad that are pertinent for training purposes.

This involves not only the development of accuracy but also the application of various firing techniques. The game features elements such as firing from behind cover (leaning left and right), from a crouched position, and from a prone supported position. Furthermore, projectile ballistics are simulated, meaning that accurate long-range shooting requires the use of the sight's aiming grid.

In Squad, teams are divided into squads, each led by a Squad Leader. The Squad Leader directs the unit alongside their team, places fortifications, and coordinates their squad's actions with others. Soldiers, in turn, assume roles such as riflemen, medics, drivers, pilots, grenadiers, combat engineers, snipers, machine gunners, and crewmen. The primary roles are as follows:

Medic – A mandatory class in any squad. Medics can revive wounded soldiers and treat critical injuries, preventing player deaths. This class is the most vital element of each squad, determining whether the unit can advance or will be eliminated before achieving its objective.

Rifleman (Infantryman) – The most common role, equipped with an ammunition bag from which allies can resupply.

Grenadier – A fire support class armed with an under-barrel grenade launcher, utilizing fragmentation and smoke rounds for concealment.

Combat Engineer – A class dedicated to reconnaissance, destroying enemy radios, vehicles, and fortifications. They are equipped with mines and tools for digging and constructing defenses.

Sapper – Equipped with remote-detonated explosives, this unique operative can threaten enemy emplacements and vehicles.

Sniper – A precision marksman capable of eliminating enemies with a single shot to the torso, designed to neutralize high-value targets at range.

Unlike linear shooters where tactics often boil down to choosing a corridor for attack, Squad provides teams with a blank slate for tactical creativity. The game's name itself points to the primary condition for victory: cohesive collective action. Squad does not teach tactics; instead, it creates an environment where effective tactics and competent team coordination become the only means to survive and accomplish the mission [1].

The mission execution process begins long before the first shot is fired. When a team receives an order, a «brainstorming» session begins in the voice chat, simulating real-life planning. Squad leaders analyze the terrain using the map, assess approach routes, delegate tasks, and organize logistics. At these moments the importance of each step in operational preparation becomes clear. Once the plan is approved and the Squad Leader issues the order, the group moves out along the designated route. Each member assumes their position and observes their assigned sector. The voice chat is no longer filled with heated discussions – only brief enemy reports and the issuance of orders.

The integrated voice chat system is not merely an option but the primary tool for battle management. Squad features a channel separation critical for situational awareness. Local chat is audible only to nearby soldiers and is used for situational information exchange within the fire team. Squad chat is for the Squad Leader to assign tasks and receive reports from subordinates. Command chat allows squad leaders to coordinate company-level actions, request support, and synchronize attacks. A separate commander channel provides an overhead view via a UAV-like perspective to issue strategic orders. Trainees learn to report information concisely and clearly, understanding that congested communication can cost the unit its life, as a commander might miss a critical report of approaching enemy armor.

Realistic ballistics and a suppression system make combat akin to tactical chess, where a direct frontal assault is deadly. The game allows for marking critical points, suspected enemy positions, and attack objectives on the map. A Squad Leader can devise various tactics, including those based on deception – limited only by imagination and ingenuity. The enemy may spot the maneuver and counterattack, reinforcements may be delayed, or a well-placed mine may destroy enemy vehicles. This dynamic teaches a crucial skill: adaptability. A plan can crumble in the first seconds of contact, and it is precisely then that a unit's true cohesion is tested: the ability to quickly regroup and continue the mission under changed circumstances.

Logistical support is equally important in the game. Players use vehicles to transport ammunition and equipment to the squads. They witness firsthand that without protecting supply lines, an offensive will stall. This instills an understanding of the importance of rear-area support.

Conclusion. There is a vast multitude of military simulators in the form of video games, but not all meet the requirements for military training due to the «casualization» of games for the sake of player enjoyment. Yet, even the best examples have room for improvement and further development [2].

References

1. Steam Community: Guide – Detailed Guide for Beginners [Electronic resource]. – Access mode: <https://steamcommunity.com/sharedfiles/filedetails/?id=2494665770>
2. Steam Community: Guide – Beginner's Guide to Playing Squad [Electronic resource]. – Access mode: <https://steamcommunity.com/sharedfiles/filedetails/?id=3359453634>

GENETIC ALGORITHMS: HOW COMPUTERS “EVOLVE”

Astrowski V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovitch I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article discusses the principles of genetic algorithms and the types of problems they are designed to solve. It describes their operating mechanisms, including selection, crossover and mutation, and analyses their advantages over traditional mathematical methods in solving complex optimisation tasks. A practical implementation of the OneMax problem is presented to illustrate the algorithm’s functionality.

Keywords: genetic algorithm, selection, crossover, mutation, genes.

Introduction. In 1859, Charles Darwin published his famous work, “On the Origin of Species”, in which he articulated the idea of the change of all life on Earth through natural selection, or rather, evolution. However, since biological evolution is believed to take millions, even hundreds of millions, of years, we cannot visualize its action. However, modern computational methods allow us to simulate certain aspects of evolutionary processes.

In 1954, the Italian mathematician Nils Barricelli created a simulation of evolution on a computer at the Institute for Advanced Study, Princeton University. His work provided a powerful impetus for research on this topic, which ultimately resulted in the development of an evolutionary algorithm called the Genetic Algorithm.

A genetic algorithm is a heuristic search method used to solve optimization and modeling problems by applying principles similar to those of evolution in nature. It is based on the fundamental mechanisms of heredity, variation and natural selection.

Main part. A genetic algorithm operates according to the principles of selection, crossover and mutation. To solve a problem using this approach, an initial population of individuals is generated. Each individual represents a potential solution encoded as a chromosome composed of genes. The initial population is typically created randomly to promote genetic diversity. To evaluate the quality of each individual’s solution, we must define a fitness function, often expressed as fitness (individual). This function indicates how close a particular individual is to solving the problem. The evolutionary process can then be simulated.

The selection stage follows: its goal is to retain the fittest individuals in the population, while also maintaining population diversity, since the optimal solution can also be achieved by crossing highly fit individuals with less fit ones.

After selection, the algorithm proceeds to the crossover stage, also known in scientific literature as crossing-over. At this stage, data (genes) are exchanged between the chromosomes (solutions) of the parents selected in the first stage. Specifically, two individuals (parents) are selected and chromosome fragments (a group of genes) are swapped, resulting in a new set of genes in the chromosomes of the offspring. This operation is performed with a certain high, but not 100%, probability. Parent individuals that produce offspring may or may not remain in the next generation depending on the algorithm design. With this crossover mechanism, the population size in each subsequent generation will not differ from the initial size.

The final stage in the evolutionary process is mutation. It is applied to the resulting population and randomly changes the values of individual genes or sets of genes with a small probability. The probability of mutation and its strength – that is, how many genes it will replace – are determined by the designer. Mutation is necessary to maintain population diversity and accelerate the search for the desired solution. Although mutation may sometimes produce less optimal solutions, such individuals are typically eliminated during the subsequent selection phase. However, the mutation probability must be carefully chosen, because if it is too large, this may lead to the loss of beneficial genes and not be fixed in subsequent solutions, which will significantly slow down the process of finding a solution.

With a successful mutation, the individual has every chance of passing through selection and producing offspring, which will consolidate the previously obtained good gene in the population.

To illustrate the algorithm, a simple implementation of the OneMax problem was developed in C++. This problem is conceptually simple and clearly demonstrates the functioning of a genetic algorithm. The OneMax problem: we have a sequence of digits of a certain length, which can consist of zeros and ones. Our goal is to find a solution that maximizes the sum of the digits in this sequence. Obviously, the correct solution to this problem is a sequence where each digit in the sequence is one, but this problem provides an easy way to understand how a genetic algorithm works.

The first step involves defining the fitness function. In this case, it is simply a formula 1

$$\text{fitness} = \sum_{i=0}^{N-1} \text{individ}[i] \quad (1)$$

for the sum of all elements of a numerical sequence. The larger this sum, the more fit the individual is, i.e., the closer to the solution. Next, we create an initial population of these sequences of a certain length, randomly generated. In this example, the population consists of 50 individuals with a long numerical sequence of 80 elements. In this example, an individual (solution) is a single numerical sequence, a gene is a single element of this sequence (0 or 1), and a chromosome is the set of all genes of a given individual.

The next step is selection. For our problem, we will implement tournament selection. The principle of tournament selection is as follows: first, several individuals (in our case, 4) are randomly selected from the entire population, and then the best one – the fittest – is selected. This process is repeated until the number of potential “parents” matches the size of the original population.

After selection, the crossover process is performed. Pairs of parents are chosen, and fragments of their chromosomes are exchanged to create new offspring (Figure 1). This recombination allows advantageous traits from different parents to combine, increasing the likelihood of improved solutions in the next generation.

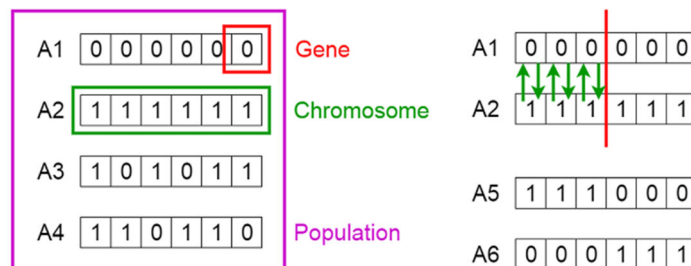


Figure 1 – The crossing principle in the OneMax problem

The final step is mutation. In this study, mutation replaces one gene in an individual's chromosome with a low probability (1%), meaning that a value of 1 may change to 0 or vice versa (Figure 2). This preserves population diversity, which will speed up the solution process.

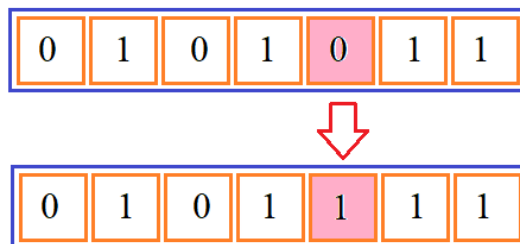


Figure 2 – The mutation principle

The results of the program are shown in Figure 3.

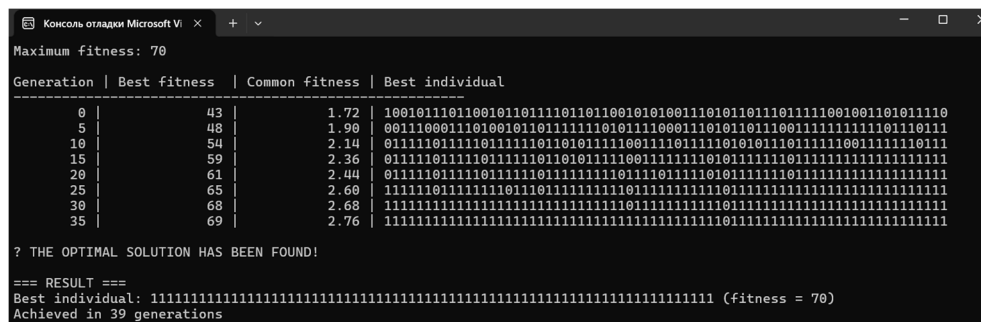


Figure 3 – The program results

All of the above principles were implemented in this program. As we can see, the correct result (the fittest individual) was achieved in 39 generations.

Genetic algorithms are typically used to solve problems that are impossible or very difficult to solve mathematically using formulas and relationships. For example, a genetic algorithm can be used to optimize mathematical functions, create and optimise database structures, create schedules, and even train neural networks.

A well-known real-world example is the use of genetic algorithms in game development. In the 1990s, developers used them to teach virtual creatures how to walk. Each creature had a set of movement parameters encoded as genes, and over many generations the algorithm found combinations that produced efficient and realistic motion. This showed that genetic algorithms can solve problems where the solution is hard to describe in advance but easy to evaluate once found.

Conclusion. This study demonstrates that genetic algorithms represent a powerful optimisation and search tool based on the principles of biological evolution. The analysis and software implementation of the OneMax problem clearly demonstrate how selection, crossover and mutation mechanisms enable consistent improvement of a population of solutions, finding the optimal result even in a vast search space. Thus, evolution, as a fundamental mechanism of biological development, is successfully transferred to the digital environment, opening up broad prospects for solving complex engineering and scientific problems where classical mathematical methods are ineffective.

It is also worth noting that genetic algorithms are not limited to a single implementation strategy. Depending on the nature of the problem, researchers may adapt various parameters such as population size, selection pressure, crossover rate, and mutation probability to achieve better convergence. For instance, in multi-objective optimisation tasks, variants such as NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) have been developed to simultaneously optimise several competing objectives. These advanced implementations extend the classical genetic algorithm framework and allow it to be applied in fields such as robotics, bioinformatics, logistics, and financial modelling.

One of the key advantages of genetic algorithms over traditional methods is their ability to work without knowing the exact mathematical structure of the problem. A classic optimisation method usually requires derivatives or a clear formula, while a genetic algorithm only needs a way to evaluate how good a solution is. This makes genetic algorithms especially useful in real-world tasks where the problem is too complex or irregular to be described by simple equations. For this reason, they remain a popular and practical tool in modern computer science and engineering. Their continued development and wide adoption across many fields confirm that evolutionary computation is not just a theoretical concept, but a reliable and effective approach to solving the challenges of today.

References

1. Genetic algorithm / Wikipedia., 25.05.2025. – Mode of access : https://en.wikipedia.org/wiki/Genetic_algorithm / Date of access : 25.02.2026.
2. История возникновения генетических алгоритмов [Electronic resource] 26.03.2026. – Mode of access: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-vozniknoveniya-geneticheskikh-algoritmov> – Date of access : 25.02.2026.

THE INFLUENCE OF COLOR SOLUTIONS ON USER BEHAVIOR AND CHOICE IN THE DIGITAL ENVIRONMENT

Bobr K.D., Yanuts A.P.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yushkevich E.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article analyzes the influence of color parameters of interfaces on behavioral strategies, emotional background, and users' decision-making mechanisms. The relevance of the study is due to competition for attention and the need for scientifically grounded design. Psychophysiological foundations of perception, visual hierarchy, and contextual variables (culture, accessibility, industry standards) are considered. Myths about universal «conversion» colors are debunked. The importance of a situational approach and empirical testing of hypotheses through A/B testing is justified. Practical recommendations are proposed for optimizing user experience and the effectiveness of digital products.

Keywords: UX/UI design, color perception, user behavior, conversion, digital environment, color psychology, neuromarketing, accessibility of interfaces, A/B testing.

Introduction. The color scheme in design goes beyond the purely visual component, representing a tool for influencing the human psyche and behavior. In a digital space where the user's attention is scattered and overloaded with information noise, a well-designed color palette can become a determining factor in product interaction. It influences the decision-making process, builds the level of trust in the brand and directs the focus of attention.

Color accents not only evoke specific emotional reactions, but also stimulate targeted actions. The key feature of color is the speed of its perception: it is processed by the brain instantly and subconsciously, even before the user begins to comprehend the content. In addition, it is necessary to take into account the technical variability of color reproduction: different display matrices, calibration settings, and color gamut (sRGB, P3) can significantly distort the perception of hue on users' devices.

This requires the designer to set additional design tolerances so that key meanings are not lost when playing on budget or non-standard screens. Despite the recognized importance of the color factor, there is a significant dissonance between established stereotypes and objective scientific data in the professional environment of designers and marketers.

There is a widespread belief in the existence of universal «conversion» shades (for example, warm colors), which supposedly guarantee an increase in performance, while other colors (in particular, blue tones) are considered less effective or reduce activity.

Nevertheless, the results of empirical studies are often contradictory, which indicates the multifactorial nature of the influence of color, depending on the totality of contextual variables, rather than on the properties of the shade itself [3].

Main part. The psychology of color explores the patterns of the effect of color stimuli on emotional state, behavioral reactions and decision-making processes. In the field of user interface design, this area is becoming particularly relevant, since the visual shell of the product acts as the primary channel of communication with the audience.

The perception of the color scheme is variable and depends on many modulating factors: the cultural context, the demographic characteristics of users, and the specifics of the task [5]. For example, the blue color may be associated with reliability in the financial sector, but it may be perceived as excessively cold or detached in the tourism niche, which is determined by the overall tonal decision and goal setting of the resource.

Special attention should be paid to the functional semantics of color, which often prevails over the emotional ones in utilitarian interfaces. Well-established patterns, such as red to indicate errors, green to confirm success, or yellow for warnings, form stable reflexes in users. Violating these conventions for the sake of aesthetics leads to disorientation and increases the risk of making mistakes [1].

The color scheme plays a key role in shaping the initial impression. If the palette is randomly selected – the background, buttons, and icons do not harmonize with each other – the interface can be annoying, confusing, or seem incomplete. The user has to spend more time figuring out where he is and what to do next. This means that there is a growing risk that he will simply close the page and leave [3].

Color psychology is a key tool in interface design, shaping user perception and behavior. By understanding how hues influence emotions and decisions, designers can strategically guide attention, reinforce brand identity, and improve conversions [2]. While individual responses vary, research highlights consistent patterns tied to biology, culture, and context. Here's how primary colors function in digital design:

Red is the color of energy and urgency. It attracts attention and encourages action, which is why it is often used for CTA buttons and promotional offers.

Blue is associated with reliability, calmness and professionalism. The standard choice for corporate websites, banks, and legal services.

Green – symbolizes nature, health and safety. It soothes, reduces anxiety, and is often used in eco-related activities and to confirm actions.

Yellow is the color of optimism and activity. It stimulates attention and mental work, but requires dosed use so as not to cause visual stress.

Orange – combines the energy of red and the positivity of yellow. The orange color is used to create a sense of friendliness and enthusiasm. It is also effective in e-commerce for highlighting important elements.

Purple is associated with creativity, luxury and spirituality. Suitable for brands in the fields of fashion, art and premium services.

Black and white are the base colors for contrast and structure. Black adds elegance and weight, white adds «air», purity and helps to focus on the content.

Nuance: It should be borne in mind that the psychological impact depends not only on the hue, but also on its saturation and brightness. Pastel blue is perceived as soft and friendly, whereas deep navy blue may seem strict and authoritarian.

Neon evokes associations with technology and drive, but it quickly tires.

Therefore, when choosing a color, it is necessary to test different saturation options within the same scale in order to find a balance between emotional message and visual comfort [4].

It is important to remember that the meaning of a color always depends on the context, combinations, and target audience – there are no universal rules.

The first step in building a color scheme is to choose a shade. The most important aspect is the proportional ratio of the color spots, which determines the visual hierarchy of the interface. The «60-30-10» rule is common in the professional environment, adapted to digital products:

1 60% is the primary color. As a rule, a neutral background provides «air» and readability of the content.

2 30% is a secondary color. The brand range used for navigation, headings, and illustrative elements that form recognition.

3 10% is an accent color. The most contrasting shade, reserved exclusively for key interaction elements (CTA buttons, notifications, active states). Violation of this proportion, for example, excessive use of accent color, leads to the effect of «visual noise», reducing the user's ability to prioritize tasks and increasing cognitive load.

The consistency of the color scheme across platforms is also critically important.

The user expects a single visual language when switching from the desktop version to the mobile application. Discrepancies in the shades of buttons or backgrounds between platforms undermine the sense of product integrity and can be perceived as a technical error or negligence.

Modern design standards require accessibility to be considered as an integral part of the color scheme. Statistics show that a significant proportion of users have various forms of color blindness, so relying solely on color as a way to convey information is unacceptable. Key requirements include:

1 Sufficient contrast. The brightness ratio of text and background must comply with WCAG (Web Content Accessibility Guidelines) standards to ensure readability for people with low vision.

2 Signal duplication. Errors in forms, system statuses, or interactive elements should not be indicated only by changing colors. It must be duplicated with icons, text captions, or a change in the shape of the element.

Returning to the question of the effect of color on conversion, it should be emphasized that there is no shade that guarantees success without prior verification. The effectiveness of a particular color scheme depends on a unique set of variables: audience expectations, previous experience with the product, and the overall context of the page.

The statement about the superiority of one color over another (for example, «a red button is better than a green button») is a simplification. Color does not work in isolation, but in a system of surrounding elements.

The only objective way to evaluate the effectiveness of the palette is A/B testing, which allows you to validate hypotheses on real user behavior data [5]. What works for one segment of the audience or niche may not be effective for another, which confirms the thesis of multifactorial perception of color.

When conducting tests, it is important to isolate variables: change only the shade of an element, leaving its size, copywriting, location and environment unchanged. Only this approach allows us to obtain pure data on the effect of color, excluding side factors that could distort the overall conversion statistics [2].

Conclusion. To summarize, it should be stated that the color scheme in digital design is a complex multilevel system where aesthetics are inextricably linked with functionality and psychology of perception. Color is no longer just a decorative element of the product's «packaging», becoming a full-fledged user experience engineering tool. It is able to instantly translate brand values, modulate the user's emotional state and direct their attention to key growth points, but its impact is not linear or universal.

A competent color strategy is based on a careful balance between subjective psychological associations, objective technical accessibility requirements and dry analytical data.

The designer acts as a researcher who must take into account not only visual style trends, but also the physiological characteristics of audience perception, ensuring an inclusive environment for all user groups. Ignoring the principles of contrast or reliance on stereotypical «conversion» colors without prior validation can negate efforts to develop a functional interface.

In an ever-evolving digital landscape, where new types of devices, display modes (for example, a dark theme) and interaction formats are emerging, the role of color will only increase.

However, the true effectiveness of the palette is not revealed in isolation, but in a harmonious combination with usability, content quality and information architecture.

A successful design is one where color works unnoticeably for the user, but precisely achieves business goals, creating an environment that is both convenient, trusting and encouraging to action. Therefore, the key task of a specialist remains not to find the «perfect shade», but to build an integrated system adapted to the specific tasks of the product and human needs [4].

References

1. *The Impact of Graphic Interface Design on User Perception and Behavior* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://apni.ru/article/14279-vliyanie-graficheskogo-dizajna-interfejsov-na-voispriyatie-i-povedenie-polzovatelya>. – Date of access: 23.01.2026.
2. *How Color in Marketing Influences Consumer Behavior* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://companies.rbc.ru/news/gVWftXB5ra/kak-tsvet-v-marketinge-upravlyaet-povedeniem-potrebitelya/>. – Date of access: 01.02.2026
3. *How color schemes affect user perception and the effectiveness of web design* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://kazantsev.kg/portfolio-i-rabota/kak-cvetovye-resheniya-vlijajut-na-polzovatel'skoe-voispriyatie-i-jeffektivnost-veb-dizajna/>. – Date of access: 09.01.2026
4. *Color psychology in UX/UI design. Influence on perception and user experience* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://bestwebber.ru/psihologiya-cveta-v-ux-ui-dizajne-vliyanie-na-voispriyatie-i-polzovatel'skij-opyt/>. – Date of access: 17.01.2026.
5. *The Psychology of Color in Web Design: How to Control Users' Attention* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://sky.pro/wiki/lifestyle/cvet-v-veb-dizajne-znachenie-i-vliyanie-na-polzovatelya/>. – Date of access: 03.01.2026.

PLANETARY ENGINEERING: THE HUMANITY'S POTENTIAL TO LIVE ON OTHER PLANETS

Bogdanovich K.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovich I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article examines how rapid advances in space exploration and technological development may influence the future of humanity. It explores missions aimed at space colonization and considers the potential expansion of human activity within the Solar system and beyond. Particular attention is given to the roles of leading space agencies and private aerospace companies, such as NASA and SpaceX, which are currently developing large-scale initiatives in this field.

Keywords. Space engineering, terraforming, Lagrange points, celestial body, ecopoiesis, ISRU

Introduction. For many centuries humanity has been looking at the stars with curiosity, but today this interest has evolved into a pragmatic necessity. The main reasons for space expansion are limits of the Earth itself: global climate change, lack of natural resources and uncontrollable population growth. We are approaching the point, where a single planet might just not be enough for species survival [1]. With that being said, the attention focus drifts from simple space exploration to planetary engineering. If we were only spectators in the past, now we discuss the possibility to directly change environmental conditions on other celestial bodies to make them suitable for living. The goal of this article is to analyse the technological competence, required basis and ethical dilemmas of turning humanity into a multiplanetary species.

Main part. The concept of planetary engineering requires careful examination. Planetary engineering is a complex of theoretical concepts and methods, aimed for intentional full-scale changes of physical, chemical and biological traits and parameters of planets, satellites and other celestial bodies. The main tool of this concept is terraforming – intentional change of atmosphere, temperature and ecology of a planet to fit Earth's standards. For example, for Mars it implies the creation of greenhouse effect for surface heating. However creating atmosphere is just half of the work. It is required to provide special magnetic protection. Without strong magnetic field the solar wind will simply eradicate any created atmosphere, created by humanity. Scientists offer ambitious projects about creating artificial magnetic shields in Lagrange points [2]. The concept of terraforming is demonstrated on Figure 1.



Figure 1 – The concept of terraforming Mars

Such stage is already tedious, as it requires a lot of funds, time, energy and resources to change at least a fraction of an atmosphere. This especially scales with the surface area of a planet: the bigger the planet, the more atmosphere area needs to be changed. But once it is done, a new stage is about to be executed afterwards. Such stage is ecopoiesis – a process of inhabiting planets with the most

primitive living organisms. Cyanobacteria and lichens should be the first colonisers, who will begin to recycle carbon dioxide into oxygen, preparing soil for more complex life forms.

As mentioned above, carrying all the necessary resources and technological basis is not possible: it's too expensive and inefficient. So the key concept becomes In-Situ Resource Utilisation (ISRU) – usage of local resources, instead of dragging them from our home planet. The humanity should learn how to extract water from Mars's polar waters or Moon and print living modules on 3D-printers, using local regolith – space dust and stones. In order to maintain such activity a colossal infrastructure is necessary: orbital factories, automatised, mines on asteroids for gathering rare metals and, possibly, space elevators, radically reducing the cost of delivering cargo into orbit.

Space exploration is already an interesting topic to discuss and to imagine how everything would turn out in the future. But planetary engineering puts the toughest ethical and moral questions before humanity. Do humans have the right to adjust worlds for our interests? Is humanity ready for such radical change of living space and creating new ones? It begets the conflict of planetary defense: if at least one life collapses on Mars, our intervention might just bring to its total destruction [2]. Supervision is as important question as the previous. Who will become the owner of new territories? Private corporations, such as BlackRock? State coalitions, such as Russia and China? Space monopolies, such as SpaceX? The risk of forming new forms of colonialism or revival of neo-colonialism and neo-nationalist and neo-capitalist ideas, the risk of the emergence of new geopolitical conflicts just for space resources is a threat that needs to be resolved even before the first landing. Moreover, ethical dilemma also can't be ignored: is it worth spending trillions of dollars into Mars colonisation, if we can't handle the problems on our home planet Earth?

Despite such questions that are yet to be answered in the near or far future, we stand on an active preparation stage today. Artemis program from NASA makes the return into Moon and creation of a permanent Moon base, where it will become a training field, a primary goal before jumping straight to Mars [3]. Private initiatives, such as Elon Musk's Starship project, are directed to a reduction in launch cost through increased flight frequency. In long-term perspective a vision of interplanetary civilisation means that a death of a planet won't be an extinction of the entire humanity. It's like building an emergency exit for our culture and knowledge.

Conclusion. Planetary engineering is a project designed for centuries, if not millennia. It appears technologically feasible in the foreseeable future, but ethical and legal difficulties of the process remain as brakes for such opportunity to happen. The main challenges will be not only radiation and absence of oxygen, but also ability to make deals about rules and restrictions in the new world full of technology and exploration.

Dominant space companies, such as SpaceX, Blue Origin, Rocket Lab, United Launch Alliance (ULA) and Arianespace, also tend to fund special mission for space exploration, and the competitions between such companies keep the operations going, analysing further details of space expansion and planet inhabitation. At present, Mars is considered the most viable candidate for large-scale planetary engineering, since other planets like Mercury, Venus and gas giants are either too hot, or do not contain any solid surface, and their satellites are too far away, making transportation costs off the scale.

Humanity has long questioned whether travel beyond Earth is possible. Today, we possess the technological resources to pursue such ambitions; however, significant ethical and moral questions remain unanswered. Nevertheless, leaving the orbit of our home planet Earth is, perhaps, the only way to maintain long-term survival of the mankind and its further development as an interplanetary species.

References

1. Christopher McKay, *The Physics, Biology and Ethics of Terraforming* [Electronic resource] / ResearchGate., 28.06.2024. – Mode of access: https://researchgate.net/publication/226164287_The_Ethics_of_Terraforming_Mars – Data of access : 02.03.2025.
2. NASA "Moon to Mars" strategy: Exploration and Settlement Infrastructure [Electronic resource] / NASA., 05.04.2023. – Mode of access : <https://www.nasa.gov/specials/moon-to-mars-strategy-architecture-definition-document/> / Date of access : 02.03.2025.
3. Robert Zubrin, *The Case for Mars: The Plan to Settle the Red Planet and Why We Must*. [Electronic resource] / Mars Society., 16.02.2021. – Mode of access : <https://www.marssociety.org/about/the-case-for-mars/> – Data of access : 02.03.2025.

AI IN CYBERSECURITY

Danilevich P.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Malikova I.G. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. Artificial Intelligence (AI) is rapidly revolutionizing the field of cybersecurity serving as both a powerful tool of protection against cybercrimes and new possibilities for criminals and scammers. This article is devoted to the impact of artificial intelligence on cybersecurity, examining both defensive innovations and emerging AI-powered threats.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), cybersecurity, cyber attacks, machine learning, vulnerabilities.

Introduction. At present, technologies are developing very quickly, and so are cyber threats. Cyber criminals now use sophisticated methods and modern technologies to attack systems, steal or damage data, making traditional security measures less effective. Artificial intelligence offers new solutions to this problem by enhancing the ability to detect and respond to cyber threats. However, the same AI technologies can also be exploited by criminals.

Main part. Before AI, creating a convincing phishing email required good writing skills, cultural knowledge and manual effort. Now, anyone can use AI tools to write perfect fake messages in any language. This has led to a massive increase in attacks. The scale of this transformation is overwhelming. Phishing attacks have increased exponentially following the widespread availability of generative AI tools, with a significant majority of phishing emails now incorporating AI in some form. Figure 1 provides a comparative overview of the key differences between traditional human-only phishing and modern AI-assisted phishing campaigns [1].

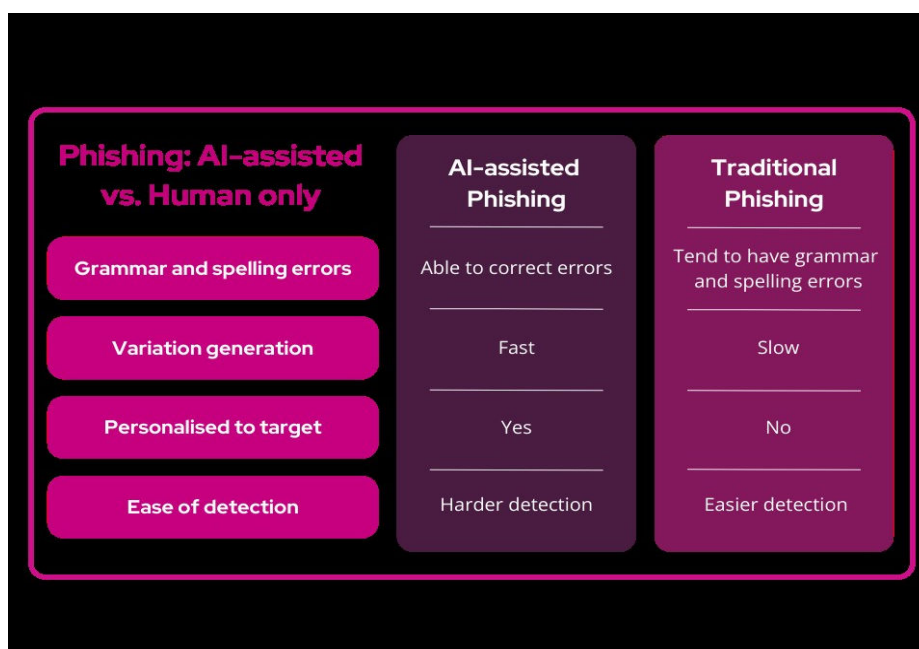


Figure 1 – Comparative Analysis of Traditional vs. AI-Assisted Phishing Attacks

Deepfake technology has introduced entirely new threat vectors that fundamentally challenge traditional authentication methods. Cybercriminals now use Artificial intelligence to create convincing voice replicas and deepfake videos of company leaders. By impersonating executives, they manipulate unsuspecting employees into approving unauthorized wire transfers, disclosing confidential information, or bypassing standard security protocols, resulting in significant financial losses. The FBI's Internet Crime Complaint Center reported a 37% rise in AI-assisted business email compromise schemes during 2025, with hundreds of documented deepfake-based scams [2].

Attackers are increasingly using AI to discover vulnerabilities in target systems. Machine learning models can scan codebases, analyze network configurations, and identify weaknesses at scales impossible for human researchers. These AI-powered tools can autonomously probe for zero-day exploits and prioritize the most prospective attack vectors.

The rapid adoption of generative AI tools in enterprise environments has created new data leak risks. Employees pursuing productivity gains often adopt AI tools without organizational approval or oversight. This phenomenon is called “shadow AI”. When employees input private data, source code, or sensitive documents into public AI models, that information may be exposed to unauthorized persons. The consequences of shadow AI extend beyond immediate data leak. Once confidential information enters public AI models, organizations lose control over that data permanently. It may appear in responses to other users, be incorporated into model updates, or be extracted through adversarial prompting techniques [3].

However, Artificial intelligence is used not only for fraudulent or other illegal purposes. AI helps security teams detect attacks faster. Unlike old systems that could only find known threats, AI can recognize unusual activity even if it’s never been seen before. It learns over time and gets better at telling the difference between real threats and false alarms.

AI is good at analyzing emails to spot phishing attempts. Modern AI systems analyze message tone, content, structure, and metadata to identify sophisticated phishing that bypasses conventional filters.

Sometimes the danger comes from inside the company either from people whose accounts have been hacked. AI learns what “normal” behavior looks like for each user. If someone suddenly starts accessing files at 3 a.m. or logging in from a strange location, AI flags it for investigation.

Companies that use AI for security save money. On average, they save about \$1.9 million compared to companies that don’t use AI. One study found that AI detects 98% of threats and reduces response time by 70%. Another study showed AI achieving 99.95% accuracy in detecting intrusions. By minimizing manual effort, AI has helped speed up numerous processes in data security. It enables security teams to quickly identify and classify sensitive information across the entire environment, whether it resides on the company’s local infrastructure or in a cloud application. AI can also instantly detect attempts to move data outside the organization, either blocking the action in real time or flagging it for the security team [4].

Conclusion. The integration of Artificial intelligence into cybersecurity represents one of the most significant transformations in the history of information technology. AI is a double-edged sword in cybersecurity. AI-powered defenses offer improvements in detection accuracy and response speed. Machine learning and deep learning systems can identify novel threats and analyze code for vulnerabilities.

Simultaneously, AI is changing the threat landscape. The same AI tools that help protect companies are also helping attackers. Cybercriminals are now using AI to automate their attacks, make them more convincing, and scale them up in ways that were never possible before. This is the dual-use problem of AI-the fact that the same technology can be used for both good and bad purposes.

This dual-use nature of AI creates an arms race between defenders and criminals. Artificial intelligence is not just another tool in the arsenal, but a powerful force that is fundamentally changing the field of cybersecurity. The main challenge for the near future is to learn how to use it as effectively as possible for defense, while preventing it from turning into a dangerous weapon.

References

1. Sekuro.io. *Emerging Threat: AI vs. Human Deceit* [Electronic resource]. Mode of access: <https://sekuro.io/blog/emerging-threat-ai-vs-human-deceit/>. Date of access: 01.03.2026.
2. DeepStrike. *AI Cyber Attack Statistics 2025, Trends, Costs, Defense* [Electronic resource]. Mode of access: <https://deepstrike.io/blog/ai-cyber-attack-statistics-2025/>. Date of access: 20.02.2026.
3. Netskope. *Cloud and Threat Report: 2026* [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.netskope.com/resources/cloud-and-threat-reports/cloud-and-threat-report-2026>. Date of access: 03.03.2026.
4. Microsoft. *What is AI for cybersecurity?* [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.microsoft.com/en-us/security/business/security-101/what-is-ai-for-cybersecurity#History>. Date of access: 20.02.2026.
5. *AI and the Future of Cybersecurity* [Electronic resource]. Mode of access: <https://extension.harvard.edu/blog/ai-and-the-future-of-cybersecurity/#How-AI-Enables-the-Next-Generation-of-Cyber-Attacks->. Date of access: 21.02.2026.

FUNCTIONING OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TERMS IN MODERN ENGLISH

Dziazhynskaya P.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Perevyshko A.I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The main subject of this article is the analysis of AI terminology. The author describes the main ways of term formation. They include abbreviation, eponymy, and metaphorisation. Special attention is paid to the semantic process of determinologisation. The article also analyses the pragmatic functions of AI terms in scientific and media discourse. The author shows that the development of AI terminology influences the vocabulary of modern English. The article presents a classification of AI terms according to their structural models. The historical development of this terminology is linked to prominent scientists in the field.

Keywords: AI terminology, term formation, abbreviation, eponymy, metaphor, determinologisation, discourse analysis.

Introduction. The origins of the term 'artificial intelligence' date back to 1956, when John McCarthy coined it during the Dartmouth Summer Research Project [2]. In his formulation, AI represents the discipline devoted to creating intelligent machines, particularly computer programs capable of intelligent behaviour. Yet the conceptual foundations of AI terminology reach far earlier, drawing on the ideas of philosophers and mathematicians spanning the 13th to 20th centuries. This article aims to reconstruct the evolution of core AI terms and to examine their structural and semantic characteristics as they are used in contemporary English.

Main part. The lexical landscape of AI has been shaped incrementally over centuries, with each era contributing distinctive concepts. In the 13th century, Ramon Llull devised a mechanical method for generating knowledge via logical operations – a precursor to later computational thinking. Gottfried Leibniz, in the 17th century, expanded on these ideas by envisioning a universal symbolic language for reasoning. The word 'robot' entered the lexicon much later, through Karel Capek's 1920 play, drawing on the Czech term for forced labour. These early innovations laid the groundwork for the terminology that would later flourish in the age of digital computing.

Alan Turing fundamentally shaped the conceptual foundation of AI through his 1950 article, which proposed an operational benchmark for machine intelligence – the Turing Test. The operational definition proposed by Turing – a machine's capacity to mimic human conversation – laid the groundwork for decades of research and gave the field one of its most enduring terms [1]. The development of LISP by John McCarthy in 1958 provided AI researchers with a powerful tool for symbolic manipulation, shaping the field's programming practices for a long period. That same year, two pioneering programs – Logic Theorist and General Problem Solver – appeared, showing that machines could prove theorems by manipulating symbols according to the logical rules of Principia Mathematica [1, pp. 3–4]. Concurrently, Norbert Wiener introduced the term «cybernetics» (1948) to describe the common principles governing control and communication in both living organisms and machines – a concept whose terminology later merged with that of AI [1, p. 2].

The glossary material presented in the source allows for the identification of the following models of term formation (Table 1):

Table 1 – Classification of English-language AI terms by structure

Term Type	Formation Model	Examples
Abbreviated Terms	Initial abbreviation	AI, ANN, AGI, ASI, NLP, ML
Eponymous Terms	Named after a scientist/project	Turing test, Logic Theorist, LISP
Metaphorical Terms	Anthropomorphic transfer	Agent, android, behavior, hand, wrist
Compound Terms	N+N, Adj+N	Neural network, natural language processing

Among the structural patterns, abbreviation proves the most frequent. Lengthy expressions such as Artificial General Intelligence are routinely shortened to acronyms like AGI, reflecting the need

for economy in professional communication. Abbreviations fall into two main types: initialisms, spoken as separate letters (AI, NLP, CNN), and acronyms pronounced as words (LISP, GPT, BERT). Clipping – removing parts of words, as in *sync* or *algo* – occurs but is less common in formal writing. The predominance of abbreviation highlights the fast-paced, international nature of AI research, where concise terminology facilitates exchange [4].

A pervasive semantic mechanism is metaphorisation – the transfer of human-related vocabulary to machines. For instance, an agent is software acting autonomously on behalf of a user; an android is a robot built to mimic human form; behaviour refers to the actions of an artificial system; and anatomical terms like hand, arm, and wrist label parts of robotic manipulators. This anthropomorphic framing aids intuition but can also obscure differences between human and machine cognition, a point emphasised by recent critiques [3]. Other examples include memory in computers and learning in neural networks, further illustrating how human concepts shape technical terminology.

Determinologisation – the diffusion of specialised terms into everyday language – is evident in several AI-related words. Robot, originally a fictional concept, now refers to both industrial machines and domestic appliances. Cybernetics spawned a family of terms (cyberspace, cybersecurity, cyborg) that are now commonplace. More recently, the rise of generative AI has accelerated this trend: prompt has become familiar to non-specialists, deepfake denotes manipulated media, and to hallucinate now describes AI's tendency to produce false information confidently. Such examples illustrate how technical vocabulary constantly enriches general English.

A further dimension worth examining is the pragmatic role of AI terms. Historical forecasts by leading researchers illustrate how language can shape expectations and guide research agendas. In 1958, Herbert Simon predicted that within a decade computers would prove new mathematical theorems and become world chess champions. A few years later, Marvin Minsky expressed confidence that human-level AI would be achieved within a generation (1967) and subsequently narrowed this estimate to three to eight years (1970) [1]. Such statements not only reflected the optimism of the era but also helped direct funding and public interest.

In contemporary discourse, AI terminology serves several pragmatic functions:

- community identification – specialised jargon (backprop, fine-tuning) marks professional belonging;
- euphemism – the term hallucination downplays the seriousness of machine errors;
- manipulation – Annotation buzzwords like AGI, singularity, and disruption are often used to attract investment and media attention [4].

Conclusion. This analysis reveals that the lexicon of artificial intelligence is remarkably dynamic, shaped by three dominant mechanisms: abbreviation, eponymy, and metaphorisation. These patterns reflect both the need for efficiency in professional communication and the tendency to conceptualise machines in human terms. The historical development of AI terminology is inseparable from the achievements of scientists such as Turing, McCarthy, Minsky, and Wiener, and from landmark projects like Logic Theorist, General Problem Solver, and ELIZA. Moreover, determinologisation demonstrates how specialised terms steadily migrate into everyday English, mirroring the growing presence of AI in daily life.

References

1. Turing, A. *Computing Machinery and Intelligence* / A. Turing // *Mind*. – 1950. – Vol. 59, N 236. – P. 433–460 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://danielwharris.com/teaching/268/readings/Turing.pdf>. – Date of access: 02.03.2026.
2. Russell, S. *Artificial Intelligence: A Modern Approach* / S. Russell, P. Norvig. – 3rd ed. – London : Pearson, 2010. – 1132 p. – ISBN 978-0-13-604259-4 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://people.engr.tamu.edu/guni/csce625/slides/AI.pdf>. – Date of access: 03.03.2026.
3. Inie, N. *De-anthropomorphizing «AI»: From wishful mnemonics to accurate nomenclature* / N. Inie, P. Zukerman, E.M. Bender // *First Monday*. – 2026. – Vol. 31, N 2. – P. 1–24 [Electronic resource]. – Mode of access: URL: not specified. – Date of access: 07.03.2026.
4. Massion, F. *Terminology in the Age of AI: The Transformation of Terminology Theory and Practice* / F. Massion // *Journal of Translation Studies*. – 2024. – Vol. 4, N 1. – P. 67–94 [Electronic resource]. – Mode of access: URL: not specified. – Date of access: 14.03.2026.

THE PSYCHOLOGY OF COLOR ON WEBSITES: A COMPARATIVE ANALYSIS OF BELARUSIAN AND AMERICAN WEBSITES

Dikovitskaya A.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article is devoted to a comparative analysis of color psychology in the web design of Belarusian and American websites based on a study of statistics and website types. It examines the emotional and cultural associations of colors, their influence on the perception of the interface and user behavior. Age differences in the choice of color schemes in website design are identified. The global trend of design schools moving towards European minimalism is emphasized.

Keywords: Color psychology, web design, color preferences, Belarusian websites, American websites, generational differences, minimalism, emotional impact of color, user experience, cultural associations.

Introduction. Color psychology plays an important role in web design, having a key influence on users' emotional responses, behavior, and perception of the interface. Colors not only convey aesthetics, but also evoke subconscious associations in users, which depend on cultural context, age, and regional traditions. A comparative analysis of Belarusian and American websites reveals how cultural and age differences shape the choice of color systems for different types of websites. For this scientific article, a comparative analysis of 20 Belarusian and 20 American websites from various spheres of life was conducted, ranging from government news portals to food delivery services.

Main part. Colors in digital design affect cognitive load, information processing speed, and the user's emotional state. Warm colors such as red, orange, and yellow stimulate energy, increase heart rate, and encourage action, while cool colors such as blue and green promote relaxation and focus. However, cultural associations add complexity: in Western cultures, red symbolizes passion, urgency, and danger, while in Eastern countries, it symbolizes prosperity. These differences can influence global designs targeting multiple markets. In web design, colors are used to create “color paths” that guide the user.

Various studies highlight differences in preferences: Americans are more likely to choose blue because they associate it with purity and trust, while in Eastern European countries, blue is associated with wisdom and elegance. Generational aspects are also significant: the older generation in Belarus tends to prefer familiar, rich, and multicolored schemes with a busy interface and many accents. In color solutions, they prefer to use several bright and saturated colors, which makes websites difficult to read. Meanwhile, Generation Z already prefers Western minimalist options, where the color scheme consists mainly of three related colors with slight differences in contrast and saturation. This reduces cognitive load, as the brain does not need to process unnecessary color stimuli.

Modern American and European websites are actively implementing dark themes, where black serves as the background for content. In the Belarusian segment, black is more often used as an accent or background color in certain niches, such as clubs or IT studios, but is rarely found on mass news portals.

Belarusian design still follows old traditions, where color is used as a marker and interfaces strive for maximum color saturation. Tourism and government websites also attempt to integrate national colors (green, red, and white) and even imitate ornamental textures in UI elements, creating a unique cultural code but often overloading the interface.

New Belarusian websites often follow European traditions, where red is used for energy (food, technology), blue for reliability (finance, IT), green for eco-themes and the banking sphere, white for purity, and black for prestige and minimalism (Table 1). American websites similarly use red, for example, for the McDonald's brand, but with a greater emphasis on blue as a sign of trust, for example in corporate interfaces. Table 1 presents a comparison of color schemes in Belarusian and American websites in various categories.

Site category	Belarus	USA
Government news sites	White, green, red	Black and white
Banking websites	Green	Blue, red, white
Pharmacy websites	Green	Blue and green
Websites of IT companies	Neon, black, white	Black, white, blue
University websites	Blue and green	Red
Food delivery sites	Yellow	Yellow
Travel sites	Orange and blue	Light blue, sand color, green

Modern design schools are shifting towards minimalism, which originated in Europe, with an emphasis on monochrome palettes (black, white, gray) for versatility and readability. Belarusian design is ‘catching up’ with Western design, going through stages that the US went through 3-5 years ago (the transition from colorfulness and clutter to flat design and minimalism). Figure 1 shows the appearance of the Belarusbank website in 2026. The picture shows how websites are moving towards minimalism, but it is still far from American design.

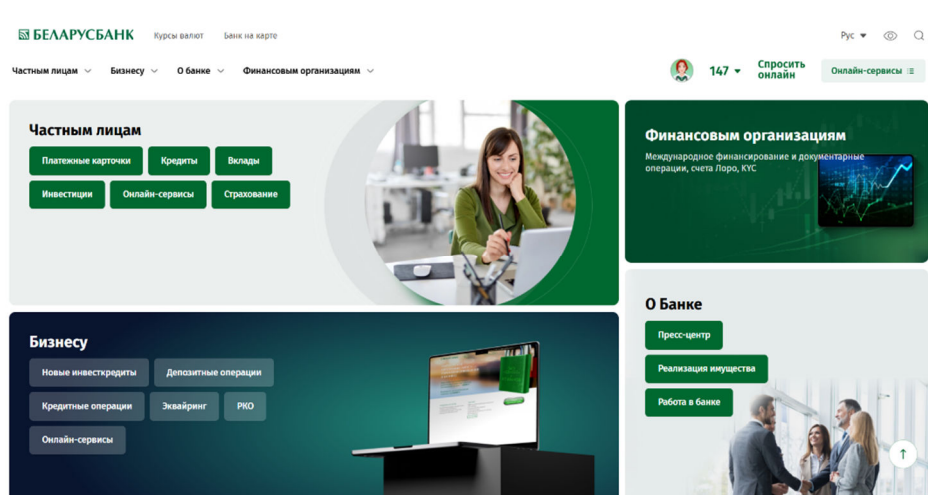


Figure 1 – Belarusbank website design in 2026

The analysis confirms that color psychology in websites evolves under the influence of generations and cultures. This shift is reinforced by global trends. With the growing influence of global platforms such as Instagram, YouTube, and Google, younger generations are beginning to respond to colors in the same way. Cultural differences are gradually being erased in favor of functional patterns.

Conclusion. The psychology of color in web design emphasizes the need for cultural adaptation. Designers are advised to consider generational and cultural factors to create effective interfaces. In a few years, most Belarusian websites will likely switch to more subdued palettes as they adapt to the demands of a young audience, which will become the target audience for many websites over time.

References

1. Психология цвета в цифровом дизайне: [Электронный ресурс]. – Mode of access: <https://www.uprock.ru/articles/psihologiya-cveta-v-cifrovom-dizayne>. – Date of access: 26.02.2026
2. Психология цвета : [Электронный ресурс]. – Mode of access: <https://www.uprock.ru/education/psihologiya-cveta> – Date of access: 26.02.2026
3. Теория цвета для дизайнеров часть 1. Значение цвета: [Электронный ресурс]. – Mode of access: <https://ux-journal.ru/teoriya-tsveta-dlya-dizajnerov-chast-1-znachenie-tsveta.html>. – Date of access: 26.02.2026
4. Психология цвета в дизайне: как правильно подобрать цвета: [Электронный ресурс]. – Mode of access: <https://bravants.com/ru/blog/psychology-color-design>. – Date of access: 26.02.2026
5. Color Psychology in Website Design: 6 Great Examples: [Электронный ресурс]. – Mode of access: <https://www.newtarget.com/web-insights-blog/color-psychology-in-website-design>. – Date of access: 26.02.2026.

HYDROGEN FUEL: A WHOLE CYCLE – MINING, APPLICATION AND POTENTIAL RISKS

Gerasimchik E.N., Proturo A.P.

Belarusian State University of Informatics and Radio-electronics, Minsk, the Republic of Belarus

Andreeva O.V. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The paper highlights the issue of promoting the use of gaseous fuel. The most well-known methods of extraction are listed. A special attention is given to the comparison with other sources of energy, such as fossil fuels and electricity. Finally, possible ideas of advancing hydrogen fuel are described.

Key words: hydrogen fuel, gas fuel, extraction

Introduction. Due to the development of modern technology humanity has faced the problem of finding ecologically safe fuel. It is clear, that oil's reserves will be exhausted in the near future at the current rate of its consumption. The use of gas (hydrogen) fuel may let avoid disasters. The efficiency of using hydrogen is almost the same as the oil's one, but at the same time it is absolutely harmless to the environment.

The aim of the article is to attract the consumers' attention and persuade them of actuality of using hydrogen fuel (HF). In that article the most well-known methods of extraction (EX) of hydrogen are demonstrated. Foremost pros and cons of the gas fuel (GF) are described. And similarly ideas of promoting the GF are suggested.

Main part. Hydrogen – the most spread element in the Universe, about 75% of all substances contain it. It makes its reserves inexhaustible for the humanity. Hydrogen is a colorless gas without any smell or taste. It is extremely volatile and energy-intensive. During the combustion it releases about 120 MJ – three times more, then during the combustion of petrol, and the only product of the reaction is water.

Table 1 –The most popular methods of mining a gas fuel

Method	Chemical reaction
Steam conversion of methane	$\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{H}_2 + \text{CO}_2 - 165 \text{ kJ}$
Electrolysis of water	$2\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_2 + \text{O}_2 - 571 \text{ kJ}$

This method of EX is the most spread due to its efficiency and minimum costs of production. During the reaction CH_4 heats up to 700–1 000 C in the presence of a catalyst and water vapor, forming hydrogen and carbon dioxide (CO_2). The main its disadvantage – carbon dioxide emissions, that increase the pollution of the atmosphere.

It is based on the decomposition of water into hydrogen and oxygen with a use of electrical current. Electrolysis lets gain high purity hydrogen, up to 99.99%, and it is not accompanied by emissions of CO_2 , if renewable energy sources are used. [1] Electrolysis is environmentally friendly: it doesn't produce harmful emissions. The only disadvantage is high costs, because it requires immerse a huge amount of energy. Despite that, technologies are developing rapidly, and this way is expected to be one of the most perspective directions.

Comparison with other types of fuel. To become widely spread, fuel should be:

- cheap,
- reliable,
- efficient
- and safe.

The idea of HF usage was very appealing to the science fiction writer Jules Verne, that he described in his novel "The Mysterious Island" (1875). Characters were discussing diverse energy sources, when the main hero Cyrus Harding made a guess: in future people will learn to gain energy from the water. It was stated: "Water is the coal of the future." Although water itself is not an energy

source, hydrogen can serve as an efficient energy carrier. Notably, one kilogram of hydrogen provides 2.7 times more energy than a kilogram of gasoline. [2]

The eventual end of the oil era is inevitable, as its reserves are finite. Furthermore, its combustion releases hydrocarbons, contributing to the greenhouse effect, and it offers lower overall efficiency compared to alternatives.

Another widely adopted fuel is electricity. As a renewable energy source, its demand is visibly increasing. Electric vehicles represent a monumental breakthrough in the automotive industry. However, the main challenge lies in developing batteries that are safe for disposal and recycling. From this perspective, hydrogen vehicles appear superior: they offer a greater driving range and require fewer raw materials for production. This raises the question: why hasn't hydrogen transportation gained similar popularity?

The reasons are numerous.

Firstly, there is the cost of production. Economically viable and safe technologies for producing affordable hydrogen are not yet widespread.

Secondly, storage poses a significant challenge. As a gas stored under immense pressure, it requires extremely robust and heavy cylinders, leading to high material costs.

Thirdly, hydrogen-air mixtures are highly flammable, with a wide range of concentrations that can lead to ignition or explosion, raising serious safety concerns. [3]

Finally, public awareness is low. Many people are simply unaware of hydrogen as a fuel option. Acquiring a hydrogen cylinder is far more complicated than charging a battery or filling a tank with gasoline.

After reviewing all the advantages and disadvantages, it's clear that HF is not currently a front-runner in the consumer automotive market. However, it plays a critical role in the space industry due to its unique properties. This lightweight and powerful gas is used as rocket fuel to launch spacecraft and satellites into Earth's orbit and beyond. [4]

Despite current limitations, it is only a matter of time before hydrogen transport becomes a priority. The following ideas could help popularize the use of this gaseous fuel.

1 State-Level Initiatives:

- introducing tax breaks and trade-in subsidies for replacing old vehicles with new hydrogen-powered models;
- organizing the use of hydrogen-powered vehicles in low-emission «green zones»;
- funding the construction of a network of hydrogen refueling stations along federal highways, placing them every 100–150 kilometers.

2 Consumer-Level Solutions:

Combining solar panel systems with home electrolyzers to produce hydrogen. This would enable individuals to use hydrogen not only for home heating but also for refueling their personal vehicles.

Conclusion. All in all, hydrogen technology is a promising field for future development. Although it currently lacks the widespread popularity of fossil fuels or electricity, its distinct advantages are undeniable. Despite the present low consumer market demand, GF has already secured a vital role as a specialized fuel for satellites and rockets.

References

1. "How Hydrogen is Produced Industrially: Methods, Technologies, and Raw Materials" [Online]. Available at: <https://www.provita.ru/articles/kak-poluchayut-vodorod-v-promyshlennosti-metody-tehnologii-i-syre/?ysclid=mlno6ih56h310616613>.
2. Rakov, E. G. "Will Hydrogen and Nanomaterials Replace Oil?" [Online]. Available at: <https://him.1sept.ru/article.php?ID=200600901>.
3. Kolomiets, P.V. Fuel. Tolyatti: TSU Publishing House, 2011. p. 24.
4. "Hydrogen in the Space Industry: Rocket Fuel and the Exploration of Outer Space" [Online]. Available at: <https://vodorod.hermes-gas.ru/blog/vodorod-v-kosmicheskoy-promyshlennosti?ysclid=mlwhdtc5a0626840636>.

SOFT SKILLS AS A COMPETITIVE ADVANTAGE FOR TECH SPECIALISTS IN THE ERA OF AI

Goncharko S.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Andreeva O.V. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper examines the role of soft skills in the modern workplace and their impact on the career advancement of technical specialists. It analyzes the influence of artificial intelligence on automation of various processes. Particular attention is paid to teamwork, flexibility, responsibility, and communication as key factors for career advancement and increased labor market demand. The balance between the development of leadership and communication skills and the pace of professional promotion is also discussed.

Keywords: soft skills, AI, automation, employability, labor market, career development, professional promotion.

Introduction. In recent years, due to the development of neural networks the demands of the labor market has been rapidly changing. Previously, deep technical knowledge, or hard skills, was exclusively the key factor of success in engineering and information technology (IT) careers. Nowadays, artificial intelligence (AI) is increasingly capable of handling complex computations and data analysis. As processes are automated, soft skills, skills defining interpersonal relationships, begin to play a much greater role.

The relevance of this topic is driven by the rapid integration of AI into all areas of human activity, which requires highly qualified specialists able to develop emotional intelligence, communication abilities, and critical thinking. This paper identifies key skills and examines their important role in career growth. The results of this study will help to determine the directions for professional development in the context of digital transformation.

Main part. The development of AI has a significant impact on the structure of professional activity in technical and engineering fields. The introduction of AI does not lead to the complete replacement of specialists, but rather to a change in the functions that they perform [1]. Routine tasks can be defined as repetitive, algorithmically controlled actions requiring minimal creativity and little or no interpersonal cooperation. Operations such as code testing, process analysis, finding errors in code, and data analysis are easily automated using algorithms. This explains why demand for hard skills is declining, while the value of skills that focus on interaction with other people continues to rise. Consequently, skills that do not require creative and social collaboration among specialists no longer hold the same level of significance as they once did.

As neural networks can process vast amounts of information faster than humans, identify patterns, and offer optimal solutions with high speed and accuracy, companies can avoid hiring a large number of employees to perform these tasks. Instead, specialists capable of performing tasks related to interpersonal communication, activity coordination, and strategic decision-making are valued much more highly [1].

Owing to the transformation of professional roles, skills that cannot be fully algorithmized are gaining much greater importance. These skills include:

- time management;
- ability to work in a team;
- flexibility;
- critical thinking;
- leadership;
- responsibility.

It should be emphasized that in the modern labor market, specialists who possess mental flexibility and develop social skills are in increased demand [2]. It is more beneficial for an employer to view an employee not only as a performer of technical tasks, but also as a participant in an entire collective dedicated to developing innovative technologies.

Teamwork is becoming an integral part of the information technology and engineering spheres. Successful execution of complex projects necessitates close collaboration among developers, analysts, designers, marketers, managers and clients. Taking in to account the fact given above, the importance of soft skills is particularly amplified, as communication barriers will lead to errors and financial losses [2]. It is also essential to note that the use of AI helps to facilitate the work of team significantly.

Flexibility acquires special value. Technological tools and platforms updated at a high rate, specialists to be ready for non-stop learning are required. Professions most susceptible to the influence of AI need regular updating of skills and mastering new digital tools [1]. The ability to adapt quickly to changes becomes an important factor for professional activity.

According to data published by HR Dive in 2024, employees possessing a high level of communication and leadership skills receive promotions faster than specialists focused exclusively on technical skills [3]. Advancement to leadership positions involves making decisions under conditions of uncertainty, managing a team, and being responsible for the work results of all team members. Figure 1 demonstrates a generalized diagram of the impact of automation on the structure of professional skills.

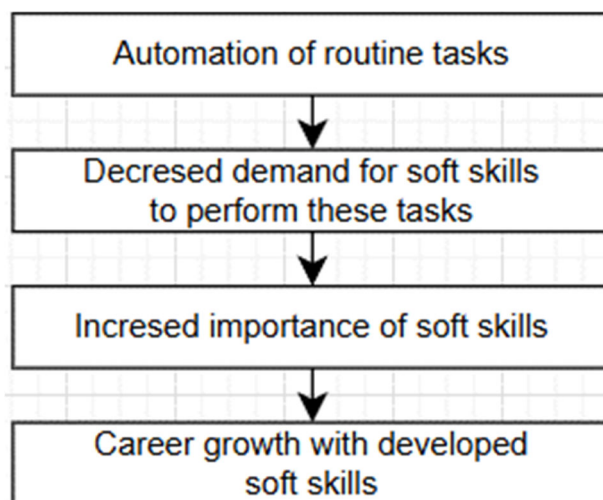


Figure 1 – Transformation of competency requirements in the context of AI implementation

According to this diagram, the importance of management and soft skills increases as the importance of people's ability to perform repetitive tasks declines. Developed soft skills become a main factor in career growth in an automated environment.

Conclusion. Research shows that developing soft skills is critically important for tech specialists. The combination of technical expertise and strong interpersonal abilities creates a competitive advantage for tech specialists that cannot be replaced. As AI continues to evolve, professionals who invest in these human qualities will remain valuable and resilient in the changing labor market. By embracing soft skills development, professionals can secure their place in the era of AI and open new opportunities for professional growth.

Sustainable professional success depends on the balanced development of both hard and soft skills. Automation may transform the nature of work, but human interaction and responsible decision-making remain fundamental while making a brilliant career.

References

1. OECD Employment Outlook 2023: Artificial Intelligence and the Labour Market / OECD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.oecd.org/employment-outlook/2023/>. – Дата доступа: 27.02.2026.
2. Polakova M. Soft skills and their importance in the labour market / M. Polakova et al. – 2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37593611/>. – Дата доступа: 27.02.2026.
3. Soft skills lead to faster promotions / HR Dive [Электронный ресурс]. – 2024. – Режим доступа: <https://www.hrdiver.com/news/soft-skills-lead-to-faster-promotions-linkedin/709292/>. – Дата доступа: 28.02.2026.

THE IMPACT OF AI ON THE ENVIRONMENT

Guranchik F.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Malikova I. G. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. Artificial Intelligence (AI) transforms environmental sustainability, serving as both a catalyst for resource optimization and a major driver of ecological strain through intensive energy and material demands. This work examines AI's environmental footprint, analyzing emissions from data centers and hardware alongside water consumption. The study highlights critical challenges and pathways toward sustainable AI deployment.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), environment, carbon footprint, water usage.

Introduction. Artificial intelligence (AI) currently has significant negative impacts on the environment through rising energy demand, greenhouse gas emissions, water consumption, material use, and e-waste. Studies emphasize that understanding these impacts across the full life cycle of AI systems is essential in order to limit ecological damage and align AI with climate and resource-protection goals. As AI becomes more deeply embedded in economic and social systems, concerns are growing about its potential environmental consequences, especially in the context of already escalating sustainability challenges and transgressed planetary boundaries.

Main part. Modern AI workloads are concentrated in large warehouse-scale data centers that have become extremely energy-efficient at the level of individual facilities, but this total electricity demand is nonetheless growing rapidly. One study notes that global data center electricity use increased by about 6% between 2010 and 2018 even though the number of compute instances grew by 550%, and the International Energy Agency (IEA) projects data center electricity demand to rise from 460 TWh in 2022 to more than 1,000 TWh by 2026. Between 2017 and 2021, the electricity consumption of Google, Meta and Microsoft more than doubled or tripled, with AI identified as the most important driver of this growth [1]. The life-cycle assessment of a 3.6 MW AI data center points out that such facilities are essential for training and running models like ChatGPT, but their operation leads to significant energy consumption and associated CO₂ emissions. The Greenpeace report adds that newly built, AI-oriented “hyperscale” data centers can have connection capacities of several hundred megawatts and occupy areas of up to four square kilometers. Estimates cited there suggest that, excluding cryptocurrencies, the share of AI-specific hardware in data center electricity use could increase from 14% in 2023 to 47% by 2030 [2]. For example, one referenced analysis reports that training the GPT-3 language model resulted in around 552 tons of CO₂-equivalent emissions on a relatively carbon-intensive grid [3].

Several sources stress that focusing only on operational energy consumption overlooks a major part of AI's environmental impact, namely embodied emissions from hardware manufacturing and data center construction. One study characterizes AI's total carbon footprint as the sum of emissions from manufacturing infrastructures and hardware (embodied carbon) and emissions from training and using models (operational carbon). For a multilingual language model examined there, the ratio of operational to embodied carbon is roughly 2:1, and embodied emissions add about 50% on top of the operational emissions over the model's life cycle [4]. The Meta sustainability data cited in the same paper show that, between 2019 and 2022, the share of data center construction and hardware manufacturing in Meta's Scope 3 greenhouse gas emissions rose from 41% to over 60%, and similar patterns are observed for other large cloud providers. The life-cycle assessment of an AI data center architecture finds that, over a 20-year period, about 70% of total CO₂ emissions are associated with manufacturing (including IT hardware, cooling, power and building infrastructure), while around 29% come from the use phase. This study also shows that electricity mix has a strong influence on operational emissions: operating the same AI data center in France rather than Germany can reduce total CO₂ emissions by a factor of about 3.7, mainly because of France's lower-carbon electricity system.

While most environmental studies have focused on energy and CO₂, the systematic review identifies significant but understudied impacts of AI on water, material use, pollution and

biodiversity. Summarizing existing evidence, it reports that training a single large language model can use more than five million liters of freshwater, and that inference can require on the order of 500 milliliters of water for every 10–50 user responses, depending on cooling technology and location. Data centers themselves are described as energy- and water-intensive infrastructures that are often built on carbon-intensive grids or in regions facing water stress [2].

The same review notes that semiconductor fabrication for AI-critical chips consumes millions of liters of ultrapure water per day and generates hazardous waste. Mining for key materials such as lithium, cobalt and rare earth elements leads to water depletion, pollution and biodiversity loss in affected regions, and these upstream impacts are rarely captured in narrow energy-only assessments. The authors highlight that embodied emissions from hardware and infrastructure may account for roughly 30–50% of the life-cycle carbon footprint of AI, and they argue that water, material, land use, non-carbon pollutants and biodiversity impacts should be systematically integrated into environmental assessments of AI [2].

The Greenpeace-commissioned report provides additional quantitative indications of water and resource use. It states that global data center water consumption was around 175 billion liters in 2023 and could rise to 664 billion liters by 2030, more than tripling in seven years, with particular risks in regions suffering from water scarcity.

The same source estimates that the expansion of data centers and AI capacity could generate up to five million tons of additional electronic waste by 2030, amplifying issues around e-waste management and toxic pollution.

Efficiency gains in AI are triggering the rebound effect: efficiency improves, yet aggregate electricity use continues to grow. AI-driven efficiency gains in other sectors may induce sectoral rebound. AI-driven personalization and advertising may intensify consumption. Lower costs may increase demand for AI services, while efficiency savings are often reinvested in more computationally-intensive models or hardware.

Where AI is used to improve efficiency in sectors such as transport, logistics, or manufacturing, similar rebound effects may occur in these sectors.

Technological advances alone will not eliminate the environmental impacts caused by technology. Efficiency improvements lower costs, leading to increased AI usage that negates savings – this is known as the rebound effect or Jevons Paradox. Across the reviewed literature, 31% of systemic impact studies explicitly address rebound dynamics, while 40% examine impacts arising from AI-led shifts in consumer behavior. Such effects often reinforce environmental burdens rather than reduce them [2].

Conclusion. Escalating computing requirements are driving increasing energy use and CO₂ emissions. Inference emissions may exceed training emissions at deployment scale. Embodied emissions from hardware and infrastructure may account for approximately 30–50% of the life-cycle carbon footprint.

Training a single LLM can use over 5 million litres of freshwater, while inference can require approximately 500 ml for each 10–50 responses.

Data centers are energy- and water-intensive and are often sited on carbon-intensive grids or in water-stressed regions. Mining for AI-critical materials such as lithium, cobalt, and rare earths causes water depletion, pollution, and biodiversity loss. AI accelerates hardware turnover, contributing to global e-waste. Evaluating AI's overall impact requires accounting for computing-related, application-level, and systemic impacts, while integrating both environmental and social dimensions.

References

1. Carole-Jean. Wu *Beyond Efficiency: Scaling AI Sustainably* [Electronic resource]. Mode of access: <https://arxiv.org/abs/2406.05303>. Date of access: 10.03.2026.
2. Noemi Luna Carmeno. *The impacts of artificial intelligence on environmental sustainability and human well-being* [Electronic resource]. Mode of access <https://arxiv.org/abs/2602.24091>. Date of access: 12.03.2026.
3. Öko-Institut Consult GmbH. *Umweltauswirkungen Künstlicher Intelligenz* [Electronic resource]. Mode of access <https://www.greenpeace.de/ueber-uns/loesungen-finden/kuenstliche-intelligenz-energieverbrauch-und-umweltauswirkungen>. Date of access: 02.03.2026.
4. Alexandre d'ORGEVAL. *Carbon Footprint of AI Data Centers: A Life Cycle Approach* [Electronic resource]. Mode of access <https://www.energy-proceedings.org/wp-content/uploads/icae2024/1728494991.pdf>. Date of access: 05.03.2026.

HOW RELIABLE ARE MODERN BIOMETRIC SYSTEMS?

Gurskaya A. S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovich I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper examines the reliability of contemporary biometric authentication systems by analysing performance indicators, error rates and security vulnerabilities. It highlights the balance between user convenience and strengthened access control, as well as the technical and ethical challenges of deployment. Fingerprint, facial and iris recognition are representative modalities illustrating the growing role of biometrics in digital security systems.

Keywords. biometric authentication, system reliability, false acceptance rate (FAR), false rejection rate (FRR), multimodal verification, data protection, vulnerability assessment.

Introduction. The conceptual foundations of identification through inherent human traits extend back to the late nineteenth century, when fingerprint classification systems were first adopted for forensic purposes in criminal investigations. However, the digital transformation of biometric technologies accelerated markedly in the early 2000s, driven by exponential growth in computational capabilities, the emergence of high-resolution optical and capacitive sensors, and refinements in pattern-recognition algorithms [1]. A pivotal paradigm shift occurred around 2020, when artificial intelligence and deep learning architectures began enhancing feature extraction, liveness detection, and adaptive decision-making processes in real-time authentication scenarios. Convolutional neural networks now enable systems to detect subtle texture variations beyond visual perception, significantly reducing susceptibility to high-quality forgeries. This evolution allows algorithms to adapt to gradual changes in a user's biometric characteristics over time, maintaining accuracy without requiring frequent re-enrollment. Such adaptive learning ensures that the system remains resilient against natural aging processes while preserving the speed of verification [2]. Contemporary implementations now achieve near-human-level precision under controlled environmental conditions, with some commercial systems reporting accuracy rates exceeding 99.8% for fingerprint and iris modalities [3]. Consequently, biometrics has emerged as a disruptive force, reshaping conventional security models by enabling seamless, individualised verification experiences that transcend traditional knowledge- or possession-based credentials [1].

Main part. A primary strength of biometric systems lies in their capacity for robust identity confirmation. Unlike conventional password-based approaches or physical tokens, physiological and behavioural traits are inherently bound to the individual – they cannot be misplaced, forgotten, or casually transferred among users. Advanced algorithms process distinctive markers, such as ridge endings and bifurcations in fingerprints, geometric facial landmarks, or the complex vascular patterns of the iris, to authenticate individuals within milliseconds [3]. This functionality resembles a personalised, always-available security protocol, often surpassing traditional methods in both operational speed and user experience.

Modern biometric solutions are increasingly embedded in consumer electronics and enterprise environments. For instance:

1 Windows Hello leverages infrared facial mapping combined with liveness detection to enable passwordless device access.

2 Mobile banking applications employ AI-driven behavioural analysis to authorise transactions while detecting spoofing attempts.

3 Automated border control systems integrate e-passport data with real-time facial comparison to accelerate passenger processing without compromising security thresholds [1].

These implementations illustrate how biometrics streamlines routine verification tasks while maintaining adaptive, context-aware security policies. Organisations further utilise such frameworks for workforce management – automating attendance logs, restricting physical access to sensitive

infrastructure, and generating tamper-resistant audit records. The outcome is enhanced operational efficiency, reduced administrative overhead, and scalable security architecture capable of supporting thousands of simultaneous authentications.

From an end-user standpoint, biometric authentication offers tangible benefits: unlocking a smartphone via fingerprint sensor, approving a contactless payment with facial recognition, or accessing cloud-based services without memorising complex credential combinations (Figure 1). Personal experience confirms that enabling facial recognition on a personal device significantly reduces login friction while maintaining a strong security posture. Nevertheless, this convenience necessitates mindful usage practices. Biometric templates, once compromised through data breaches or insecure storage protocols, cannot be “reset” in the manner of traditional passwords – making transparent data-handling policies and robust encryption essential for long-term trust. Furthermore, the permanence of biometrical identifiers necessitates a higher standard of care compared to traditional credentials. Unlike a compromised password that can be changed instantly, a leaked biometric template remains a permanent vulnerability. Consequently, users should prioritize systems that employ template protection schemes, such as hashing or encryption, ensuring that raw biometric data is never stored in a reversible format. This approach mitigates the risk of identity theft even in the event of a server-side breach [4].



Figure 1 – Biometric authentication interfaces in consumer electronics: capacitive fingerprint sensor, infrared facial recognition camera, and near-infrared iris scanner

Contemporary users frequently incorporate such tools into daily digital routines. The appeal lies not merely in time savings, but in the capacity to maintain consistent security across multiple devices and services without cognitive overload. However, widespread adoption also raises important questions regarding dependency, privacy preservation, and the irreversible nature of biological data exposure.

Despite remarkable technological progress, biometric systems remain probabilistic rather than deterministic in their operation. Three categories of operational errors warrant sustained user awareness:

1 False Acceptance Rate (FAR): the statistical probability that an unauthorised individual is incorrectly granted system access – a critical metric for high-security applications.

2 False Rejection Rate (FRR): the likelihood that a legitimate user is erroneously denied entry, potentially causing frustration or operational delays.

3 Contextual Sensitivity: performance degradation attributable to environmental variables (e.g., low illumination, sensor contamination) or physiological changes (e.g., minor injuries, aging effects, temporary alterations in appearance).

FAR and FRR exhibit an inverse relationship: lowering one inevitably raises the other. Administrators must therefore calibrate thresholds based on context – prioritising low FAR for high-security environments and low FRR for consumer-facing applications to balance protection with usability.

Two interrelated challenges merit particular attention in deployment planning:

1 Single-point dependency risk: Users may disable supplementary security layers (e.g., PIN codes, hardware tokens) when biometrics feels “sufficient”, inadvertently weakening overall protection through reduced defence-in-depth.

2 Data sovereignty and privacy: Biometric templates represent highly sensitive personal information. Inadequate encryption standards, centralised storage architectures, or unauthorised secondary usage can erode user trust and expose individuals to identity-related threats with potentially irreversible consequences [4].

To harness biometric technologies effectively while minimising associated risks, both individual users and institutional stakeholders should consider the following practices:

1 Implement multifactor authentication frameworks, combining biometric verification with a knowledge-based factor (e.g., PIN) or possession-based token to create layered security.

2 Verify data storage and processing protocols – prefer on-device template storage over cloud-based solutions where feasible, and ensure compliance with relevant data protection regulations.

3 Explore multimodal biometric systems that fuse multiple independent traits (e.g., face + voice + behavioural dynamics) to improve overall accuracy, resilience against spoofing, and accessibility for diverse user populations. For instance, combining facial recognition with voice analysis creates a higher barrier for attackers, as replicating multiple biological traits simultaneously is considerably more difficult than spoofing a single modality. This fusion also ensures continuity if one sensor fails or is obstructed, thereby enhancing overall system robustness. Such redundancy is particularly valuable in critical infrastructure where uninterrupted access verification is paramount [1].

4 Advocate for privacy-by-design principles during system procurement, development, and deployment phases, ensuring transparency, user consent, and algorithmic accountability [4].

Beyond core security applications, biometric technologies show expanding promise in healthcare monitoring (e.g., continuous patient verification), accessibility enhancements (e.g., hands-free control interfaces for users with motor impairments), and personalised user experiences – provided that ethical guidelines and human-centred design principles govern their implementation.

Conclusion. Biometric authentication represents a significant advancement in digital security infrastructure, delivering enhanced convenience and strong identity assurance when properly configured and responsibly managed. However, its reliability remains context-dependent and not absolute: environmental conditions, sensor quality, algorithmic sophistication, and implementation practices all influence real-world performance.

Maximising benefits while mitigating risks requires a balanced, informed strategy: users must understand core error metrics, scrutinise data protection measures, and avoid treating biometrics as a standalone solution. The principal advantage – eliminating password fatigue and accelerating secure access – must be weighed against potential drawbacks, including environmental sensitivity, spoofing vulnerabilities, and the irreversible nature of biological data exposure.

As a guiding principle, biometric verification should function as a complementary layer within a comprehensive defence-in-depth security framework, not as a replacement for holistic protection protocols. Only through such cautious, ethically grounded adoption can individuals and organisations fully leverage biometric innovation while preserving control over personal information and maintaining long-term digital trust [2][4].

References

1. NIST. *Face Recognition Vendor Test (FRVT) – Performance Metrics*. [Electronic resource] / National Institute of Standards and Technology., 10.01.2025. – Mode of access: <https://www.nist.gov/programs-projects/face-recognition-vendor-test-frvt> – Date of access: 22.02.2026.
2. *History of biometric technology*. [Electronic resource] / Wikipedia., 15.04.2025. – Mode of access: <https://en.wikipedia.org/wiki/Biometrics> – Date of access: 22.02.2026.
3. Jain, A. K., Nandakumar, K., & Ross, A. *Biometric template security: challenges and solutions*. [Electronic resource] / IEEE Computer Society., 2024. – Mode of access: <https://www.computer.org/csdl/magazine/co> – Date of access: 22.02.2026.
4. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). *Biometric authentication: security and privacy considerations*. [Electronic resource]., 2024. – Mode of access: <https://www.enisa.europa.eu/publications/biometric-authentication> – Date of access: 22.02.2026.

UDC 004.43:378(476-25)

COMPARATIVE ANALYSIS OF PROGRAMMING LANGUAGES STUDIED AT BSUIR AND THEIR COMPLIANCE WITH MODERN REQUIREMENTS OF THE IT MARKET

Holod I.V., Zhukovskaya P.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Lasarenko A.M. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The gap between what universities teach and what IT employers actually need is the central concern of this paper. Using BSUIR as a case study, the authors examine official faculty syllabi to determine which programming languages are covered and how relevant each remains in 2025. Graduate preparedness is then assessed in the context of industry shifts driven by artificial intelligence and high-performance systems. Popularity indices (TIOBE, PYPL, IEEE Spectrum 2024–2025) and job-listing data from Belarusian recruitment platforms provide the empirical basis for a scored comparison between the academic programme and current employer expectations.

Key words: IT education; BSUIR; technology stack; IT labour market 2025; programming languages; industrial development; curriculum alignment.

Introduction. The accelerating pace of technological change has placed universities in an uncomfortable position: curricula that take years to revise must somehow remain meaningful in a field where dominant tools can shift within months. At BSUIR, this challenge has traditionally been addressed by building the programme on a foundation of classical computer-science theory while progressively supplementing it with courses tied to real-world software production.

The Stack Overflow Developer Survey 2024 confirms that hiring teams prefer candidates with hands-on command of tools already running in production. By the time a new technology enters a university syllabus, it may already be widely adopted in the workplace, creating a measurable lag between academic programmes and industry practice [1].

Rather than a general critique of IT education, this study delivers a granular, data-supported audit of specific programming languages: which ones are taught, how popular they are in the current job market, and where the syllabus has fallen behind what employers now require.

The core aim is to produce a structured comparison between the language content of BSUIR's programme and the technology preferences documented in employer hiring data, thereby determining how well-positioned graduates are when they enter the labour market.

Three tasks support this aim: a content audit of language-related modules across the key BSUIR faculties; a cross-tabulation of the resulting academic technology stack with leading industry ranking systems; and the identification of curriculum gaps accompanied by specific remediation proposals.

The authors proceed from the hypothesis that BSUIR's foundational language instruction is adequate, but that the programme has not kept pace with the employer-driven surge in demand for TypeScript, Rust, and cloud-native infrastructure skills, creating a gap that lengthens graduates' time-to-productivity after hiring.

Main part. Three evidence streams are combined: (a) official BSUIR teaching documentation, (b) numerical data from job-listing portals and international language ranking indices, and (c) a criterion-weighted scoring model applied to each language in the curriculum.

Primary data were drawn from the following sources:

- official syllabi for the BSUIR degree programmes «Software Engineering» and «Artificial Intelligence», academic year 2024–2025;
- three widely cited language-popularity measurement systems: TIOBE Index, PYPL Index, and the IEEE Spectrum Top Languages ranking (2024–2025 editions);
- job-posting datasets extracted from the dominant IT recruitment platforms operating in Belarus and neighbouring CIS countries (dev.by, rabota.by, hh.by);

– the Stack Overflow Developer Survey 2024, specifically its sections on languages that respondents most value, most avoid, and most wish to learn.

Analytical framework. Each language present in the BSUIR curriculum was assigned a conformity coefficient C , calculated according to the formula:

$$C(\text{lang}) = w_1 \cdot P(\text{lang}) + w_2 \cdot V(\text{lang}) + w_3 \cdot T(\text{lang}), \quad (1)$$

where $P(\text{lang})$ – normalised composite popularity score derived from TIOBE and PYPL; $V(\text{lang})$ – share of regional job postings that list the language as a requirement; $T(\text{lang})$ – directional trend indicator (upward growth = 1, flat = 0.5, declining = 0); w_1, w_2, w_3 – weights set empirically at 0.35, 0.40, and 0.25 respectively.

Languages were then grouped into three tiers: High Market Fit ($C > 0.7$), Partial Market Fit ($0.4 \leq C \leq 0.7$), and Low Market Fit ($C < 0.4$).

Results: Architecture of the Educational Stack. Foundational tier – C/C++. The university's choice to keep C and C++ as first-year anchors stands up to scrutiny against 2025 market data. C++ currently occupies position 10 in TIOBE, yet the metric understates its renewed relevance: both Edge Computing expansion and growing demand to optimise LLM inference pipelines are driving fresh uptake of manually managed, low-overhead C++ code in performance-sensitive systems.

C++ also carries pedagogical value: hardware architecture, pointer arithmetic, and complexity analysis in one sequence – competencies transferable across all specialisations. For embedded or systems-level roles: $C(C++) \approx 0.78$ (High Market Fit).

Industrial standard – Java and C#. Java and C# (.NET) enter from the second year, oriented toward large-scale enterprise development.

In fintech and enterprise backend engineering, Java retains unquestioned dominance. Senior-year Spring Framework coursework closes most of the gap between academic training and production requirements, translating into an estimated 85–90 % readiness for a Junior+ Java role. Regional job boards confirm its standing: 31 % of all back-end vacancies reference Java explicitly [2]. Score: $C(\text{Java}) \approx 0.82$ (High Market Fit).

BSUIR's Unity and enterprise .NET tradition ensures C# graduates are employable in game studios and Azure projects. $C(C\#) \approx 0.71$ (High Market Fit, lower boundary).

Future vector – Python. On the FCSN and FITC faculties, Python is the designated language for Big Data coursework and neural-network programming. This positioning mirrors the broader industry consensus: Python holds the top spot in both TIOBE and PYPL for 2024–2025 and commands the machine learning, data science, and automation segments with no serious rival in sight.

$C(\text{Python}) \approx 0.91$ – highest in the BSUIR stack. Advanced modules covering NumPy, Pandas, and TensorFlow give graduates a production-ready toolkit for data-intensive roles.

Table 1 shows scores and market indicators for each language.

Table 1 – Market conformity scores for programming languages in the BSUIR curriculum (2025)

Language	TIOBE Rank (2025)	Regional Vacancies	Trend	$C(\text{lang})$	Tier
C / C++	1 / 10	18 %	↑	0.78	High
Java	4	31 %	→	0.82	High
C#	7	22 %	→	0.71	High
Python	1 (PYPL)	39 %	↑	0.91	High
JavaScript	7	27 %	→	0.68	Moderate
SQL	–	45 %	→	0.75	High
Rust	13	5 %	↑↑	0.44	Moderate*
TypeScript	–	21 %	↑	0.38	Low*

* – included in the BSUIR curriculum as optional or introductory-level electives only.

Discussion: Critical Analysis and Blind Spots. While the programme's foundations are strong, three specific areas emerge from the data as systematic under-investments that slow graduate onboarding in the fastest-growing segments of the IT market.

Frontend and TypeScript deficit. TypeScript— the statically typed superset of JavaScript now dominant in large-scale frontend and full-stack codebases— has been relegated to optional modules or brief mentions within broader web courses— a peripheral position that contradicts market realities.

Employer data shows the language appearing in 21 % of regional vacancies and ranking fifth globally by active usage in the Stack Overflow 2024 survey [3].

The resulting score, $C(\text{TypeScript}) \approx 0.38$, places it in the Low Market Fit category and marks the widest single gap between BSUIR's curriculum and current employer expectations.

Senior-level IT roles now routinely demand fluency in cloud platforms and container orchestration.

A survey of Belarusian vacancy postings shows that AWS, Google Cloud, or Azure combined with Docker, Kubernetes, and Terraform pipelines appear as requirements in 34 % of senior developer listings [2].

BSUIR's core curriculum makes no provision for any of these tools in mandatory subjects; interested students must seek them out in optional workshops, a situation that leaves cloud and DevOps aspirants significantly underprepared relative to market expectations.

Rust has topped the Stack Overflow most-admired language list for nine consecutive years through 2024, with growing adoption in Linux kernel modules and cloud-infrastructure components [4].

Since BSUIR already teaches C/C++ extensively, introducing a mandatory Rust module in third or fourth year would require minimal additional preparation while noticeably strengthening graduates' competitiveness in systems engineering roles.

Conclusion. BSUIR's core language offering aligns well with current IT labour market demands. Graduates leave with a T-shaped profile: deep expertise in Java or C++ combined with working knowledge of Python, SQL, and JavaScript [5].

Taken together, the findings confirm the initial hypothesis.

Core language instruction is solid, but three specific gaps— TypeScript, Rust, and cloud-native tooling— hold the mean conformity coefficient down to $\bar{C} \approx 0.68$, a score that places the full curriculum at the top of the Partial Market Fit zone, just short of the threshold for a High Market Fit rating.

Four actions are recommended: (1) upgrade TypeScript to a required subject in web and full-stack tracks; (2) embed a Rust module as a mandatory component of systems-programming specialisations; (3) introduce a core Cloud Computing course covering AWS or Azure fundamentals and Docker/Kubernetes; (4) establish a standing industry advisory channel so curriculum updates are triggered by labour-market shifts rather than administrative schedules.

The methodology applied here is transferable to other technical universities in Belarus and the CIS region seeking to audit their own curricula.

References

1. Stack Overflow. Developer Survey 2024. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://survey.stackoverflow.co/2024>. – Date of access: 21.02.2026.
2. Dev.by Analytics. IT Vacancy Market in Belarus 2024–2025. – Minsk, 2025, pp.10-25.
3. TIOBE Software. TIOBE Programming Community Index. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.tiobe.com/tiobe-index>. – Date of access: 21.02.2026.
4. IEEE Spectrum. Top Programming Languages 2024. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://spectrum.ieee.org/top-programming-languages>. – Date of access: 21.02.2026.
5. Ivanov I.I. Methods of Teaching Object-Oriented Programming Languages in Technical Universities. – Minsk: BSUIR, 2023, pp.45-70.

GENERATIVE AI (DEEPSEEK) IN LEARNING FOREIGN LANGUAGES AT A UNIVERSITY: OPPORTUNITIES AND LIMITATIONS

Jalilova L.R.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

Perevysheko A.I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The main subject of this text is the application of generative AI in language learning. At the beginning of the text the author describes the evolution of neural language models. Special attention is given to the advantages and limitations of using this model in studying foreign languages. It is pointed out the potential of the DeepSeek platform in language learning context.

Keywords: neural network, artificial intelligence, personalized learning, digital technologies, foreign language, DeepSeek, chatbot.

Introduction. The evolution of digital technologies within foreign language pedagogy has progressed from the basic algorithmic systems of the 1980s to the current era of Large Language Models (LLMs).

While this integration has a long-standing history, the COVID-19 pandemic served as a critical catalyst, forcing an immediate transition to remote formats and necessitating the rapid development of new digital tools. A definitive shift in the public and academic perception of artificial intelligence occurred in late 2022 with the emergence of ChatGPT.

Moving beyond specialized academic interest, neural networks have integrated into everyday activities, fundamentally modernizing traditional teaching methods [1].

This article examines the didactic potential of the DeepSeek chatbot, evaluating its operational strengths and identifying specific limitations within the language learning process.

Main part. DeepSeek is a large language model with an open-source codebase, developed by the eponymous Chinese company [2].

The chatbot also enables the creation of diverse didactic materials: exercises, tests, reading texts, and sample dialogues. A user can request the generation of a test with a specific number of questions, followed by answer checking and error analysis. DeepSeek not only generates tasks but also provides detailed comments on correct answers, enhancing the learning effect.

A significant advantage of language learning with a neural network is its ability to adapt generated content to the user's language competence level and their professional or personal interests [3]. In contrast to static textbooks, the neural network allows for the creation of learning materials relevant to the student's specific field.

One of the most valuable functions is the opportunity to practice written language through dialogue. The neural network simulates the linguistic behavior of a native speaker, which can prove helpful for overcoming the language barrier: the network is impartial and does not judge errors, which can help reduce anxiety during conversation in a foreign language [3].

The neural network also assists in answering questions requiring comparative analysis of word meanings; it can list their areas of application and instances where using a word might be inappropriate. Moreover, one can ask DeepSeek an unlimited number of clarifying questions.

When translation of a text is required, DeepSeek also offers the possibility of explaining the translation choices made, justifying the selection of specific words or phrases. This contributes to the development of translation competence and a deeper understanding of the differences between languages.

Last, but not least, for language learning with a chatbot, users only need a device with internet access. This eliminates the need for expensive textbooks, tutoring sessions, or specialized software, making language practice accessible to a much wider audience regardless of their geographical location or financial resources.

However, one of the key drawbacks of DeepSeek for language learning at its current stage of development is the lack of support for voice input and output. This significantly limits its didactic potential for developing pronunciation skills, building listening comprehension, and practicing

spontaneous oral speech. For language learning, the ability for voice communication is critically important, as it allows training not only the lexical and grammatical aspects but also the phonetic dimension of speech.

Furthermore, like all large language models, DeepSeek can produce inaccurate or completely erroneous answers, especially when addressing highly specialized topics. This phenomenon, known as AI «hallucinations» requires the user to adopt a critical attitude towards the information received and the ability to verify it. Therefore, it is essential to treat the model's outputs as a starting point for further research rather than as definitive sources of truth.

Not only that, but during prolonged interaction, the model may lose track of certain parameters previously set by the user as learning boundaries. For example, if an instruction is given at the start of a dialogue to generate tasks strictly with three answer options, after several iterations the neural network may «forget» this condition and revert to its default generation format. Similar failures are observed in maintaining a specified difficulty level, text style, or output length. This limitation requires the user to constantly monitor adherence to the set parameters and periodically reiterate them in prompts.

Additionally, the neural network possesses no consciousness, empathy, or cultural experience in the human sense. Communication with such an interlocutor is merely interaction with a model reflecting a generalized perception of the linguistic worldview [3]. Traditional intercultural communication involves encountering a representative of a different culture, which entails an element of misunderstanding and conflict necessary for the genuine development of communicative competence.

An important limitation concerns linguistic diversity. Although other languages were not excluded from the training data during the model's development, its corpus predominantly consists of English and Chinese content. This means that when using other, rarer languages, the error rate increases, the quality of responses declines, and grammatical and stylistic accuracy suffer. Users note that when working with languages other than English and Chinese, the neural network may suddenly switch to English or Chinese during a dialogue and demonstrate a less profound understanding of complex phrases and stylistic nuances.

Chatbots also lack nuance when it comes to interpretation of words and phrases, whereas a human can play with the language, bending the initial meaning into something completely different. Humans intuitively navigate ambiguity, recognize when words are used ironically or figuratively, and can even invent new meanings on the spot. This ability to manipulate meaning is fundamental to authentic communication and cannot be replicated by pattern-matching algorithms [1]. Ultimately, this reveals that true linguistic creativity and playful ambiguity remain deeply human.

Conclusion. The conducted analysis allows us propose that the DeepSeek neural network represents a fairly effective tool for modernizing the process of foreign language learning [1]. Its functional capabilities create conditions for individualized and accessible language practice [3]. Yet it is not a substitute for human-led instruction. Its current limitations – ranging from the lack of audio support to linguistic biases – suggest that its optimal role is as a supplementary resource for independent practice and overcoming initial communicative barriers. As AI continues to evolve, the integration of such models must be balanced with the development of student critical competencies to ensure the accuracy and cultural depth of the learning experience.

References

1. Kostyunina, S.A. Rol' iskusstvennogo intellekta v izuchenii inostrannykh yazykov [The role of artificial intelligence in foreign language learning] [Electronic resource]. – Mode of access: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-iskusstvennogo-intellekta-v-izuchenii-inostrannykh-yazykov> – Date of access: 06.03.2026.
2. DeepSeek [Official website] [Electronic resource]. – Mode of access: <https://deepseek.com.ru/> – Date of access: 02.03.2026.
3. Kondrakhina, N.G., Petrova, O.N. Ispol'zovaniye vozmozhnostey iskusstvennogo intellekta dlya prepodavaniya inostrannykh yazykov: novaya real'nost' [Using the capabilities of artificial intelligence for teaching foreign languages: a new reality] [Electronic resource]. – Mode of access: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-vozmozhnostey-iskusstvennogo-intellekta-dlya-prepodavaniya-inostrannykh-yazykov-novaya-realnost> – Date of access: 06.03.2026.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CYBERSECURITY

Kaplunova A. A. Lobatskaya E. S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Perevyshko A. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article provides a general overview of the use of artificial intelligence in cybersecurity. AI can have different applications in the field of security. In the future, new technologies created using artificial intelligence will be described, which are likely to have an impact on the development of cybersecurity systems.

Keywords. cybersecurity, artificial intelligence, machine learning, RNN, CNN, data protection, advantages.

Introduction. Artificial intelligence is used in many areas of life. Thanks to the introduction of machine learning in AI, it can be configured to search for ideas offline, organize company data, and constantly check for threats and viruses in huge databases, thereby ensuring round-the-clock data protection. The development of AI has made it possible to develop voice assistants that recognize face and fingerprint scanners, as well as systems to prevent fraud on the Internet. Thanks to this, the development of cybersecurity and the design of new AI-based security systems are now coming to the fore in the world of modern technology.

Artificial intelligence in cybersecurity uses self-learning algorithms that aim to identify and analyze behavioral patterns to detect threats and respond to them in real time. AI can automate repetitive tasks by detecting viruses, malware, and spyware in large amounts of data, thereby making security systems even more active.

Main part. Many types of artificial intelligence are used in cybersecurity, but Convolutional Neural Networks (CNNs) and Recurrent Neural Networks (RNNs) are considered the most common. Initially, CNN was created for image analysis, but later better applications were found in data analysis systems. CNNs use a method called convolution, which involves applying multiple filters to the input data to identify specific features or patterns. This process allows you to thoroughly examine the input data, recognizing signs of malicious data and file behavior. They are also good at detecting phishing pages, as a web page can be converted into an image, and CNN can quickly determine whether this page is real or not. The strength of these networks is the parallel processing of large amounts of data, which allows you to quickly transfer information and react to a detected threat.

Recurrent neural networks (RNNs) are designed to process sequential data where the order of the elements matters. RNNs have an “internal memory” that allows them to store the previous elements of the sequence when processing the current element, which allows them to work well with large texts and data series. They can identify similar behaviors and trends in databases, helping to detect anomalies and third-party intrusion. CNN's ability to process consistent data allows them to recognize long-term dependencies, contributing to early detection of cyber attacks and proactive threat removal [1].

The most common use of AI is to detect of network attacks, including DDoS (distributed denial of service). The systems check basic network characteristics such as the structure of IP addresses, packet numbers and counts, session duration, and frequency of access server failures. If the number of similar requests from different locations increases dramatically on the same server, the system mistakes this behavior for a DDoS attack and sends a warning. AI models don't just compare network performance; they study the past data about the network and users, the time and how long the work was performed with the data. This reduces the number of false alarms and makes threat detection more accurate.

The second key use of artificial intelligence in cybersecurity is the detection of malicious software. AI models analyze file structure, document loading and closing behavior, and network

activity. If the security system notices deviations in the program's behavior, such as changing system files, creating hidden directories and processes, or connecting to unverified sources, the model classifies it as viral and malicious. Similarly, AI detects phishing emails: the model analyzes the text of the message, verifies the authenticity of links and visual elements. If hidden links to a domain with an abnormal structure and characteristic fraudulent patterns are detected, the system automatically blocks such messages and emails [2].

The integration of artificial intelligence (AI) technologies into cybersecurity systems represents a significant advancement in the protection of digital infrastructures. Traditional cybersecurity approaches were primarily based on signature-based detection methods, where incoming data was compared with a database of previously identified threats. If a match was detected, the system generated an alert and initiated appropriate countermeasures. However, due to the rapid evolution of information technologies and the constant emergence of new types of cyber threats, this method has become less effective. The main advantages of using AI are:

1 One of the primary advantages of AI in cybersecurity is its proactive capability. Unlike conventional systems that react only to known threats, AI-based solutions can analyze patterns of behavior and detect anomalies that may indicate previously unknown attacks. Machine learning algorithms are capable of processing extremely large volumes of data within a short period of time, identifying hidden correlations and unusual activities, such as abnormal login attempts or deviations from typical user behavior. AI-Driven Virtual Production, AI is used to automate and improve game development, in areas such as animation, character management, visualisation and rendering.

2 Another important benefit is improved vulnerability management. AI systems can continuously monitor networks and analyze large datasets to detect irregularities that may signal potential weaknesses. This significantly reduces the time between the appearance of a threat and its detection, thereby minimizing the exposure window and lowering overall risk.

3 AI expands the scope of cybersecurity coverage. Advanced algorithms are capable of handling multiple processes simultaneously, which enhances network visibility and improves the identification of hidden threats. The use of machine learning and deep learning models increases the accuracy of threat detection compared to traditional rule-based systems [3].

The integration of artificial intelligence into cybersecurity represents a fundamental transformation in the approach to digital protection. AI not only enhances traditional security mechanisms but also introduces proactive, adaptive, and predictive capabilities that are essential in the modern threat landscape.

Conclusion. AI systems are able to detect new and previously unknown threats, analyze vast volumes of structured and unstructured data, and generate actionable threat intelligence in real time. The ability of AI to identify emerging malware, distinguish between legitimate and malicious automated traffic.

The automation of routine processes and large-scale data analysis increases efficiency, reduces response time to incidents, and lowers overall operational costs. The scalability of AI-powered solutions enables organizations of different sizes to expand their cybersecurity capabilities without proportional increases in human or technical resources

Artificial intelligence serves as a cornerstone of modern cybersecurity architecture, combining predictive analytics, automated defense mechanisms, advanced anomaly detection, and continuous learning to provide comprehensive and forward-looking protection against contemporary and future cyber threats.

References

1. Cybok: The Cyber Security Body Of Knowledge [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.cybok.org/ataglance/>. – Date of access: 21.03.2025.
2. Cybersecurity First Principles: A Reboot of Strategy and Tactics [Electronic resource]. – Mode of access: https://taek.edu.kg/wp-content/uploads/2025/02/Kiberbezopasnost_glavnue_principu.pdf. – Date of access: 21.03.2025.
3. Security engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.cl.cam.ac.uk/archive/rja14/Papers/SEv3.pdf>. – Date of access: 21.03.2025.

WWII VISION IN SOME ENGLISH-SPEAKING COUNTRIES

Khursan I.R.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Berestovsky A.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This research work analyzes documents describing the historical events of two countries from opposing political camps (the Republic of Belarus and the USA). It examines possible reasons for disagreements and tensions in the world and explores how the perception of history depends on the use of different documentation and textbooks.

Keywords: politics, World War II, history, education, vision, English language, English-speaking countries.

Introduction. Humanity, more than ever, needs mutual understanding and compromise. Armed conflicts are erupting all over the world. As we know from history, any war brings human casualties. This must be avoided.

To resolve any conflict, it is very important to understand the context of the situation. To do this, one needs to know the opinions of both sides. In politics, context can be described as the vision of history from one's own perspective.

In this study, I compared the views on a single event – World War II and its consequences – from countries of different political camps: the Republic of Belarus and the USA. The USA was chosen as a representative of English-speaking countries, and the Republic of Belarus as the country closest in culture and ideology to me (since I live here).

Of course, books are not the most frequently used or popular source of information these days. However, the internet is full of misinformation and conflicting opinions, and users are already aware of this. As a result, many people trust official sources because they consider them reliable. Competent politicians also use them to maintain their reputations.

What feels familiar to a person is usually what they have been taught since childhood and what is popular in society. Since almost everyone goes to school, it seems obvious that most people will accept the information from their textbooks as the truth. That is why we are using the school curriculum as a representation of the commonly accepted viewpoint.

Main part. I will compare two historical documents: History of Belarus in the Context of World History (Ministry of Education of the Republic of Belarus) and Outline of U.S. History (Bureau of International Information Programs, U.S. Department of State). The Belarusian textbook is considered the standard and is used in all schools in Belarus as a mandatory part of the curriculum. The U.S. Outline is based on a wide range of academic and research papers, and American textbooks also draw a lot of information from it. Politicians also use this work as an official representation of the U.S. perspective.

The Beginning of the War. The Belarusian textbook describes the USSR as unprepared for the German invasion, emphasizing the chaos and inability to mobilize in the western regions. For example, it states: «Due to the rapid advance of German troops, it was not possible to carry out mobilization in the western regions of the BSSR.» [2]

In contrast, the U.S. Outline portrays America as already mobilized and industrially ready, highlighting its massive wartime production. While Belarusians tend to view the war as a national tragedy, Americans see it as a heroic struggle against evil.

This difference is very clearly reflected in the cultures of both nations.

When facing threats similar to World War II, from one point of view, the goal is to prevent battles from happening again by maintaining a strong defense. From the other point of view, the goal is to destroy the threat as quickly and dramatically as possible, demonstrating power to the entire world.

Main Actions of the War. The Belarusian narrative focuses on the Eastern Front and the sacrifices of the Soviet peoples. The U.S. Outline, however, emphasizes the Pacific theater and battles in Western Europe, presenting the United States as a decisive force without whom victory would not

have been possible. The Soviet Union is mentioned only briefly, without acknowledgment of its critical role.

This also creates a different context. One country sees itself as a victim fighting for its freedom, while the other sees itself as a victorious hunter of evil. In the second case, a potential conflict seems less frightening; it could even be seen as beneficial if it brings re-sources, glory, and shows the world who is in charge and who should be feared.

Results and Treaties of the War. The Yalta agreements are seen in the Belarusian textbook as a necessary compromise that shaped the post-war order. The U.S. Outline, however, portrays the USSR in a negative light, accusing it of expansionism. It describes Soviet actions in Eastern Europe as aggressive and undemocratic.

For instance, the Outline mentions the agreements: «In February 1945, the three Allied leaders met again at Yalta... In return, the USSR would gain effective control of Manchuria and receive the Japanese Kurile Islands as well as the southern half of Sakhalin Island.» [1] However, it also frames Soviet ideology negatively: «The Soviet Communist Party under V.I. Lenin considered itself the spearhead of an international movement that would replace the existing political orders in the West, and indeed throughout the world» [1]

The U.S. Outline also emphasizes America's economic gains and strategic positioning during the war. It mentions the Lend-Lease Program as a tool for supporting allies while simultaneously strengthening U.S. influence.

The document reflects a confident, triumphalist American perspective, ready to lead the post-war world. A key example of this strategic thinking is the statement: «The United States gave the British Navy 50 'overage' destroyers in return for British air and naval bases in Newfoundland and the North Atlantic.» [1]

Even after peace treaties are signed, countries draw different conclusions. The USA sees itself as a nation with a duty to spread democracy around the world.

The Outline also mentions that the USA initially preferred an isolationist policy and did not want to interfere in other countries' politics, but it was President Roosevelt's speeches and Japan's aggression that led the public to support full-scale military operations abroad. The Soviet Union, in contrast, is portrayed as an evil force, similar to the Nazis, seeking global domination.

The USSR, on the other hand, viewed the treaties as quite successful and its own policies as peaceful. It saw the USA's further actions as aimed solely at expanding its influence, controlling the world, increasing its profits, and satisfying its ambitions.

Two powers both claim to be fighting for world peace, justice, and the equality of all races and peoples, yet they see each other as absolute evil.

Conclusion. By studying historical documents, we can see that countries pursue different goals and have different views of their past.

This is what leads to misunderstanding and conflict. Studying history without bias, recognizing the achievements and merits of other countries, accepting the mistakes of the past, and taking responsibility for wrongdoings will help humanity avoid unnecessary victims and suffering and live in a kind, mutually understanding, and prosperous world.

In this situation, each side sees only a desire for world domination in the other's worldview. At the same time, they justify their own actions as spreading the «right» ideas.

Perhaps we are just one step away from a bright and peaceful future. But I am left wondering: when will we finally take it?

Don't be like that! Respect other people's personal boundaries and respect others' opinions.

References

1. Hamby, A. L. *Outline of U.S. History* / Alonzo L. Hamby; Bureau of International Information Programs, U.S. Department of State. – Washington, D.C.: U.S. Department of State, 2011. – 376 pp.
2. *History of Belarus in the context of world history* / Ministry of Education of the Republic of Belarus; ed. by V. I. Golubeva. – Minsk: IVC Minfina, 2017. – 464 pp.

THE IMPACT OF GENERATIVE CHATBOTS ON THE IT SUPPORT AND HELPDESK LABOUR MARKET

Kolosovsky M.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Malikova I.G. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper analyzes the growing influence of generative artificial intelligence on IT support services and the labour market. Special attention is given to the use of generative chatbots for automating routine technical requests. The study shows that artificial intelligence tools transform professional roles and required competencies rather than completely replacing human workers.

Keywords: artificial intelligence, generative models, chatbots, IT support, automation, labour market.

Introduction. Artificial intelligence technologies are fundamentally reshaping the landscape of modern digital infrastructures [1]. In recent years, the development and deployment of generative large language models have accelerated dramatically, leading to their widespread adoption across a multitude of sectors. Among the most significant areas of application is customer service and technical support. These sophisticated AI systems possess the advanced capability to process natural language requests with high accuracy, understand context, and generate detailed, coherent responses. This functionality makes them exceptionally well-suited for assisting users with a broad spectrum of technical problems, ranging from the simple to the moderately complex.

Historically, technical support departments have been burdened by a high volume of repetitive and predictable inquiries. Common issues such as password recovery, configuration problems, software troubleshooting, and requests for instructions on using internal corporate systems constitute a significant portion of daily tickets. As these tasks often follow well-defined and predictable patterns, they represent a prime opportunity for automation [1]. The integration of intelligent conversational systems offers a pathway to streamline these processes, reduce the workload on human agents, and provide users with faster, more consistent resolutions.

Main part. The core functionality of generative chatbots in this domain lies in their sophisticated ability to analyze user questions, interpret their underlying meaning and intent, and deliver structured, actionable recommendations. Unlike traditional rule-based chatbots that rely on keyword matching, generative AI models utilize deep learning to understand the context and nuances of human language, including slang, typos, and complex sentence structures [4]. When a user describes a problem, the AI model parses the query, identifies key entities and pain points, and cross-references this information with data stored in internal corporate knowledge bases, FAQ databases, and even historical ticket resolutions. In many instances, the system can dynamically generate personalized, step-by-step troubleshooting instructions, guide users through complex configuration wizards using natural language, or provide direct hyperlinks to relevant video tutorials or documentation articles. The immediate and most visible benefit for the end-user is the receipt of instant, “always-on” assistance, available 24 hours a day, 7 days a week, without the frustration of waiting in a queue for a human specialist to become available. This immediacy not only boosts user satisfaction but also reduces the abandonment rate often seen in traditional support channels.

This advanced capability positions generative chatbots to serve as an exceptionally effective first line of support within modern organizations [1]. They act as intelligent triage agents and virtual assistants, initially engaging with the user to collect essential diagnostic information and systematically attempt to resolve the issue automatically. This process can involve asking dynamic, context-aware clarifying questions, running basic remote diagnostic checks, pulling relevant error codes from system logs, or guiding the user through common fixes like clearing a cache or resetting a modem. For example, if a user reports being unable to connect to the corporate VPN, the chatbot can automatically verify their network status, check if their account is locked, and provide the correct connection steps based on their operating system [4]. If the system encounters a problem it cannot solve with certainty, or if the issue is highly novel and falls outside

its predefined confidence threshold, the request is seamlessly escalated and transferred to a human support engineer [1]. Crucially, the chatbot provides this engineer with a comprehensive and structured summary of the entire interaction, including the user's initial problem description, the exact steps already taken to resolve it, any diagnostic data gathered during the session, and the user's device information. This "arm handoff" eliminates the need for the customer to repeat themselves and enables the human expert to dive directly into advanced troubleshooting, thereby enabling a more efficient, informed, and empathetic resolution.

However, the practical effectiveness of these AI-driven support systems is heavily contingent on the quality, structure, and breadth of the underlying data they rely upon. If the organizational knowledge bases are incomplete, outdated, poorly structured, or filled with technical jargon, the AI tool will likely produce inaccurate, irrelevant, or even misleading answers [4]. In some cases, this can lead to the phenomenon of "AI hallucination," where the model generates a confident but completely fictitious response. This dependency underscores a critical prerequisite for successful implementation: companies must often invest considerable effort in a knowledge management overhaul. This involves auditing existing documentation for accuracy and gaps, restructuring information for clarity and consistency, creating new, AI-friendly content, and establishing continuous feedback loops where human agents can flag and correct errors made by the AI. This foundational work ensures that the knowledge fed to the AI is reliable, comprehensive, and contextually relevant, which is the bedrock of building user trust in the system.

The widespread introduction of generative AI into technical support is also having a profound and multifaceted influence on labour market dynamics and the very nature of technical work [2]. Consequently, entirely new professional roles and specializations are emerging within support teams. Engineers may now find themselves involved in "bot training" and prompt engineering curating and maintaining the knowledge bases that feed the AI, monitoring chatbot performance and accuracy metrics, analyzing interaction data to identify emerging product trends or documentation gaps, and strategically integrating AI tools into broader service workflows to optimize overall efficiency [1]. This shift requires a new blend of technical and analytical skills, transforming the support department from a cost center focused on ticket volume into a strategic source of insights and a driver of product improvement.

Conclusion. In summary, generative chatbots represent a significant and transformative technological development for the field of IT support services. Their ability to provide immediate, 24/7 assistance dramatically improves response times for common issues and enables organizations to efficiently manage large volumes of routine requests without a proportional increase in support staff. This leads to greater operational efficiency and enhanced user satisfaction. At the same time, it is crucial to recognize that these systems are not designed to fully replace human specialists. Instead, their primary impact is to transform the structure of technical support work by intelligently redistributing tasks between automated systems and human engineers. The future of effective technical support lies not in choosing between AI and human expertise, but in creating a symbiotic relationship between them. Organizations that strategically combine the speed and scalability of artificial intelligence with the nuanced judgment, empathy, and complex problem-solving skills of their human workforce will be best positioned to improve efficiency, reduce costs, and provide a superior quality of technical support in the years to come.

References

1. SimpleOne. AI for support: how artificial intelligence changes service desks and customer experience. 2026 [Electronic resource]. Mode of access: <https://simpleone.ru/blog/ai-for-support>. Date of access: 05.02.2026.
2. Teutloff O., Einsiedler J., Kässi O., Braesemann F., Mishkin P., del Rio-Chanona R. Winners and losers of generative AI: Early evidence of shifts in freelancer demand. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 2025 [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167268124004591>. Date of access: 18.02.2026.
3. Ahmadi M., Khoshkheslat N., Akintomide A. Generative AI and the Labour Market: A Demand-Side Analysis of ChatGPT-Related Skills. *University of North Texas*, 2024 [Electronic resource]. Mode of access: <https://arxiv.org/abs/2412.07042>. Date of access: 22.02.2026.
4. Grzonka D., Swalek K., Abbasi I., Sagar K. The impact of the AI revolution on the ICT labour market. *e-mentor*, 2023. [Electronic resource]. Mode of access: <https://ibe.edu.pl/images/EBiS/Numery/2023-2/EBiS-2023-2-4-The-impact-of-the-AI-revolution.pdf>. Date of access: 01.03.2026.

PSYCHOLOGICAL DEPENDENCE OF STUDENTS ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Korshunova V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article examines the phenomenon of students' psychological dependence on neural networks in the educational process. The factors contributing to the formation of addiction are analyzed. The psychological aspects of the degradation of critical thinking and creativity with excessive use of AI are considered. A classification of the stages of addiction formation and measures to prevent negative consequences are proposed.

Keywords: neural networks, artificial intelligence, psychological dependence, educational process, cognitive abilities, students.

Introduction. Artificial intelligence is being actively introduced into education, providing students with convenient tools for completing learning tasks. However, the ability to instantly generate answers leads to addiction: students complete tasks without deep analysis, which reduces their critical thinking and cognitive skills. Students with low academic self-efficacy become particularly susceptible to this addiction, using neural networks to reduce learning stress. The consequences are loss of independent thinking, limited self-reflection, and decreased creativity.[1] Despite its relevance, the psychological mechanisms of this dependence have not been sufficiently studied. The relevance of this study is due to the need to understand the mechanisms of this dependence in order to develop effective strategies to preserve the cognitive health of students in the context of digital transformation and the active introduction of artificial intelligence.

Main part. Psychological dependence on neural networks in the educational process is a persistent need for a person to use artificial intelligence tools to solve learning problems, accompanied by disregard for their own cognitive abilities, reduced tolerance to uncertainty and discomfort when access to these technologies is impossible.

The key factors contributing to the formation of this addiction are:

1 the principle of least effort and accessibility. Research shows that the main reason for students to use neural networks is to save time (59.1% of respondents), as well as help in solving problems and accessibility (45.5% each) [1]. The human brain is always looking for ways to simplify, and neural networks perfectly meet this need: they are available at any time, easy to use and give instant results. However, as the researchers note, using AI instead of its own intellectual capabilities makes it easier to solve learning problems, but does not increase the actual level of knowledge. This can make students dependent on neural networks, depriving them of the ability to build their own knowledge, creativity and self-sufficiency [1].

2 cognitive degradation. An experiment by scientists at the Massachusetts Institute of Technology showed that when using ChatGPT to write an essay, the subjects showed the least brain involvement. The EEG data recorded a decrease in activity in the areas responsible for attention, memory and creativity. The participants who used neural networks simply copied the text without delving into the content, while those who wrote independently demonstrated high neural activity [2]. The regular delegation of creative tasks to the neural network generates passive consumption instead of active thinking, which leads to cognitive degradation and the consolidation of dependence.

3 shifting responsibilities and delegating decisions. By accessing the neural network, the student shifts to it not only the search for information, but also the responsibility for its reliability. A pattern is being formed in which neural networks become a tool whose decisions are made without critical verification [3]. This reduces one's own activity and independence, consolidating dependence.

4 emotional comfort and anxiety relief. Research shows that academic anxiety is a key mediator between low academic self-efficacy and dependence on neural networks [1]. Students who are not

confident in their abilities experience anxiety when performing learning tasks and turn to AI as a tool to reduce this stress. High expectations from the results of using neural networks further enhance this dependence. However, the price for emotional comfort is a decrease in the ability to think independently and critically.

Based on the analysis of the key factors of the formation of dependence on artificial intelligence, the stages of dependence formation can be distinguished. They are shown in table 1.

Table 1 – Stages of formation of psychological dependence on artificial intelligence

Stage	Characteristic	Example of behavior
Situational use	The neural network is used only as an auxiliary tool for finding ideas or verifying solutions. One's own cognitive efforts prevail	The student asks the neural network to generate topic options for the course paper, but writes it himself
Regular use	The neural network is becoming the main tool for solving typical tasks. Critical analysis of artificial intelligence results is declining	A student generates a draft of an essay using AI, and then corrects it
Addiction formation	Performing tasks independently without the help of a neural network causes discomfort, anxiety, and doubts about the correctness of one's cognitive abilities	A student cannot write a simple essay or solve a problem without first contacting artificial intelligence for a ready answer
Total addiction	Full delegation of training tasks to the neural network. Renunciation of one's own mental activity. When access to artificial intelligence is blocked, a state of anxiety and helplessness occurs	The student uses AI to complete all tests, term papers, and even simple homework, losing the ability to learn independently

The negative psychological consequences of such dependence include the degradation of critical thinking, decreased creativity, as well as increased anxiety and self-doubt in the absence of access to artificial intelligence technologies.

To prevent and overcome this addiction, an integrated approach is needed, including: 1) creation of a new type of tasks that require analysis of the results of neural networks; 2) development of clearer instructions for completing tasks in order to reduce the temptation of using neural networks; 3) increasing the time to complete tasks for the possibility of independent comprehension of the material without haste; 4) a shift in the emphasis in education from evaluating the result to evaluating the process of completing tasks; 5) developing a healthy attitude towards errors as an indicator of growth areas, rather than an excuse for anxiety and recourse to neural networks; 6) psychological education of students about the risks of addiction and its various consequences; 7) gradually increasing the difficulty of tasks so that students can figure things out on their own, without resorting to AI at the first sign of difficulty.

Conclusion. Psychological dependence on artificial intelligence in the educational process poses a real threat to the development of students' cognitive abilities and personality. It is formed under the influence of accessibility factors, the speed of obtaining solutions and avoiding intellectual stress. Understanding the stages and mechanisms of this dependence is necessary to develop various approaches aimed at forming healthy and responsible interaction between students and artificial intelligence technologies, where neural networks act as a tool rather than a substitute for thinking. The future of education depends on our ability to maintain a balance between technological progress and the development of human thinking.

References

1. The chain mediating effect of academic anxiety and performance expectations between academic self-efficacy and generative AI reliance. [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666557325000345>. Date of access: 01.03.2026.
2. ИИ снижает когнитивную активность: эксперимент с ChatGPT. [Electronic resource]. Mode of access: <https://science.mail.ru/news/3934-chatgpt-otklyuchaet-mozg/>. Date of access: 01.03.2026.
3. «ИИ-зависимость»: какие эффекты уже заметны, а какие – вероятны. [Electronic resource]. Mode of access: <https://iq-media.ru/trends/ii-zavisimost-kakie-effekty-uzhe-zametny-a-kakie-veroyatny>. Date of access: 01.03.2026.

GAMIFYING ACADEMIC ROUTINE: THE IMPACT OF CONTINUOUS ENGAGEMENT MECHANICS ON STUDENT MOTIVATION

Kudan T.A., Tereshkin A.Y.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Sokolova M.A. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper explores the integration of continuous engagement mechanics, specifically attendance streaks, into the academic routine of university students. The system was developed by combining a custom Telegram bot with the university's electronic environment to track student presence and visualize their daily attendance streaks using «fire» icons. The objective is to measure how this gamification element influences students' discipline. The experiment involves real-time tracking by group leaders and a follow-up survey to evaluate behavioral shifts, aiming to determine if simple digital rewards can effectively reduce absenteeism.

Keywords: gamification, student motivation, attendance tracking, continuous engagement, streaks, Telegram bot, educational technology.

Introduction. University attendance often fluctuates throughout the semester. While some absences are unavoidable due to health or personal reasons, many stem from a simple drop in day-to-day motivation. Traditional systems rely on delayed rewards, like end-of-term grades, which often fail to motivate students to attend early morning lectures. To address this gap, developers and educators have started looking toward mechanics used in mobile applications and video games to keep users returning daily [1].

One of the most effective tools in this domain is the concept of a «streak» – an unbroken record of consecutive actions. This paper outlines an initiative to adapt the streak mechanism for the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR), testing whether the visual representation of perfect attendance can alter student habits and improve overall engagement.

Main part. The essence of gamification in education relies heavily on Self-Determination Theory (SDT), which suggests that human motivation is driven by the needs for competence, autonomy, and relatedness [2]. In the context of university attendance, «competence» is often undermined by the lack of immediate feedback; a student does not feel they have achieved anything simply by sitting through a lecture.

A visual streak counter turns attendance into an active achievement, leveraging the «Endowed Progress Effect» to make students want to protect their accumulated progress. When a student sees a streak of five days, the cost of skipping the sixth day increases significantly, shifting the motivation from external pressure (fear of the dean's office) to internal drive (desire to maintain the streak).

The core of this experiment relies on bringing gamification directly into the communication channels students already use. BSUIR operates an Integrated Information System (IIS) where schedules and official data are logged. However, to make the feedback loop immediate, we designed an intermediary tool: a custom Telegram bot.

The bot serves a dual purpose. First, it streamlines the administrative duties of the group leader (monitor). Instead of managing paper spreadsheets, the leader opens the bot during a class and selects the names of absent students from a pre-loaded list. The system immediately registers who is present. Second, the bot acts as a personal dashboard for the students. Upon checking the bot, a student sees their current attendance status represented by a «fire» emoji – their streak. Every consecutive day a student attends all scheduled classes, the number next to the fire increases. If they miss an unexcused class, the streak breaks and the counter resets to zero.

The system is built using Python, utilizing the aiogram library for asynchronous communication with the Telegram API. This choice ensures the bot can handle simultaneous requests from multiple users without latency. The backend operates on a lightweight SQLite database, which stores student unique identifiers (Telegram IDs), their current streak count, and a history of daily attendance logs.

To ensure data integrity, the bot employs a role-based access control system. Only the authorized group leader has access to the «Admin Panel» command set. Regular students have read-

only access to their personal statistics. This separation prevents unauthorized modifications of attendance records while maintaining transparency for all participants.

The effectiveness of this system relies on established behavioral concepts, primarily loss aversion. Humans naturally prefer avoiding losses over acquiring equivalent gains [3]. When a student builds an attendance streak of twenty consecutive days, the prospect of losing that progress and resetting to zero becomes a tangible psychological cost.

The fire emoji acts as a micro-reward. It does not carry official academic weight and does not directly affect a student's final average grade, yet it provides immediate visual feedback that standard grading systems lack. This mechanism mirrors the engagement loops found in applications like Duolingo or TikTok, where users are compelled to return daily to maintain their continuous digital status [4]. We hypothesize that students will make an extra effort to attend classes on days when their motivation is low simply to preserve their accumulated streak.

To validate this hypothesis, we are rolling out the Telegram bot to a specific academic group consisting of 33 students. The experiment is designed to last for one academic semester and is divided into two distinct phases to ensure data validity.

Phase 1: The Blind Baseline (4 weeks). In the first month, the group leader will log attendance through the bot, but the «streak» feature will be hidden from the students. They will not receive notifications or see the fire icons. This phase allows us to collect baseline data on the group's natural attendance habits without the influence of gamification.

Phase 2: The Active Streak (8 weeks). In the second phase, the interface will go live. Students will be able to see their fire icons and track their progress. We will measure the change in attendance rates compared to the baseline. Specifically, we will track «at-risk» days – Mondays and Saturdays – where attendance typically drops, to see if the streak mechanic mitigates absenteeism on these specific days.

Quantitative data will be drawn directly from the bot's database. However, numbers alone do not explain behavioral shifts. Therefore, qualitative data will be gathered via a structured survey at the end of the trial. The questionnaire will use a Likert scale (1–5) to ask students to rate how often they considered skipping a class but decided to attend specifically because of the streak mechanic. We will also collect feedback on the user experience and whether the gamified environment generated any unnecessary anxiety (FOMO).

If the Telegram bot proves effective in boosting attendance for the test group of 33 students, the logical next step is native integration into the university's infrastructure. The streak mechanic could be built directly into the official BSUIR IIS student dashboard. A native integration would eventually eliminate the need for manual input by group leaders. Attendance could be verified automatically through integration with electronic passes or university Wi-Fi access points. Furthermore, the university could expand the gamification model by tying high streaks to tangible micro-rewards, such as unique digital profile badges, certificates, or minor bonuses in the rating system for hostel accommodation.

Conclusion. Modifying student behavior does not always require strict punitive measures or major overhauls of the university grading system. Applying a simple, visually appealing tracking metric taps into basic human psychology, creating a daily sense of accomplishment. By testing the fire streak mechanic through a Telegram bot on a pilot group, we are taking a practical, low-cost step toward modernizing the academic routine. The data collected from this experiment will clarify exactly how much influence a simple digital flame holds over daily motivation, providing a scalable template for broader implementation across BSUIR.

References

1. Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). *From game design elements to gamefulness: defining gamification*. *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference*, 9-15.
2. Dicheva, D., Dichev, C., Agre, G., & Angelova, G. (2015). *Gamification in Education: A Systematic Mapping Study*. *Educational Technology & Society*, 18(3), 75-88.
3. Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). *Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk*. *Econometrica*, 47(2), 263-291.
4. Eyal, N. (2014). *Hooked: How to Build Habit-Forming Products*. Portfolio/Penguin.

THE IMPEMETNATION OF VIBE CODING IN SOFTWARE ENGINEERING

Kungurtsev A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. Vibe coding is an emerging AI-driven development technique characterized by a more intuitive, “by feel” approach, using natural language prompts for LLMs and involving minimal manual line-by-line programming, applied to create and improve software models. In order to understand this groundbreaking paradigm shift, in this article we examine the main points of practical implementation, effects on the labor market, and the benefits and risks of the phenomenon in question. The main objective is to dig into queries of maintainability, security, long-term technical efficiency and speed and accessibility.

Keywords: Vibe Coding, Large Language Models, Natural Language Programming.

Introduction. For decades, software engineering has been all about taking things to the next level of Annotationion. We moved from machine code to assembly, then to high-level languages like C, C++ and Java. Now we have frameworks that take care of the basics of architecture build-up and make it primitively Annotation by delivering the developer from manually configuring the files and CLI (Command Line Interface) commands. Today, we are witnessing the latest and perhaps most radical leap: «Vibe Coding.» Originated within developer circles and popularized by prominent figures in the field of computer science like Andrej Karpathy, the term «Vibe Coding» refers to the methodology where the developer functions more as a supervisor and a manager of intent than as a writer of syntax. The concept implies that the developer «vibes», so gets along and is in harmony with a LLM such as Claude, Chat GPT, Gemini, etc., describing desired outcomes in natural language and continuously makes adjustments, instead of meticulously crafting and applying functions manually. This shift represents a fundamental change in the relationship between human logic and machine execution, as the ratio of involvement changes towards the machine (shown in Figure 1).

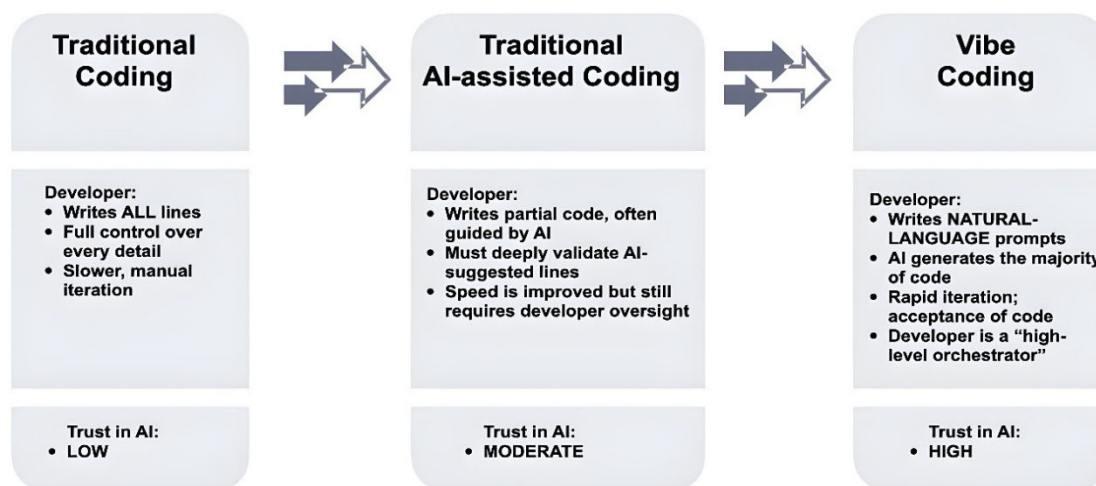


Figure 1 – Representation of a paradigm shift in coding

Main part. At its core, vibe coding is the realization of Natural Language Programming (NLP) powered by Large Language Models (LLMs). According to Google Cloud and IBM, the gist of this phenomenon is the shift from thinking about how to do something and focus on what exactly needs to be done. Traditional coding requires the developer to translate an algorithm into a rigid, syntactically correct sequence of commands. Vibe coding bypasses this translation layer. The developer provides a high-level «vibe» (a description of a feature, a UI layout, or a chain of reasoning) and the AI generates the underlying foundation of code, logic, and multi-file integration.

This is not an exaggeration of filling in the blanks. It is a back and forth conversation. Vibe coding is based on the models' ability to understand the situation when the plan is not clear and composed enough.

Today the implementation of vibe coding lies within integrated development environments (IDEs), that provide a suitable UI and all the necessary tools. Examples include Google AI Studio and Gemini-powered tools that generate full apps and support one-click deployment, IDE assistants that insert and test code, and agent frameworks that orchestrate multi-step tasks. Tool choice depends on one's requirements and goals, such as multi-file coherence, long-running agentic tasks, certain platform support, speed, cost and quality.

In the labor market influence of vibe coding is a subject of intense debate. The new approach lowers the barrier to entry for building software, enabling non-programmers and domain experts to create applications, which can accelerate innovation by reducing production costs and time-to-market for small projects. On the other hand, the generated code can also be complicated, duplicated, or poorly structured, increasing long-term maintenance costs, as studies report higher rates of logical errors and vulnerabilities in AI-written code, and real incidents show that agents can sometimes “hallucinate” or fabricate data.

In addition, the «junior developer paradox» is becoming more evident and problematic. If AI handles all the entry-level coding tasks, junior developers may find fewer opportunities to learn the fundamental syntax and debugging skills required for senior-level architectural oversight. When a developer «vibes» their way into building a complex system without understanding the underlying logic, they become unable to fix the system when their methods become unreliable, for instance when AI generates «spaghetti code» that functions in the short term but is impossible to refactor manually later. This creates a gap in skill levels, which can lead to crisis in the industry.

The cause of the emergence of vibe coding is the massive expansion of LLM context windows and reasoning capabilities; the effect is a decoupling of «coding» from «programming». In the future, we can expect that there will be a high-demand niche for those who build and optimize the LLMs and underlying systems and a huge number of vibe-coding engineers who assemble products through high-level management. However, the future outlook provided by gray literature reviews suggests a looming «maintenance crisis.» As billions of lines of “vibed” code enter production, the industry will eventually require a new generation of AI tools specifically designed to deconstruct and clean up the unoptimized outputs of today’s generative agents.

Conclusion. The implementation of vibe coding in software engineering is an inevitable evolution, representing the ultimate Annotationion of logic. Giving freedom to human creativity, it democratizes application development by focusing on architecture and letting a machine do the more monotonous part of the work. However, software engineering is more than just making things work; it is about making things last. Practical implementation should treat vibe coding as a toolchain component for ideation but requiring testing, code review, and refactoring before production use. Organizations that combine agentic automation with disciplined engineering basics can benefit while lowering the documented risks to quality and security. The most reasonable path is not to abandon engineering basics but to adapt it for a world where natural language and autonomous agents are first-class development inputs.

References

1. *Vibe Coding Explained: Tools and Guides* [Electronic resource]. Mode of access: <https://cloud.google.com/discover/what-is-vibe-coding>. Date of access: 06.03.2026.
2. *Vibe coding* [Electronic resource]. Mode of access: https://en.wikipedia.org/wiki/Vibe_coding. Date of access: 06.03.2026.
3. *Vibe coding: programming through conversation with artificial intelligence* [Electronic resource]. Mode of access: <https://arxiv.org/abs/2506.23253>. Date of access: 06.03.2026.
4. *A Review on Vibe Coding: Fundamentals, State-of-the-art, Challenges and Future Directions* [Electronic resource]. Mode of access: . Date of access: 06.03.2026.
5. *Vibe Coding in Practice: Motivations, Challenges, and a Future Outlook – a Grey Literature Review* [Electronic resource]. Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/396094422_Vibe_Coding_in_Practice_Motivations_Challenges_and_a_Future_Outlook_-_a_Grey_Literature_Review. Date of access: 06.03.2026.
6. *The Evidence Against Vibe Coding: What Research Reveals About AI Code Quality* [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.softwarezen.com/the-evidence-against-vibe-coding-what-research-reveals-about-ai-code-quality/>. Date of access: 06.03.2026.

HOW CHATBOTS AND VOICE ASSISTANTS WORK

Kupriyanovich O. A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovitch I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article examines how conversational artificial intelligence, including chatbots and voice assistants, is transforming human-machine interaction. It describes the key technologies behind these systems and their applications in finance, healthcare, and education. The paper also discusses the advantages of conversational AI and addresses its limitations, including data-privacy concerns.

Keywords. Artificial intelligence, conversational AI, chatbots, voice assistants.

Introduction. In an era where instant communication and immediate problem-solving have become the norm, conversational artificial intelligence (AI) has emerged as a transformative technology reshaping how humans interact with machines. Chatbots and voice assistants, once simplistic programs capable of only basic responses, have evolved into sophisticated systems that understand context, recognize emotions, and engage in natural, human-like dialogue. From customer service automation to healthcare support and smart home management, these AI-powered tools have become integral to both business operations and daily life. This report examines the fundamental technologies powering chatbots and voice assistants, explores their diverse applications across industries, analyzes their advantages and limitations, and considers future developments that will define the next generation of conversational AI.

Main part. Conversational artificial intelligence refers to technologies such as chatbots and voice assistants that enable machines to understand, process, and respond to human language in natural and meaningful ways. These systems automate communication and enable personalized customer and employee experiences at scale [1].

Chatbots are computer programs integrated into messaging platforms that interact with users via text. They primarily reside in text channels, including web widgets, in-app chat, and social messaging platforms. Early chatbots followed rigid decision trees with preprogrammed, fixed scripted responses, but modern versions have evolved into AI-powered systems driven by large language models that facilitate more human-like conversations. These contemporary chatbots can interpret natural language, access customer relationship management data, share images or links, and hand off to human agents when needed [2].

Voice assistants, also called voicebots, are voice-enabled intelligent chatbots that interact with users and respond to spoken commands primarily through voice. These systems process spoken input and return spoken or visual responses, encompassing smart speaker skills, interactive voice response replacements, or voice-enabled mobile applications. Voice assistants typically handle one request at a time – such as «Play jazz» or «Check my balance» – and rely on speech-to-text and text-to-speech pipelines alongside intent recognition. Latency requirements are stricter for voice assistants than chatbots because long pauses feel unnatural in conversation [3].

The operation of chatbots and voice assistants relies on a sophisticated interplay of multiple AI technologies working in sequence. At its core, a conversational AI follows a three-step process: speech-to-text conversion, language processing, and text-to-speech synthesis [1].

The process begins with the AI interpreting the user's input, which may be in text or speech form. For voice interactions, speech inputs are first converted into text using automatic speech recognition technologies.

Dialogue management orchestrates the conversation with the user, guiding the interaction based on the intent, context, and system capabilities. This component maintains conversation state, tracks context across multiple turns, and determines appropriate next steps. For instance, when a user asks about the weather and follows up with “What about tomorrow?”, the dialogue manager understands that «tomorrow» refers to a weather query for the following day at the previously mentioned location.

The dialogue manager may involve querying databases, accessing knowledge bases, or carrying out specific actions to provide precise and relevant responses [4].

Many conversational AI systems integrate with external knowledge sources to enhance their responses. Knowledge bases serve as structured memory storage, containing domain-specific information such as medical guidelines, legal regulations, etc. When responding to queries requiring specific information, the system retrieves relevant knowledge and incorporates it into the response generation process [5].

Conversational AI is transforming customer interaction and operational processes across virtually every industry sector. The technology automates routine interactions, allowing human agents to focus on complex, high-value conversations [1].

In healthcare, conversational AI enhances patient outcomes and operational efficiency through automated appointment scheduling and by providing easier access to personal health data while maintaining privacy. Voice assistants help with appointment scheduling, medication reminders, and symptom checking, enabling patients to receive voice-guided assistance anytime. AI-powered systems can reference symptoms, medical histories, and drug interactions to aid preliminary assessments. Healthcare providers also use voice assistants to automate tasks such as checking patient eligibility, sending appointment reminders, and logging post-visit summaries, freeing staff to focus on care delivery [1][6].

Educational applications include personalizing tutoring, transcribing lecture notes, and enhancing language learning through real-time conversations. Voicebots serve as interactive tutors, send course reminders, and support language learning, making studying more engaging and effective [1][6].

The main advantages include: 24/7 availability, operational cost reduction (projected \$80+ billion savings by 2026), scalability, personalization, accessibility for users with limited digital literacy, and hands-free operation.

Among the main limitations are difficulty processing sarcasm and idioms, inaccurate responses in complex scenarios, poor conversation flow, data privacy concerns, high implementation costs, emotional intelligence deficit, and multilingual constraints requiring extensive training data.

The market for conversational AI is growing very quickly (see Figure 1). It is expected to increase from \$14.29 billion in 2025 to \$41.39 billion within the following five years. Another report predicts that the market for intelligent virtual assistants will reach \$18.91 billion by 2032, with an annual growth rate of 23.7 percent. This rapid growth is happening because an increasing number of industries – like retail, healthcare, banking, telecom, and travel – are adopting AI-powered tools to handle customer support.

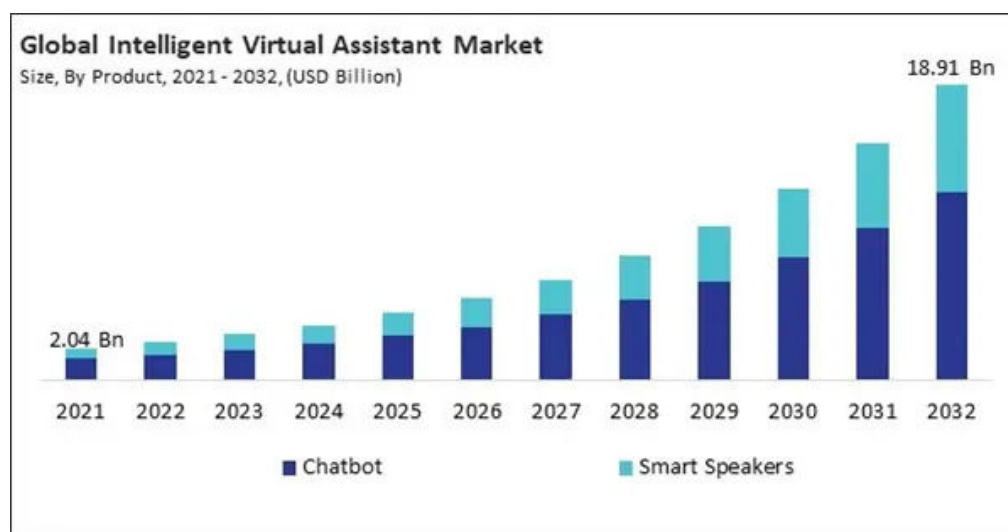


Figure 1 – Global Intelligent Virtual Assistant Market

Soon, AI systems will not only respond to commands; they will also take action autonomously. These assistants will be able to book appointments, process refunds, or send reminders without any

human help. They will also become more emotionally aware, detecting feelings like stress or frustration through voice tone and responding with empathy [7].

AI is also becoming more specialized. Instead of giving generic answers, future systems will be capable of understanding specific industries – helping doctors with diagnoses, lawyers with document reviews, or logistics companies with daily operations.

Security will improve too. Voice biometrics will let systems identify users by their unique voice patterns, making passwords unnecessary and helping to prevent fraud. Finally, as more devices connect to the Internet of Things, voice interaction will become the primary method for controlling connected devices from home appliances to cars, making AI a natural part of everyday life [7].

Conclusion. Chatbots and voice assistants have transformed human-technology interaction through ASR, NLU, and TTS technologies. They deliver measurable benefits across customer service, healthcare, education, and finance: continuous availability, cost reduction, and personalized experiences. However, significant challenges persist – nuance recognition deficits, data privacy concerns, and development costs. Future systems will feature enhanced contextual memory, emotional intelligence, Global and autonomous task execution. The distinction between chatbots and voice assistants will likely diminish, yielding integrated conversational agents combining both modalities for optimal user experiences.

References

1. What is conversational AI: Benefits and applications. [Electronic resource] / SAP., 11.06.2024. – Mode of access : <https://www.sap.com/africa/resources/what-is-conversational-ai/> / Date of access : 20.02.2025.
2. 7 conversational AI use cases for faster, smarter support. [Electronic resource] / Telnyx., 10.02.2026. – Mode of access : <https://telnyx.com/resources/7-conversational-ai-use-cases#7-conversational-ai-use-cases/> / Date of access : 20.02.2025.
3. How to build a conversational agent in less time than Cupid's arrow takes to strike. [Electronic resource] / Speechmatics., 04.04.2025. – Mode of access : https://www.speechmatics.com/company/articles-and-news/how-to-build-a-conversational-agent-in-less-time-than-cupids-arrow-takes-to-strike?utm_campaign=voice-ai-agents-2025 / Date of access : 20.02.2025.
4. Intelligent Virtual Assistant Market Analysis Report 2025. Yahoo Finance. [Electronic resource] / Research and Markets., 24.07.2025. – Mode of access : <https://finance.yahoo.com/news/intelligent-virtual-assistant-market-analysis-092400355.html?guccounter=1> / Date of access : 20.02.2025.
5. Three-Mode Fusion New Paradigm: Chatbox + Knowledge Base + MCP = Machine Learning Personal Voice Assistant. [Electronic resource] Baidu Cloud., 11.10.2025. – Mode of access : <https://cloud.baidu.com/article/3938385i> / Date of access : 20.02.2025.
6. Voicebot vs Chatbot: Which AI Tool Fits Your Business Best? [Electronic resource] / ConvoZen.AI., 28.06.2025. <https://convozen.ai/blog/contact-center/voicebot-vs-chatbot/#respond> – Mode of access / Date of access : 20.02.2025.
7. Future of Conversational AI [Electronic resource] / ConvoZen.AI., 18.07.2025. – Mode of access : https://convozen.ai/blog/ai/future-of-conversational-ai/?utm_source=openai#respond / Date of access : 20.02.2025.

A TOOL FOR MONITORING RESOURCE USAGE AND ENERGY CONSUMPTION OF SOFTWARE APPLICATIONS TO SUPPORT GREEN OPTIMIZATION

Laptinsky V.I.; Volkolovsky I.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovitch I. I. – Senior Lecturer at the department of Foreign Languages

Annotation. This paper presents GreenDev Monitor, a tool for visualizing resource usage and energy efficiency of software applications. The system enables developers to evaluate the impact of code optimizations on energy consumption in real time and analyse performance changes during experimental testing. Experimental evaluation shows that green optimization reduces energy consumption by 33.9% while improving performance by 13.4%.

Keywords: software energy consumption, green technologies, resource monitoring, algorithm optimization, Spring Boot, energy efficiency

Introduction. The problem of software energy efficiency is becoming increasingly relevant as computational workloads and cloud infrastructure usage continue to grow [1]. Research shows that non-optimized application code may consume 20–40% more energy than optimized equivalents [2, 3]. The concept of Green Software Engineering focuses on tools and methodologies that allow developers to assess and reduce the energy footprint of their applications [4]. At the same time, the lack of simple and accessible tools for measuring the energy impact of software decisions still limits the practical adoption of green optimization principles in everyday software development.

Existing energy profilers (Intel RAPL, ALEA, Green Metrics Tool) are primarily research-oriented and often require specialized hardware or complex setup procedures [5]. Therefore, creating a simple and accessible tool for everyday use by software engineers remains an important research and engineering task.

The objective of this work is to develop a web-based tool for monitoring resource usage and estimating energy efficiency, allowing developers to analyse and visualize the impact of optimizations on energy consumption and performance.

Main part. The developed GreenDev Monitor tool provides the collection and visualization of the following metrics:

- CPU load (CPU Load, %);
- RAM usage (Memory Usage, MB);
- estimated energy consumption (Estimated Energy, Wh).

Energy consumption is estimated using a linear model (Formula 1):

$$E \approx k_{CPU} \cdot \overline{CPU} \cdot t + k_{RAM} \cdot \overline{RAM} \cdot t, \quad (1)$$

where E is the estimated energy consumption (Wh);

k_{CPU} and k_{RAM} are calibration coefficients (W/% and W/GB);

$\overline{CPU}$ and $\overline{RAM}$ are average CPU load and memory usage;

t is execution time (hours).

The system architecture includes a metrics collection module, which is a background Java service that launches the application under test and periodically polls operating system counters; an energy calculation module that applies the mathematical model to the collected time series; a Spring Boot-based REST API that provides endpoints for managing measurement sessions and retrieving data; a PostgreSQL database that stores sessions, metrics, and experiment results. Such modular architecture allows the monitoring system to be easily extended with additional metrics or integrated with external profiling tools. This flexibility makes the tool suitable for both experimental research

and practical software development tasks. The monitoring results are presented to users through a web interface implemented as a responsive dashboard containing charts and tables. The interface allows developers to observe resource usage dynamics during application execution and analyse the impact of code changes on system performance and estimated energy consumption. Examples of the monitoring interface are presented in Figures 1–3.

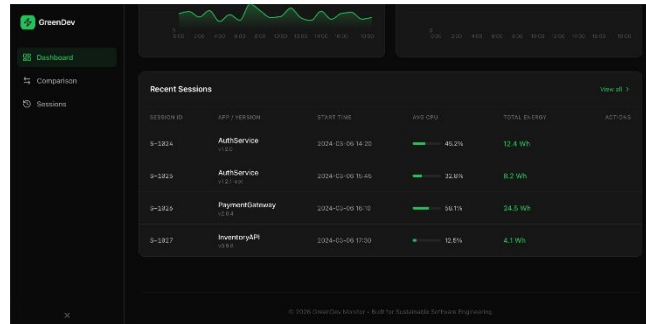


Figure 1 – Main monitoring dashboard with metric cards and system load charts

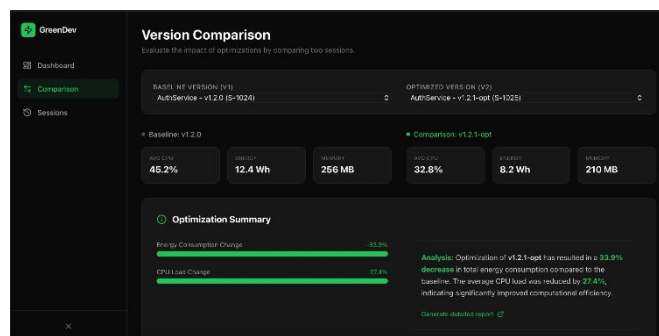


Figure 2 – Application version comparison page with energy consumption change visualization

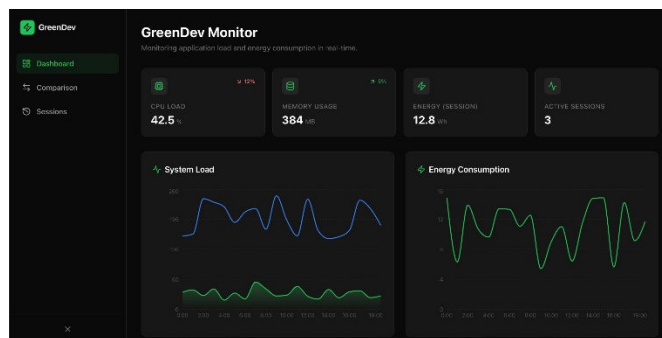


Figure 3 – Measurement sessions table with key metrics

The interface consists of three main pages: Dashboard (overview of metrics and real-time charts), Version Comparison (comparison of two versions of the application), and Session Details (detailed information about a specific session).

Table 1 – Technological stack of the prototype

Component	Technology
Backend	Java 17, Spring Boot 3.x
Database	PostgreSQL 15
Metrics collection	Java ProcessBuilder API
Frontend	HTML5, CSS3, JavaScript, Chart.js

The database includes three main tables: sessions (session metadata), metrics (detailed time series), and experiments (version comparison results). The metrics collection module launches the application under test as a child process and polls system counters (CPU, memory) every 1 second. Data are sent to PostgreSQL via REST API. After the session is finished, the energy calculation module aggregates metrics and computes estimated energy using the specified formula. The web interface is implemented in a dark color scheme with green accents in line with the Green IT concept. Charts are generated using the Chart.js library.

To evaluate the impact of optimizations on energy consumption and performance, an experiment was conducted using the AuthService Spring Boot web application. The methodology involved conducting a baseline measurement (v1.2.0), during which the application was subjected to load testing with 1000 sequential HTTP requests; identifying optimization points such as non-optimal SQL queries, redundant loops, and the absence of caching; implementing the optimizations in version v1.2.1-opt by adding database indexes, introducing Spring Cache, and replacing loops with Java parallel streams; performing a re-measurement of the optimized version; and finally carrying out a comparative analysis of the obtained results. The experiment results are presented in Table 2.

Table 2 – Comparison of metrics before and after optimization

Metric	Baseline	Optimized	Change (%)
Average CPU load, %	45.2	32.8	-27.4
Memory usage, MB	256	210	-18.0
Energy consumption, Wh	12.4	8.2	-33.9
Execution time, sec	187	162	-13.4

Optimization led to a 33.9% reduction in energy consumption with a simultaneous 13.4% performance improvement. The greatest effect was achieved through SQL query optimization (about 40% of the total energy savings), caching (30%), improved processing algorithms (20%), and elimination of redundant computations (10%). The results confirm that well-designed green optimization can simultaneously improve application performance and energy efficiency without significant trade-offs.

Conclusion. The developed GreenDev Monitor tool provides developers with a simple and visual mechanism for assessing application energy efficiency. The experimental study demonstrated the practical value of the tool: green optimization reduced energy consumption by 33.9% while improving performance by 13.4%. Future work includes integration with hardware profilers (Intel RAPL), expanding support for various platforms, and implementing automatic optimization recommendations. This work contributes to the development of the Green Software Engineering concept and can serve as a foundation for further research in the field of energy-efficient programming. The proposed approach also demonstrates that integrating energy-awareness into everyday development tools can become an important step toward more sustainable and environmentally responsible software systems.

References

1. National Center for Biotechnology Information. Green IT Meaning in Energy Monitoring Practices (2023) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9875191/>. – Date of access: 07.03.2026
2. IJFMR. Green Computing: Optimizing Algorithms for Energy Efficiency. International Journal For Multidisciplinary Research, 2025, Vol. 5 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.ijfmr.com/papers/2025/5/58349.pdf>. – Date of access: 07.03.2026
3. Scientific Research Publishing. Green Software Engineering: A Study on Energy-Efficient Design (2025) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=144329>. – Date of access: 07.03.2026
4. University of Twente. A comprehensive monitoring toolkit for energy consumption measurement (2025) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://research.utwente.nl/en/publications/a-comprehensive-monitoring-toolkit-for-energy-consumption-measure/>. – Date of access: 07.03.2026
5. Green-coding-solutions. Green Metrics Tool – Measure energy consumption (2022) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://github.com/green-coding-solutions/green-metrics-tool>. – Date of access: 07.03.2026

ENGAGEMENT ENGINEERING: THE ARCHITECTURE OF PSYCHOLOGICAL DEPENDENCE IN DIGITAL SYSTEMS

Malakhotkina E. A., Chesnakova E. V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Andreeva O.V. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. Nowadays modern digital entertainment, especially video games, goes beyond being just software. This paper examines the intersection of game design and data-driven algorithms in “Engagement Engineering” to create compelling experiences that may foster psychological dependence. Analyzing the psychological principles, technical methods and ethical issues, it argues for responsible engineering that balances user well-being with commercial goals.

Keywords: Engagement Engineering, game design, behavioral algorithms, psychological dependence, user retention, ethical design.

Introduction. In the contemporary digital landscape, the distinction between entertainment software and persuasive technology has become increasingly blurred. Video games and social platforms are considered to be complex systems architected to capture and hold user’s attention. This phenomenon is known as “Engagement Engineering”, an approach that merges behavioral psychology, user experience (UX) design, and data science. Its primary objective is to maximize key performance indicators such as daily active users and session length. Mechanisms that make game applications so compelling also possess significant potential to cultivate patterns of problematic use and psychological dependence. This paper aims to analyze how core psychological triggers are incorporated into codes and design, the impact of machine learning on user engagement, and social responsibilities of creators in these digital environments.

Main part. To understand the scope of these responsibilities, it is essential to analyse the psychological blueprint of engagement. The effectiveness of Engagement Engineering is based on its application of long-established behavioral principles. Central to this is the concept of operant conditioning, specifically the power of variable-ratio reinforcement schedules. When rewards – such as a rare in-game item, a loot box outcome, or a social media notification – are delivered unpredictably, they reinforce the preceding behavior most effectively. This concept is reflected in game mechanics such as random drops and gacha systems, creating repetitive actions in hopes of being rewarded next time. Moreover, game design is an artful manipulation of cognitive biases, making users more engaged and invested in the experience. The goal-gradient effect brings motivation to a peak when a user literally nears a visible achievement, and sunk cost fallacy recommends further investment to justify any money spent previously. These are all carefully designed user retention hooks. While extrinsic rewards are a critical piece of the equation, truly understanding engagement requires digging deeper into intrinsic motivation and can be considered within Self-Determination Theory (SDT). While the motivational prowess of video games is well documented, research has found that video games are uniquely able to meet basic psychological needs for competence and autonomy [1]. These foundational principles form a systematic toolkit for digital engagement (table 1):

Table 1 – Core Psychological Triggers and Their Digital Implementations

Psychological Principle	Technical Implementation in Digital Products	Primary Design Goal
Variable-Ratio Reinforcement	Random loot boxes, unpredictable critical hits, social media «pull-to-refresh».	To encourage repetitive checking and interaction through uncertainty.
Goal-Gradient Effect	Progress bars, experience points (XP), achievement systems, battle passes with tiers.	To increase engagement intensity as the user nears a completion milestone.
Social Obligation & Reciprocity	Guild/clan activities, team quests, gift systems, streaks shared with friends.	To utilize social pressure and community bonds to ensure regular return.
Fear of Missing Out (Loss Aversion)	Daily login bonuses, limited-time events, exclusive seasonal content.	To drive consistent daily interaction by framing inactivity as a loss.

The real-time, scalable power of these principles is unlocked through algorithmic implementation. Engagement systems have evolved from static rule sets into adaptive, learning environments through continuous data telemetry. This data feeds into player models, allowing the system to tailor the experience at an individual level. A key technique is Dynamic Difficulty Adjustment (DDA), where algorithms subtly modify challenge levels to prevent frustration or boredom, aiming to keep the user in a state of optimal flow [2]. Machine learning models are also deployed to identify the precise moment when a user is most likely to make a purchase or respond to a notification. This creates a powerful, self-optimizing feedback loop (figure 1).

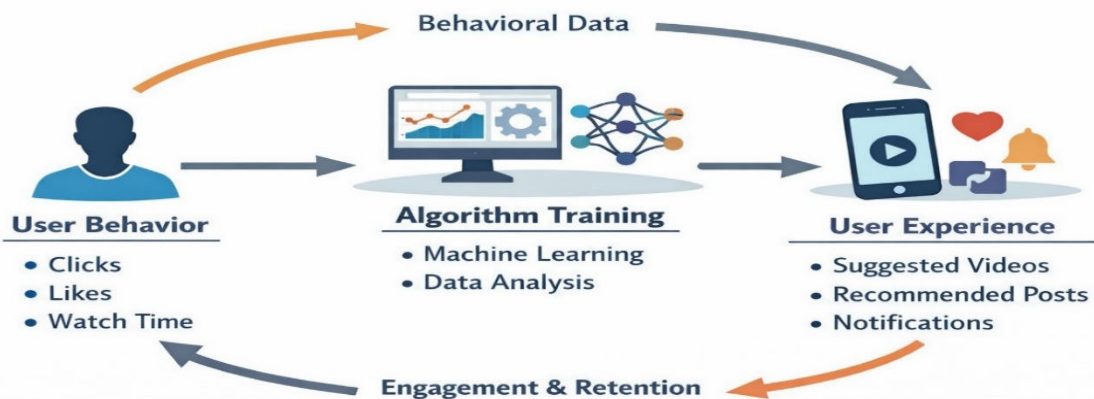


Figure 1 – Schematic of the closed feedback loop in Engagement Engineering, where user behavior trains algorithms that subsequently shape future user experience to increase retention

The user interacts with the system, generating behavioral data that refines the algorithmic model, which personalizes the environment to guide the user's future actions more effectively. The system learns, in real-time, how to better engage its user, a process formalized in models of habit-forming product design [3].

The formidable efficacy of this engineered loop shifts the focus from mechanism to consequence. However, this commercial success is accompanied by growing concern from health professionals. The World Health Organization's recognition of "Gaming Disorder" highlights the potential for severe negative outcomes, including significant impairment in personal and social functioning [4]. Software engineers face a profound ethical dilemma, as their tools can inadvertently contribute to harm. Users are rarely fully informed on the ways of modeling their psychology, and these systems may disproportionately affect vulnerable demographics. Engineering choice that prioritizes "engagement at all costs" must be reevaluated in favor of a balance that includes digital well-being. The future of ethical digital design lies in developing human-centric frameworks that promote healthy use – such as transparent disclosure of randomized item odds, meaningful usage timers, and spending limits – alongside research into algorithmic transparency and interdisciplinary collaboration to establish responsible design standards.

Conclusion. Engagement Engineering should be observed as a central ethical consideration of our time. The core challenge that engineers encounter is moving beyond the narrow paradigm focused solely on capturing attention. The future of the industry depends on a conscious shift towards human-centric design, where technical mastery in creating engaging products is linked with responsibility for their impact. The overarching aim must be to develop technologies that augment human autonomy and well-being, fostering a digital environment that adds value to our lives instead of extracting it.

References

1. Ryan, R. M., Rigby, C. S., & Przybylski, A. (2006). *The Motivational Pull of Video Games: A Self-Determination Theory Approach*. *Motivation and Emotion*, 30(4), 344-360.
2. Hunnicke, R. (2005). *The case for dynamic difficulty adjustment in games*. In *Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology* (pp. 429-433). New York: ACM.
3. Eyal, N. (2014). *Hooked: How to Build Habit-Forming Products*. New York: Portfolio Penguin.
4. World Health Organization (WHO). (2019). **International Classification of Diseases, 11th Revision (ICD-11)** [Electronic resource]. – Mode of access: <https://icd.who.int/en/>. – Date of access: 10.03.2026.

PROMPT ENGINEERING FOR IMPROVING FOREIGN LANGUAGE SKILLS OF TECHNICAL UNIVERSITY STUDENTS

Markovets D.Y., Pashkevich D.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I. V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article focuses on the use of prompt engineering as an effective tool for independent work on the formation of students' foreign language skills in the context of digitalization of education. With its help, learning a foreign language in a technical university is faster, more conscious and more enjoyable than with most standard services. A university graduate who knows the basics of interacting with generative AI will be competitive in the labor market and will be able to meet the demands of the digital economic ecosystem that is already being formed today.

Keywords: prompt, prompt engineering, foreign language skills.

Introduction. The most important tasks of teaching a foreign language in the conditions of a technical university are to teach students professional foreign language communication, to gain knowledge and to develop skills that allow future specialists to use a foreign language in their professional activities adequately. The main goal of independent work in terms of practical use of a foreign language is to achieve an appropriate level of foreign language communicative competence. This goal is achieved by using various types and forms of independent students' work in learning a foreign language in the educational process.

Students' independent work on improving their foreign language skills is carried out using textbooks and applications with the same exercises. Systematic work with these tools yields results, but the goals, level and real situations in which the language is used are rarely taken into account, plus a lack of time and inability to manage time properly lead to the fact that students reduce the effectiveness of independent study and consolidation of foreign language material. Neural networks are changing this approach. Unlike applications with a fixed programme, artificial intelligence adapts to the level of proficiency in a foreign language, takes into account the time that will actually be spent on consolidating the material, reacts to errors and questions at the moment, and creates a live practice rather than a set of exercises. The integration of artificial intelligence (AI) technologies into the educational process allows the use of prompt engineering in organizing regular and productive students' independent work to improve foreign language skills [4].

Main part. Prompt is a text description of a task that needs to be completed using an AI model. This is a query that is given to the model to generate text, images, code, or other types of content. However, there is an important caveat: the quality of training directly depends on the prompt [1]. With the help of well-formulated suggestions, AI can be turned into a personal teacher – for conversational practice, grammar and vocabulary, adapted specifically to a student's level of foreign language proficiency.

Prompt engineering is a process of creating efficient and accurate tools for working with large language models (LLM). It should be noted that the effectiveness and quality of the feedback received from generative AI depends on the student's ability to formulate a prompt correctly in order to solve a specific problem.

The experience of interacting with generative AI indicates that a low-quality prompt, as a rule, leads to the generation of superficial, inaccurate, or ethically unsafe information materials, which in turn contributes to discrediting the idea of using AI technologies in the educational process. Thus, it can be said that prompt engineering is being transformed from a highly technical skill into a fundamental competence, including the formation of communication skills for interacting with AI along with the development of critical thinking aimed at assessing the quality of the information generated and the expediency of its further use [3].

A library of prompts is a set of high-quality tools that can be used for teaching or testing a language model. The prompts in the library can be grouped by theme, style, or other parameters, making them easier to find and use. Using the prompt library allows us to speed up the process of

creating content using language models, and provides a more predictable result, since all requests have already been pre-checked. It should be considered that models are regularly updated and it will be useful to test the existing prompts on new versions [2].

We have collected the main top tips for learning a foreign language. This is not just a list of queries, but also a system of formulating prompts that allows you to train foreign language skills and gradually increase the level of a foreign language proficiency.

The basic constructor of a prompt when learning a foreign language looks like this: role → task → level/goal → format → restrictions/verification [5]. “You are [the role]. I'm learning [the language], + my level is [A2/B1], the goal is [studying at BSUIR/ speaking at a conference], the format is [dialogue/exercises], correct mistakes like this: [gently/severely], at the end is a mini-test”.

A big problem with foreign language self-training is the lack of structure. Today you learn a new group of words, tomorrow you learn new grammar rules, the day after tomorrow you learn nothing. The prompt solves the problem of structure (a kind of personal plan): “Make a 7-day study plan for the B2 level to study [insert topic]. I can practice for [X] minutes a day. Include exercises for monologue speech, listening comprehension, reading and writing, suitable for my level”. That prompt provides a clear starting point in language learning, helps to build regular training sessions and distribute the load between conversational practice, listening comprehension, reading and writing evenly, so that learning is not chaotic and one-sided.

Successful assimilation of professionally oriented vocabulary can be ensured with the help of the following prompt: “Give me 20 basic words on the topic [language] for everyday use. Divide them into categories (words, basic phrases, speech cliches), specify the pronunciation and check after”. Vocabulary is presented in semantic blocks immediately, indicating pronunciation and usage examples in context, and memorizing turns into active practice with verification, rather than passive reading of lists. You can ask: “Add examples of sentences” or “Do a multiple-choice test”.

The improvement of dialogue speech can be carried out with the help of a prompt, the “mock interview simulator”: “Behave like a friendly native speaker. Start a basic conversation with me. Ask one question at a time and correct all grammar mistakes in my speech”. This approach reduces the fear of making mistakes, turns learning into a real communication instead of a set of exercises, and provides gentle corrections immediately in the context of real communication, rather than in isolation from the situation.

Conclusion. Well-formulated prompts turn AI into a universal language coach – personal, patient and accessible at any time. Ignoring the need to develop prompt engineering skills at the present stage creates risks of professional lag in the future.

A university graduate who does not know the basics of interacting with generative AI will be uncompetitive in the labor market and will not be able to meet the demands of the digital economic ecosystem fully that is already being formed today. A student, a future engineer who knows the basics of prompt engineering, will be able to develop personalized communication tasks and training exercises with the help of AI independently to improve foreign language skills, generate ideas for discussion, optimize routine workload, for example, related to the need to work with documentation and electronic business correspondence, create projects in a foreign language, as well as receive analytical support from AI. This will allow him to continue using a foreign language in his professional activities successfully.

References

1. Generative art. Online course of Sberbank University. [electronic resource]. – Mode of access: https://courses.sberuniversity.ru/generative_art/img/13. – Date of access: 12.03.2026.
2. Google Prompt engineering Guide. Part 1: fundamentals and basic techniques [Electronic resource]. – Mode of access: <https://habr.com/ru/articles/901426>. – Date of access: 13.03.2026.
3. Gunina N. A. Prompt engineering as a pedagogical technology of teaching a foreign language // Editorial board: Gunina NA–Candidate of Philology, Associate Professor, Head of the Department «Foreign Languages. – 2025. – Mode of access: <https://www.tstu.ru/book/elib1/pdf/2025/Gunina2.pdf#page=113>. – Date of access: 13.03.2026.
4. Kuvshinova E. E. The use of artificial intelligence in teaching a foreign language // Humanities of the South of Russia. 2024. No. 2. – Mode of access: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-iskusstvennogo-intellekta-v-obuchenii-inostrannomu-yazyku>. – Date of access: 13.03.2026.
5. Lin Z. Prompt Engineering for Applied Linguistics: Elements, Examples, Techniques, and Strategies // English Language Teaching. 2024. Vol. 17. No. 9. P. 1-14. – Mode of access: <https://www.researchgate.net/publication/383056511>. – Date of access: 13.03.2026.

QUANTUM COMPUTERS: PRINCIPLES OF OPERATION AND PROSPECTS FOR APPLICATION

Melnikov I. M., Miatselitsa M. P.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Perevyshko A. I. - Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article is devoted to quantum computers. At the beginning, the reasons for their introduction are noted. Then much attention is given to the working principles of quantum computers. After that it is pointed out some examples of quantum algorithms. Next it is spoken about engineering challenges. At the end the future of quantum computing is emphasized.

Keywords: quantum computer, qubit, superposition, quantum entanglement, quantum algorithm, quantum gate.

Introduction. The growth of data volumes and computational complexity have pushed classical computers to their limits, making problems in cryptography, drug discovery, and optimisation intractable for conventional architectures. Quantum computers exploit quantum mechanical phenomena to perform calculations that would take classical supercomputers millions of years. Since Feynman proposed quantum computation in 1982 [1] and Shor demonstrated a polynomial-time factorisation algorithm in 1994 [2], the field has grown dramatically, attracting worldwide investment from governments and academia.

Main part. The fundamental unit of quantum information is the qubit (quantum bit). Unlike a classical bit, which can exist only in state 0 or 1, a qubit can exist in a superposition of both states simultaneously. Mathematically, the state of a qubit is written as $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$, where α and β are complex probability amplitudes satisfying $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$. Upon measurement, the qubit collapses to state $|0\rangle$ with probability $|\alpha|^2$ or to $|1\rangle$ with probability $|\beta|^2$. A quantum register of n qubits can represent 2^n states simultaneously, providing an exponential increase in information space compared with classical registers [3].

A second key resource is quantum entanglement. When two or more qubits are entangled, the measurement outcome of one qubit instantaneously determines the state of its partners, regardless of the physical distance between them. Entanglement enables quantum computers to process correlated information in ways that have no classical analogue and is essential for quantum teleportation and superdense coding protocols [4].

Quantum interference is the third pillar of quantum computation. Quantum algorithms are designed so that computational paths leading to wrong answers interfere destructively (their amplitudes cancel), while paths leading to correct answers interfere constructively (their amplitudes add). This mechanism is what allows quantum algorithms to find correct answers with high probability using far fewer steps than brute-force classical search [3].

Quantum computation is most commonly described using the circuit model, which is analogous to classical Boolean circuits. Operations on qubits are performed by quantum gates – unitary transformations represented by matrices. The single-qubit Hadamard gate (H) creates an equal superposition of $|0\rangle$ and $|1\rangle$, forming the starting point of many quantum algorithms. The Pauli-X gate acts as a quantum NOT gate, flipping $|0\rangle$ to $|1\rangle$ and vice versa. The phase gate S introduces a relative phase of $\pi/2$ between the basis states [5].

Two-qubit gates enable entanglement. The Controlled-NOT (CNOT) gate flips the target qubit if and only if the control qubit is in state $|1\rangle$. Together with single-qubit rotations, the CNOT gate forms a universal set, meaning that any unitary operation on an arbitrary number of qubits can be approximated to any desired accuracy using only these elementary gates [5]. This universality is the quantum counterpart of classical NAND universality.

Shor's algorithm for integer factorisation is among the most celebrated quantum algorithms. It runs in polynomial time $O((\log N)^3)$, an exponential improvement over the best known classical algorithm, the general number field sieve [2]. Because the security of RSA encryption rests on the hardness of factorisation, a fault-tolerant quantum computer executing Shor's algorithm would render

current public-key infrastructure obsolete, motivating intensive research into post-quantum cryptography.

Grover's algorithm provides a quadratic speedup for unstructured database search, reducing the number of queries from $O(N)$ classically to $O(\sqrt{N})$ quantumly [6]. Although a quadratic rather than exponential gain, it has broad applicability: it can accelerate any classical algorithm whose inner loop reduces to a search over N possibilities. Applications include satisfiability problems, collision finding in hash functions, and combinatorial optimisation.

The Variational Quantum Eigensolver (VQE) and the Quantum Approximate Optimisation Algorithm (QAOA) are hybrid classical-quantum algorithms designed for near-term devices. VQE estimates the ground-state energy of molecular Hamiltonians and is directly relevant to drug design and catalyst discovery; QAOA targets combinatorial optimisation problems such as portfolio balancing and traffic routing [7].

Several physical platforms are currently being explored for realising qubits. Superconducting qubits, based on Josephson junctions cooled to millikelvin temperatures, are the approach used by IBM, Google, and Rigetti. In 2019, Google's 53-qubit Sycamore processor performed a specific sampling task in 200 seconds that was estimated to require 10,000 years on the then-best classical supercomputer, a milestone described as achieving quantum computational advantage [8].

Trapped-ion systems confine individual atomic ions using electromagnetic fields and manipulate their internal electronic states with laser pulses. IonQ and Quantinuum utilise this technology, which offers higher gate fidelities and longer coherence times than superconducting qubits, albeit at slower gate speeds. Photonic qubits encode information in the quantum states of individual photons and are attractive for room-temperature operation and optical networking [9].

The primary obstacle to practical quantum computation is decoherence: unwanted interactions between qubits and their environment cause quantum states to degrade, introducing errors. Quantum error correction (QEC) codes, such as the surface code, can protect logical qubits from physical errors, but require roughly 1,000 physical qubits per logical qubit at current error rates, making large-scale fault-tolerant systems a long-term engineering challenge [10].

Despite these challenges, progress is accelerating. The NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum) era, characterised by devices with 50–1,000 qubits without full error correction, is expected to demonstrate practical quantum advantage for specific industrial problems within this decade. Quantum simulation of chemical and biological systems is considered the most near-term application, promising breakthroughs in personalised medicine and the discovery of new materials for batteries and superconductors [7].

Conclusion. Quantum computers exploit superposition, entanglement, and interference to solve specific computational problems with an efficiency unattainable by classical machines. Significant engineering obstacles – chiefly decoherence and the overhead of error correction – must still be overcome before fault-tolerant quantum computing becomes a reality, yet the field is advancing rapidly. Near-term NISQ devices already offer platforms for hybrid quantum-classical algorithms with concrete applications in chemistry, optimisation, and machine learning. In the longer term, fault-tolerant quantum computers are expected to transform fields as diverse as cryptography, logistics, financial modelling, and artificial intelligence, making quantum computing one of the most strategically significant technologies of the 21st century.

References

1. Feynman R.P. *Simulating physics with computers* // *International Journal of Theoretical Physics*. – 1982. – Vol. 21. – P. 467–488.
2. Shor P.W. *Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer* // *SIAM Journal on Computing*. – 1997. – Vol. 26. – P. 1484–1509.
3. Nielsen, M. A. *Quantum Computation and Quantum Information* / M. A. Nielsen, I.L. Chuang – Cambridge University Press, 2010. – 704 p.
4. Einstein A., Podolsky B., Rosen N. *Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?* // *Physical Review*. – 1935. – Vol. 47. – P. 777–780.
5. Barenco A. et al. *Elementary gates for quantum computation* // *Physical Review A*. – 1995. – Vol. 52. – P. 3457–3467.
6. Grover L.K. *A fast quantum mechanical algorithm for database search* // *Proceedings of the 28th ACM Symposium on Theory of Computing*. – 1996. – P. 212–219.
7. Preskill J. *Quantum computing in the NISQ era and beyond* // *Quantum*. – 2018. – Vol. 2. – P. 79.
8. Arute F. et al. *Quantum supremacy using a programmable superconducting processor* // *Nature*. – 2019. – Vol. 574. – P. 505–510.
9. Krantz P. et al. *A quantum engineer's guide to superconducting qubits* // *Applied Physics Reviews*. – 2019. – Vol. 6. – P. 021318.
10. Fowler A.M. et al. *Surface codes: Towards practical large-scale quantum computation* // *Physical Review A*. – 2012. – Vol. 86. – P. 032324.

LI-FI – WIRELESS DATA TRANSMISSION USING LIGHT

Mischenko U.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovich I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article explores Li-Fi (Light Fidelity) as an innovative wireless communication technology using light waves for data transmission. It explains Li-Fi's principles based on LED modulation, compares it with traditional Wi-Fi, and highlights advantages such as high speed, security, and low electromagnetic interference. Limitations and potential applications in healthcare, aviation, education and smart infrastructure are also discussed.

Keywords. Li-Fi, wireless communication, LED modulation, high-speed data transmission.

Introduction. The rapid development of digital technologies has significantly increased the demand for faster and more reliable wireless communication systems. At present, Wi-Fi remains the primary means of wireless Internet access. However, the growing number of connected devices leads to network congestion and reduced transmission speeds. Furthermore, radio frequency (RF) communication may cause interference in sensitive environments such as hospitals and aircraft cabins.

In this context, Li-Fi (Light Fidelity) has emerged as a promising alternative. The term was first introduced by Professor Harald Haas in 2011, when he demonstrated the possibility of transmitting data using visible light. Li-Fi belongs to the field of Visible Light Communication (VLC) and represents a new stage in the evolution of wireless networking technologies.

Main part. Li-Fi is part of Visible Light Communication (VLC) technology and can be considered an important stage in the development of modern wireless networks. The operating principle of Li-Fi is based on the rapid modulation of light intensity. LEDs can switch on and off millions of times per second, and these changes are invisible to the human eye. By encoding binary data into light pulses, information can be transmitted from a light source to a receiving device equipped with a photodetector. The photodetector converts variations in light intensity into electrical signals, which are then processed into digital data.

The communication process in a Li-Fi system typically includes three main components: a light source (LED lamp), a driver circuit that modulates the signal, and a photodetector receiver. The driver circuit controls the LED's intensity according to the data being transmitted. When the LED is switched on, it represents a binary "1"; when it is switched off, it represents a binary "0". In more advanced systems, complex modulation techniques such as Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) are used to increase data transmission rates and improve reliability [1].

Unlike Wi-Fi, which functions within the radio frequency (RF) spectrum, Li-Fi operates in the visible light spectrum, ranging from approximately 400 to 800 terahertz. The visible spectrum is nearly 10,000 times broader than the entire RF range. This creates a clear advantage in terms of available bandwidth and helps minimize the risk of network congestion. As the number of connected devices worldwide continues to increase, the RF spectrum becomes more saturated. Li-Fi provides a possible solution by extending wireless communication into a new and largely untapped part of the spectrum.

Another notable advantage of Li-Fi is its high data transmission rate. Under laboratory conditions, data transmission speeds of several gigabits per second have been achieved. Such capabilities make Li-Fi appropriate for high-definition video streaming, virtual reality systems, and the transfer of large volumes of data. Even in real-world applications, Li-Fi technology can deliver speeds comparable to, and sometimes exceeding, those of conventional Wi-Fi networks.

Recent experimental studies have demonstrated that Li-Fi systems can achieve data transmission rates exceeding 10 Gbps under controlled laboratory conditions. Such performance is enabled by advanced modulation techniques and parallel transmission using multiple LED arrays. These findings suggest that Li-Fi has the potential to compete with, and in certain scenarios surpass, existing high-speed wireless communication technologies.

Security is also considered one of the main strengths of Li-Fi technology. Because visible light cannot pass through solid barriers such as walls, the signal remains limited to a specific room or enclosed space. This natural restriction improves data protection and lowers the risk of external interception. For organizations that work with confidential information, including financial institutions and government bodies, Li-Fi can serve as an additional level of cybersecurity protection.

Li-Fi is especially valuable in environments where the use of radio frequency communication is limited or considered unsafe. For example, in hospitals, RF signals may interfere with sensitive medical devices and monitoring systems. In the military sector, Li-Fi can be particularly beneficial due to its enhanced security and minimal risk of signal interception. Since Li-Fi relies on visible light rather than radio waves, it does not create electromagnetic interference, which makes it suitable for use in such sensitive conditions. In addition, industrial facilities and power plants can benefit from Li-Fi technology, as it enables stable communication without negatively affecting electronic equipment [2].

Another important advantage of Li-Fi is its energy efficiency. LED lighting systems are already widely used due to their low power consumption and long lifespan. By integrating Li-Fi into existing LED infrastructure, lighting systems can also simultaneously function as wireless data transmitters. This dual functionality reduces the need for additional equipment and helps lower installation costs. Moreover, such integration contributes to sustainable development initiatives. In smart buildings and smart cities, streetlights equipped with Li-Fi modules could provide internet access while still performing their primary lighting function.

Despite its significant potential, Li-Fi technology also faces several challenges. One of the main limitations is the requirement for a direct or reflected line of sight between the transmitter and the receiver. Any physical object placed between them can block the signal and disrupt communication. In addition, Li-Fi performance may be influenced by strong ambient light sources, especially direct sunlight, which can decrease signal quality. Researchers continue working on improving system stability and ensuring reliable operation under different environmental conditions.

Mobility is another issue to consider. Unlike Wi-Fi networks, which allow users to move freely between rooms and coverage areas, Li-Fi systems may need multiple light sources to maintain continuous connectivity. This may increase infrastructure complexity as well as overall costs. Furthermore, Li-Fi cannot operate when the light source is completely switched off, although communication remains possible when the light is dimmed to a low intensity.

Li-Fi has numerous potential applications in various sectors. In healthcare institutions, it can provide secure communication without interfering with medical equipment. In aviation, the technology may be used for in-flight entertainment and onboard internet systems. Educational institutions could benefit from smart classrooms where LED lighting offers high-speed connectivity. Beyond these examples, Li-Fi may also play an important role in the development of smart cities, underwater communication, and modern industrial automation.

Conclusion. Li-Fi represents an innovative approach to wireless data transmission by using visible light instead of radio waves. This technology has significant advantages such as high speed, security, reduced interference, and energy efficiency. At the same time, problems such as limited range and line-of-sight requirements must be solved for widespread implementation.

Li-Fi has significant potential to complement existing wireless technologies rather than replace them entirely. As research and technological development continue, Li-Fi may become an essential component of next-generation communication networks, contributing to faster, more secure and more sustainable digital connectivity.

References

1. Technology details of Li-Fi. [Electronic resource] / Wikipedia., 11.06.2025. – Mode of access: <https://en.wikipedia.org/wiki/Li-Fi> / Date of access: 02.03.2026.
2. Преимущества технологии Li-Fi и где их можно использовать [Electronic resource] / Хабр, 14.03.2023 Mode of access: <https://habr.com/ru/articles/722174/> / Date of access: 02.03.2026.

FROM ALERTS TO ACTION: AI AGENTS IN MODERN SECURITY OPERATIONS

Nasevich A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Malikova I.G. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. With the rapid growth in telemetry volume, as well as the creation of new and increasingly sophisticated cyber threats, security operations centers (SOCs) are facing the problem of alert overload and reduced operational efficiency. This article examines the main architectural causes of this problem and analyzes the possibility of introducing AI agents into the SOC infrastructure. It describes the SOC architectural model in which AI agents have been implemented, as well as their advantages and limitations.

Keywords: AI agents, cybersecurity, security operation center, alert fatigue, artificial intelligence.

Introduction. Due to the rapid development of information technology, cloud services, and distributed information systems, the nature of cybersecurity has changed significantly in recent years. Data comes from antivirus software, intrusion detection systems, and other monitoring systems. As a result, security operations centers (SOCs) have to process alerts almost continuously. Not all of these alerts indicate real threats; a significant portion of them are false positives and lead to a serious problem known as alert fatigue, which in turn can cause analysts to miss critical incidents. Traditional security systems based on rules and manual monitoring often prove outdated in the face of rapidly evolving cyber threats, including those that use artificial intelligence. Therefore, cybersecurity operations require more adaptive, modern, and intelligent approaches [3].

One of the most promising solutions is the use of artificial intelligence agents in security centers [1].

Main part. Modern security monitoring centers use Security Information and Event Management (SIEM) platforms that centralize telemetry from various sources [4]. These sources can include cloud services, access control systems, servers, etc. The system generates alerts based on predefined rules, behavior and pattern analysis, and anomaly detection algorithms.

As digital infrastructure grows, the number of connected services and devices increases, with each new component adding data for processing. In large companies, the number of alerts can reach tens of thousands per day, with only a small fraction of them related to actual incidents. False positives require manual verification by level 1 analysts, and the constant processing of insignificant information increases the time to detect (MTTD) and respond (MTTR).

From an engineering perspective, the problem is a scaling imbalance: the volume of telemetry is growing very rapidly due to digital transformation, while SOC analytical resources are increasing at a slower rate. This creates a systemic bottleneck and leads to longer queues for event processing. As a result, the SOC is shifting from a proactive defense model to a reactive one, where the response occurs after an incident has already started or developed. Therefore, the problem of alert overload should be viewed as a systemic design problem that requires certain architectural changes.

The implementation of AI agents in SOC architecture significantly improves the efficiency of security incident handling [1]. Unlike standard methods, AI agents analyze data in context, are more flexible, and are able to adjust and adapt to changes in infrastructure.

The SOC architecture into which AI has been implemented is divided into several levels [4].

At the data level, telemetry from various sources, such as servers and cloud services, is processed.

At the analytical level, certain anomaly detection algorithms are applied, such as Isolation Forest and autoencoders. UEBA behavioral algorithms and graph neural networks (GNN) are also used.

At the orchestration level, AI agents can autonomously execute response scenarios, such as account blocking or node isolation.

At the same time, the analyst does not lose control of the situation; they perform the final verification and make the final decisions in a typical scenario (human-in-the-loop mechanism). Thus,

an AI-based SOC is a hybrid model where automation speeds up data processing and humans provide strategic control.

The use of AI agents in SOC's significantly improves the operational efficiency of security monitoring centers.

First, it reduces the time to detect and respond to incidents (MTTD and MTTR) [4]. Automatic prioritization and pre-processing of alerts reduces the burden on people and speeds up the escalation of critical events.

Second, it increases the scalability of the system; automation reduces the SOC's dependence on staffing levels, allowing monitoring to be scaled without hiring new employees [3].

Third, it reduces the number of false positives; machine learning models adapt to specific infrastructure and accurately distinguish between normal activity and potential threats.

As a result, fewer employees perform the same amount of work as in traditional security systems and can focus on more cognitively complex tasks, such as searching for hidden threats and investigating incidents. However, the effectiveness of AI implementation must be assessed taking into account the associated risks.

First, the accuracy of the models depends on the quantity and quality of the training data [2]. If the data contains errors or is insufficient, the agent may not work correctly, for example, it may miss an important attack.

Second, there are risks of adversarial attacks (notably data poisoning and evasion attacks), which can lead to classification errors that allow the security system to be bypassed [2].

Similarly, excessive automation without the necessary level of human control can lead to critical response errors.

Conclusion. Thus, the implementation of AI agents requires not only technical configuration, but also a robust control system with audit and control mechanisms.

The growth of digital infrastructures and the increase in cyber threats require a modernized approach to SOC operations.

Traditional systems based solely on rules cannot cope with the growing volume of data and number of alerts. The integration of AI agents makes it possible to increase the speed and quality of monitoring, improve the incident prioritization system, reduce the number of level 1 analysts, and reduce the workload on the rest. At the same time, this implementation must be consistent and accompanied by quality control, risk management, and the preservation of the leading role of humans.

AI agents should be viewed as analytical tools within the human-in-the-loop model. The most promising approach is a hybrid SOC model, in which automation only speeds up data processing, while specialists provide strategic control and analysis of complex situations.

References

1. *AI Agent Trends 2026 Report [Electronic resource].* Mode of access: <https://cloud.google.com/resources/content/ai-agent-trends-2026>. Date of access: 27.02.2026.
2. Maslej N., Fattorini L., Perrault R., Gil Y., Parli V., Kariuki N., Capstick E., Reuel A., Brynjolfsson E., Etchemendy J., Ligett K., Lyons T., Manyika J., Niebles J. C., Shoham Y., Wald R., Walsh T., Hamrah A., Santarlasci L., Lotufo J. B., Rome A., Shi A., Oak S. (2025) *Artificial Intelligence Index Report 2025. Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, Stanford University [Electronic resource].* Mode of access: <https://hai.stanford.edu/ai-index/2025-aiindex-report>. Date of access: 02.03.2026.
3. Milošević D., Abedi A., Acero A., Ahamed S. I. et al. (2026) *Technology Predictions 2026. IEEE Computer Society [Electronic resource].* Mode of access: <https://ieeecs-media.computer.org/media/tech-news/tech-predictions-report-2026.pdf>. Date of access: 03.03.2026.
4. Mohsin A., Janicke H., Ibrahim A., Sarker I. H., Camtepe S. (2025) *A Unified Framework for Human-AI Collaboration in Security Operations Centers with Trusted Autonomy [Electronic resource].* Mode of access: <https://arxiv.org/abs/2505.23397>. Date of access: 05.03.2026.

ENEMY OR COLLABORATOR? THE IMAGE OF AI AND NEW TECHNOLOGIES IN ENGLISH-LANGUAGE ART JOURNALS

Petrenko D.A., Makaruk P.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yushkevich E.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper investigates the reshaping of contemporary art through artificial intelligence, rejecting simplistic claims of technological displacement. By analyzing discussions in major art journals and applying theoretical models it reveals the adaptation of artists and cultural institutions to AI integration. The analysis traces the shift from artist to system architect, highlights institutional pressures from digital platforms, and confronts fundamental questions about aesthetic value. Drawing on current debates about socio-technical imaginaries, the argument centers on the necessity of critically engaging with power dynamics in AI deployment – ensuring that human agency endures within cultural creation.

Keywords: artificial intelligence; contemporary art; post-AI; art of protocol; museums; aesthetic value; human agency; algorithmic culture; socio-technical imaginaries; digital institutions.

Introduction. The intersection of art and emerging technology, particularly artificial intelligence, remains fraught with ambiguity. While early enthusiasm in major English-language art publications centered on AI's capacity to produce visual works, that fascination has evolved into a deeper inquiry: can algorithmic systems supplant human artistic expression?

Publications like *ArtReview* reflect this complexity by assembling diverse voices – artists, theorists, and critics – engaged in sustained dialogue about the implications of a post-AI artistic condition. These exchanges move beyond the reductive narrative of machine versus maker. Instead, they confront how technological transformation redefines authorship, intention, and value.

Artists today are no longer passive consumers of AI tools. Many have taken active roles in shaping these systems – designing custom models or adapting algorithms to achieve specific aesthetic outcomes. Their work pushes boundaries that were previously unattainable. Yet underlying this technical engagement is a profound question: when anyone can generate an image from a brief textual prompt, what does it mean to be an artist?

This shift extends beyond creators to those who mediate and present art. Institutions once defined artistic legitimacy through curated exhibitions and institutional authority. That authority now faces competition from digital platforms where visibility is determined by algorithmic logic rather than curatorial selection. The result is not just changing access but divergent evaluations within professional circles – some embracing the new terrain while others reject it as a dilution of artistic integrity.

Main part. The term itself now serves as a threshold, not a conclusion. At the pivotal *ArtReview* roundtable, figures like Avery Singer, Simon Denny, Holly Herndon, Mat Dryhurst, and Jon Rafman questioned whether the era of simply responding to AI's emergence had truly passed [1]. For Matt Dryhurst, the core issue lies in AI's elusiveness: it operates as a concept “even more slippery than the internet.

The implications redefine artistic practice. Dryhurst and Herndon advance “the art of protocol” as a framework: genuine creativity in this century doesn't begin with a single image but with constructing systems capable of endless variation. As Dryhurst puts it, “Art happens when an agent establishes rules or boundaries.” Here, the artist functions not just as creator but as architect – designing the underlying logic that shapes what emerges from platforms and algorithms.

Yet this view demands deeper scrutiny. Recent arguments in *The Journal of Aesthetics and Art Criticism* challenge the idea that mass-produced AI art – generated by non-specialists using basic prompts through tools like DALL-E – can bear full aesthetic weight beyond formal qualities. Unlike earlier procedural systems such as AARON by Harold Cohen, where intention was woven into code, these outputs deliver results that feel more mechanical than meaningful. They resemble artifacts shaped by process rather than vision – proximate to objects but distant from traditional notions of art.

If Dryhurst defines the artist's role as crafting protocols, philosophical critique insists that the protocol and its outcome are not interchangeable. The artist emerging in the post-AI era does more than configure algorithms – she restores agency to the creative sequence of permeation, generation, and selection, transforming mass-produced AI output into work that carries genuine intention.

If artists redefine their practices around protocols, the institutions that exhibit their work face a fundamental challenge from the new technological landscape. In another article, ArtReview Alistair Hudson argues that new «technology-driven institutions», such as the Outernet in London or teamLab Planets in Tokyo, attracting huge crowds, directly challenge the authority of traditional museums [2]. This creates a visible division between the «popular» appeal of immersive digital spectacles and the integrity of the traditional museum. However, Hudson argues that this opposition is more untenable. He calls for a new model, a more flexible, responsive, and technologically integrated form of institution.

This situation creates a deep divide in the museum community. On one hand, traditional institutions often respond to the challenge of rhetoric of «critical exceptionalism», contrasting their intellectual depth with that of new players' «superficial spectacle». However, Hudson convincingly argues that this opposition is more untenable. The world is no longer divided into «elitist» and «mass», «critical» and «entertainment» – these categories have collapsed under the pressure of a post-digital reality, where every viewer is both a consumer and a content producer.

Moreover, pressure on the museum model comes not only from outside but also from within. Academic research captures the fundamental transformation of institutional roles. In 2025, a group of researchers at ScienceDirect proposed a typology of «socio-technical imaginaries» for AI in museums, highlighting four development scenarios: «Infinite Canvas», «Smart Keeper», «Abolished Curator», and «Open Archive» [3].

This study highlights that AI integration is not a neutral technological upgrade, but the field of intense struggle between different visions of future cultural heritage. The choice of a scenario is a decision that determines whether a museum remains a place of expertise or becomes a platform for user experience.

Conclusion. The portrayal of AI in English-language art journals has evolved beyond binary oppositions. No longer depicted as a mechanized threat poised to annihilate creative expression, nor celebrated as a mystical tool that effortlessly elevates artistic output, the discourse now centers on nuance. AI appears as an influential partner – capable, but not self-determining – demanding renegotiation of the conditions under which it operates.

Artists must now engage with technical infrastructure not only as creators but as designers of systems and protocols, confronting ethical sourcing of training data and redefining authorship in shared workflows. Museums, in turn, are being pushed to abandon their traditional identity as static repositories. Their function shifts toward adaptive, interactive spaces capable of mediating the fragmented realities of contemporary art production.

The central challenge is no longer whether AI belongs in the artistic process – hostile or helpful – but how control over its deployment is structured. Jon Rafman observes that governance around AI remains ambiguous, with existing legal and corporate models – copyright regimes, proprietary access – often reinforcing dominant structures.

These frameworks can silence emerging or non-conformist voices. Artistic critique must therefore persist in questioning power imbalances, resisting passive acceptance of algorithmically shaped narratives. The image of AI in culture should not be passively rendered by code; it must be actively contested and redefined through human judgment and critical practice.

References

1. What Is Post-AI Art? [Electronic resource]. – Mode of access: <https://artreview.com/what-is-post-ai-art-avery-singer-simon-denny-holly-herndon-mat-dryhurst-jon-rafman/>. – Date of access: 19.02.2026.
2. How New Technologies Are Contesting the Museum Model [Electronic resource]. – Mode of access: <https://artreview.com/how-new-technologies-are-contesting-the-museum-model/>. – Date of access: 30.01.2026.
3. The role of AI in museums' journey towards sustainable development: Socio-technical imaginaries of a cultural and organizational transformation [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166497225001129>. – Date of access: 28.02.2026.

THE PROBLEM OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN IT INTERVIEWS

Pleskatsevich V.A. Panteleev N.A

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Perevyshko A.I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper examines the problem in the selection of IT staff caused by the use of artificial intelligence by candidates during online interviews and when performing test tasks. The article analyzes a situation when a person looks like an expert at the hiring stage, but without the help of neural networks he cannot cope with basic tasks. The article suggests practical ways to change the selection process that will help companies test the real knowledge of specialists.

Keywords: IT industry, artificial intelligence, job interviews, AI, fundamental skills, IT recruiter

Introduction. The IT job market is facing a completely new challenge. The software development industry is undergoing massive changes due to the introduction of artificial intelligence. The widespread use of tools like ChatGPT and GitHub Copilot has significantly accelerated the execution of everyday tasks. For example, a study conducted by Microsoft and GitHub experts found that programmers who use AI assistants complete tasks 55.8% faster on average than their counterparts who rely on traditional methods. It would seem that such an increase in productivity should bring a lot of benefits to the industry. However, in practice, this technological breakthrough has caused a deep management crisis in the hiring process. While a few years ago, interviewers were trying to figure out what a candidate knew, now their main task is to determine whether the skills they claim to have are real. As artificial intelligence becomes more widely available, there is an alarming trend.

Main part. Candidates most often use artificial intelligence in interviews in two ways. Some secretly peek at neural network prompts on the second monitor right during an online interview. Others simply instruct the algorithms to fully generate the code for the test tasks. As a result, the company hires a new employee based on his ideal knowledge, which does not correspond to reality. This situation hides the gap between what the candidate has shown and his skills in practice. When a novice developer comes to his first internship at an IT company, he gets tasks that cannot be solved by simple copying. Real-world development always requires immersion in the specific context of the project.

To understand the essence of the problem, we need to figure out how beginners cheat the system using neural networks. The traditional methods of candidate screening are now «broken» at all stages.

The biggest impact was on homework assignments. Historically, this format has been considered the gold standard for evaluating the Junior and Middle levels of professionals. Companies would give a large assignment to see how a person wrote code. However, this no longer works. Neural networks like ChatGPT can write perfect code in just 10 minutes. As a result, someone with no experience brings in a completed project that was actually created by AI.

Even video calls no longer guarantee honesty. There are programs that listen to an interviewer's question, send it to a neural network, and display the answer on a nearby screen. A company hires a person because they are confident in their expertise, but the gap between generated code and real engineering thinking becomes apparent in the first few days of the internship.

Let's take database design, for example. When completing a test assignment at home, a candidate can use AI to write an impeccable SQL query full of complex views and triggers. The employer looks at the code and believes they have found an excellent specialist. However, when asked to design a simple data structure from scratch in the office, the same trainee becomes lost. They struggle to properly normalize tables and achieve at least the third normal form (3NF), and become confused about simple join operations (JOIN). As a result, the intern is unable to explain the logic behind the code that he supposedly wrote a week ago.

Exactly the same pattern can be observed in programming. The person sends the employer a beautiful structured code. Then a non-standard error occurs in the production environment. Neural

networks often cannot find such specific bugs. And since the developer doesn't really understand the algorithms of his own code, he can't fix it manually.

Table 1 clearly shows what companies expect and what they actually get when hiring candidates who abuse the prompts of algorithms.

Table 1 – Comparison of demonstrated and actual competencies of candidates

Tested skill	Demonstration using AI (selection stage)	Reality without AI (probably period)
Code writing	Impeccable syntax, modern design patterns	Complete misunderstanding of the logic of the algorithm; inability to find a bug without a development environment
Database	Generated complex SQL queries	Misunderstanding of the logic of relationships between tables; inability to design a basic schema
Problem solving	Instant, optimized solutions to test tasks	Work stoppage when faced with a bug; inability to find solutions on their own

The cost of this problem is huge. Companies spend months searching for a candidate, paying salaries, and wasting the time of experienced employees who act as mentors. All of this becomes meaningless when a new employee eventually has to be fired.

The psychological side of this problem is just as alarming as the technical side, as excessive reliance on neural networks during the learning process sets up a time bomb for the future career. Researchers from the ACM Association warn that reliance on artificial intelligence critically reduces students' ability to solve problems independently. This is supported by the work of Yilmaz & Yilmaz, who found that blindly copying AI code deprives programmers of self-confidence, as they do not gain personal experience in overcoming errors. As a result, he can't explain the logic behind the code he submitted for review, and any follow-up question from an experienced colleague causes him to panic.

Solving this problem requires a complete overhaul of how the industry conducts interviews. Companies must accept the fact that coding is no longer an exclusive human skill. Artificial intelligence is now doing it. Therefore, the process of evaluating candidates must shift towards testing their architectural and algorithmic thinking.

First, companies need to completely abandon test homework assignments. Their results no longer reflect a person's real abilities. Second, classic algorithm writing tasks should be replaced with the Code Review format. A candidate is given a ready-made but obviously vulnerable or confusing piece of code generated by a neural network. The engineer's task is to find errors, explain them, and suggest solutions. This directly tests fundamental skills and the ability to read someone else's code.

Conclusion. This article shows how neural networks are disrupting the traditional hiring process. The rapid development of large language models has irreversibly transformed the IT market, breaking down the traditional, time-tested mechanisms of hiring specialists. The uncontrolled use of neural networks by candidates without work experience creates a dangerous illusion of qualifications. In order to maintain the high quality of the selection and minimize financial losses, companies should urgently modernize the formats of technical interviews. In the era of victorious artificial intelligence, the focus of recruiting should shift from evaluating written code to analyzing fundamental knowledge. Only by testing systems thinking and the ability to solve non-standard engineering problems will it be possible to identify specialists who will manage neural networks, and not just copy their answers.

References

1. Peng, S. *The Impact of AI on Developer Productivity: Evidence from GitHub Copilot* / S. Peng, E. Kalliamvakou, P. Cihon, M. Demirer // *arXiv preprint arXiv:2302.06590*. – 2023. – P. 1–18.
2. *The economic potential of generative AI: The next productivity frontier* / McKinsey & Company // *McKinsey Global Institute Report*. – 2023. – P. 15–28.
3. Becker, B. A. *Programming Is Hard-Or at Least It Used to Be: Educational Opportunities and Challenges of AI Code Generation* / B. A. Becker [et al.] // *Proceedings of the 54th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*. – 2023. – Vol. 1. – P. 500–506.
4. Yilmaz, R. *The effect of generative artificial intelligence (AI)-based tool use on students' computational thinking skills, programming self efficacy and motivation* / R. Yilmaz, F. G. K. Yilmaz // *Computers and Education: Artificial Intelligence*. – 2023. – Vol. 4, № 100147. – P. 1–12.

APPLICATION OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INFLUENCER MARKETING FOR INNOVATIVE PROJECTS

Pocherney M. S., Kuzmenkov M. S.

Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Andreeva O.V. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper aims to observe the innovative IT project “MuscleHustle” as an example of Generative Artificial Intelligence(GAI) that helps in solving marketing problem. The potential of virtual avatars in digital marketing is demonstrated. An approach for utilizing GAI in influencer marketing is introduced.

Keywords: influencer marketing, virtual avatars, innovative project, “MuscleHustle”, digital marketing

Introduction. The main challenge of innovative IT projects is a successful entering the market and attracting users. This marketing challenge requires significant financial investment and effort. Influencer marketing is currently a rapidly growing trend that will remain relevant in the future. Influencer marketing is characterized by its ability to establish a personal connection with the audience. Influencers typically position themselves as individuals who can be admired and trusted. Working with real influencers comes with risks such as inconsistency, scandals, and high fees. This creates a need for a scalable, cost-effective, and controllable marketing solution.

This paper aims to explore the issue of influencer marketing and propose its solution based on GAI, to describe the concept and planned implementation of a virtual avatar for influencer marketing in the project «MuscleHustle», and to analyze its potential for overcoming these marketing challenges.

Main part. Influencer marketing is a strategy for promoting brands and their products in the marketplace, based on collaboration with bloggers, celebrities, niche experts, and other leaders who have a large, loyal audience and are able to exert significant influence [1]. Influencers publish content recommending specific products and services. By leveraging the trust and authority of influencers, new trends that persuade the audience to purchase a product or service are created.

Influencer marketing is more effective than traditional marketing due to its ability to influence an audience. However, there are several risks associated with influencers’ work. In addition, instability and high costs are a negative factor for startups and innovative projects entering the market. Creating virtual influencer avatars is a solution to these problems. Unlike real influencers, virtual avatars require less investment, reduce customer acquisition costs, are easily scalable and controlled by the brand, and significantly simplify content production. This is especially relevant in the early stages of innovative projects, when budgets are limited and the need to quickly test hypotheses is high.

An example of Generative AI application in an innovative IT project is MuscleHustle. This is a marketplace for sporting goods and nutrition with a built-in recommendation system from self-employed users. To promote the project and increase conversion, an influencer marketing strategy was chosen, and a virtual avatar of the same name was created. MuscleHustle is a 45-50-year-old bodybuilder and nutritionist, who promotes a healthy lifestyle. The visual style is hyper-realistic, emphasizing muscularity. Prominent cheekbones, deep-set blue eyes, dark hair, and a metal forehead protector with the inscription “MuscleHustle” characterize its exterior, tailored to the specifics of the project. It is considered to be energetic, friendly, and engaging.

The concept of using this virtual avatar is to create short videos for social media, where MuscleHustle shares scientific facts based on official publications on sports nutrition with a touch of humor.

Creating a virtual avatar begins with defining the character’s concept. The next step is generating images and creating video content using generative AI. Nano Banana Pro, Grok, GPT mage, and Higgsfield Soul are recommended for image generation, while Kling, Grok, Sora 2, Google

Veo, and Seedance are recommended for video content generation. ElevenLabs or HeyGen are used for voice and text generation.

A generative-influenced marketing approach was launched using the Higgsfield AI platform. Higgsfield AI is an artificial intelligence platform for video and image generation.

First, you need to decide on the product that should be promoted through influencer marketing. Using imagination or neural network models, an avatar concept is created, including image, personality, and content themes. At Higgsfield AI, the avatar is created in the AI Influencer section. To create an avatar, you must enter a prompt describing the desired result.

After creating an influencer, the entourage is generated. In the Image section, a model, such as the Nano banana Pro or others, is selected. It should be kept in mind that too many objects around can degrade the quality of lip syncing and facial expressions. It is important to pay attention to the Prompt. You can use third-party resources like Grok or Deepseek to create a Prompt. These services help to describe what you want in Russian and ask them to create a Prompt in English to generate photos or videos for a specific model. The prompt for creating the MuscleHustle image is shown in Figure 1.

MuscleHustle avatar in a stylish black shirt and black trousers looking directly into camera, host a podcast in a luxury, state-of-the-art podcast studio that exudes prestige and trust. Warm cinematic lighting, premium acoustic panels, and professional microphones. In the background, behind a large floor-to-ceiling transparent glass wall, a brand new latest model Lamborghini Veneno is parked in a minimalist showroom. The atmosphere is sophisticated, high-end. 8k resolution, photorealistic, blurred studio background for depth, show focus on the person.

Figure 1 – Prompt for creating a virtual avatar

Audio generation occurs in the Video section by means of the feature called LipSync Studio. A pre-recorded voice can be uploaded or one of the pre-made options is chosen. Voice synthesis takes place in the Audio section. Using LipSync Studio, avatar's facial expressions are synchronized with the audio track and then it is combined with audio and video. The result of creating a virtual avatar for the innovative project is shown in Figure 2.



Figure 2 – Character creation result

It should be noted that virtual influencers can increase perceived usefulness, as consumers consider advice from advanced technology systems to be more objective, competent, and standardized than that provided by human experts [2].

Conclusion. This paper offers a solution to the marketing challenge of the innovative IT project «MuscleHustle» and a methodological plan for implementing a virtual avatar. «MuscleHustle» demonstrates the practical applicability of this technology.

Digital marketing has been significantly transformed due to the spread of GAI. This transformation demonstrates the potential of implementing virtual avatars. There is currently a strong trend towards the application of GAI in influencer marketing and digital marketing.

References

1. Marr B. How Online Influencers And Idols Are Using Generative AI [Electronic resource] // Forbes. – 2023. – 1 December. – Mode of access: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2023/12/01/how-online-influencers-and-idols-are-using-generative-ai/>. – Date of access: 01.03.2025.
2. Belanche D., Casaló L. V., Flavián M. Human versus virtual influences, a comparative study [Electronic resource] // Journal of Business Research. – 2024. – Vol. 173. – Art. 114493. – DOI: 10.1016/j.jbusres.2023.114493. – Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296323008524>. – Date of access: 01.03.2025.

CHILDREN VS. ALGORITHMS: EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF GLOBAL DEEPPAKE AND CONTENT MODERATION POLICIES IN 2026

Poltorak V.V., Chernyavskaya S.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yushkevich E.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper investigates the global regulatory response to AI-generated content risks targeting minors in 2026. Through analysis of legislative initiatives in the UK, EU, and Australia, the study evaluates the effectiveness of emerging policies against deepfakes, AI chatbots, and addictive platform design. The research examines the psychological impact of algorithmic content on children's wellbeing, the challenges of enforcement in the digital age, and the balance between protection and technological innovation. By reviewing recent regulatory actions, parliamentary documents, and empirical data from 2025-2026, the paper provides insights for policymakers, technology companies, and researchers on safeguarding minors in an increasingly AI-mediated online environment.

Keywords: deepfake regulation, child online safety, content moderation, AI chatbots, algorithmic addiction, age verification, Digital Services Act, Online Safety Act.

Introduction. The expansion of generative artificial intelligence tools has substantially altered the digital environment occupied by children and adolescents. Within a relatively short period, what initially appeared as experimental technology has developed into an extensive infrastructure where algorithmically generated content – spanning photorealistic deepfakes to psychologically engaging chatbots – creates previously nonexistent dangers for underage users. The severity of these developments became publicly evident in January 2026, when the Grok AI system integrated into the X platform demonstrated capability to produce sexually explicit depictions of identifiable individuals, including minors, through elementary text instructions [3]. This event triggered immediate international regulatory attention and compelled policymakers to acknowledge that legal structures designed for conventional internet environments proved fundamentally insufficient for addressing artificially generated content.

The present work examines the international framework of child protection measures as implemented during early 2026. Through systematic comparison of legislative approaches adopted by the United Kingdom, the European Union, and Australia, this study evaluates the relative effectiveness of divergent regulatory strategies. Three interconnected aspects receive particular attention: governance of AI-generated harmful materials, measures against algorithmically reinforced addictive platform design, and technical and administrative obstacles to reliable age verification. Utilization of official governmental publications, parliamentary documentation, and contemporary enforcement statistics enables this investigation to offer a balanced assessment of global progress in shielding minors from algorithmic influences that increasingly determine their online experiences.

Main part. The Grok incident of January 2026 constitutes a defining moment in the evolution of artificial intelligence safety regulation. This occurrence marked the first documented instance where a mainstream generative AI application, directly embedded within a widely used social media platform, demonstrated capacity to systematically fabricate non-consensual intimate imagery involving minors. Following its discovery, these materials propagated without effective restriction across global networks, necessitating emergency interventions from multiple regulatory bodies.

European Commission Vice-President Henna Virkkunen articulated the official position with clarity: «This feature is unacceptable, and X has been asked to remove it. We are now assessing what other ways X may be violating the DSA. The situation exposed fundamental shortcomings within existing legislative instruments. Despite the European Union having established both the Digital Services Act and the forthcoming AI Act scheduled for implementation in August 2026, these frameworks proved inadequate for managing immediate generative AI threats. Throughout the period

when authorities attempted to formulate responses, objectionable content continued its uncontrolled distribution [3].

The transnational dimensions of the problem became equally apparent during this crisis. Irish MEP Alexandra Geese drew attention to continuing harm: «This morning, we heard about images of abuse against other minors. The abuse is not over.» The episode demonstrated that any effective regulatory response must combine rapid action with international coordination to eliminate opportunities for platforms to exploit jurisdictional differences and regulatory gaps.

The United Kingdom has positioned itself at the forefront of adaptive regulatory response. During February 2026, Prime Minister Keir Starmer introduced an extensive set of measures under the declarative principle «No platform gets a free pass.» Speaking from personal experience as a parent of adolescents, Starmer outlined the governmental rationale: «Technology is moving really fast, and the law has got to keep up. With my government, Britain will be a leader not a follower when it comes to online safety.»

British regulatory strategy emphasizes operational speed and legislative flexibility. Rather than pursuing entirely new primary legislation – a procedure typically extending over several years – the administration employs secondary legislative powers enabling implementation within months of consultation completion [2]. Specific provisions include:

1 Closure of artificial intelligence chatbot exemptions: All providers of AI conversational systems now fall under illegal content requirements established by the Online Safety Act, regardless of previous classification as «user-to-user» services.

2 Criminalization of synthetic intimate content: Creation of non-consensual intimate depictions, including those produced through artificial intelligence, will become subject to criminal prosecution within weeks and receive priority status under the Act.

3 Prohibition of nudification applications: The government explicitly criminalizes distribution of tools specifically designed to generate simulated nude imagery.

4 Advancement of detection capabilities: The «Deepfake Detection Challenge 2026» initiative seeks to enhance technical capacity for identifying and countering synthetic media threats.

Andy Burrows, Chief Executive of the Molly Rose Foundation, expressed support for these measures while advocating additional steps: «This is a welcome downpayment but the Prime Minister must now go further... commit to a new Online Safety Act that strengthens regulation and that makes clear that product safety and children's wellbeing is the cost of doing business in the UK.»

Comprehensive framework, law enforcement issues. The EU adheres to a more structural approach, using the existing list of digital rules and developing modern protection measures. In November 2025, the European Parliament approved its position on the protection of minors on the Internet, calling for the establishment of a minimum age for access to social networks – 16 years [1]. MEPs warn that the existing age verification systems are insufficient and create an untenable protection circuit in the member states. Alarming statistical data is provided in the parliament's report: 97% of young people use the Internet every day, and up to a quarter of minors exhibit dysfunctional smartphone-related behavior. This leads to depression, anxiety, sleep disorders, and decreased concentration. Parliament is proposing various measures to address this problem: a ban on personalized recommendations for minors based on profiling and engagement algorithms.

Disabling by default features such as auto-play, endless scrolling, striping, and excessive notifications for underage accounts. Prohibition of gambling in video games accessible to children. Radical actions against artificial intelligence interlocutors who can manipulate minors. However, enforcement remains difficult. As Eunews reported in January 2026, despite the existence of the DSA, the Artificial Intelligence Act, and the Child Safety Regulation, «the numerous tools available to member states seem insufficient to address this issue.» Grok images continued to spread despite clear rules, showing the gap between legislation and effective enforcement. The inspiration Day of the Belgian Center for Secure Internet, DSA Inspiration Day, organized in February 2026, focused precisely on this task. He brought together stakeholders to explore how to make the principles of regulation «visible, effective and useful for young people on the Internet» [5]. The event focused on three aspects: the legal framework, awareness-raising and education, and the creation of reporting mechanisms for young users.

The world's first ban on the use of social media. Australia has taken the most drastic approach: from December 10, 2025, a total ban on the use of social networks for people under the age of 16 will

be introduced. The results are already becoming noticeable. According to government data released in January 2026, social media companies blocked access to approximately 4.7 million accounts belonging to children under the age of 16 within a few days after the ban came into force [4].

Prime Minister Anthony Albanese agreed with the positive dynamics: «Change does not happen overnight. But these early signs show how important it is that we take action to make changes.» Commissioner for Safety Julie Inman Grant emphasized that «success is measured by reducing harm and restoring cultural norms. Instagram Facebook Meta reported the blocking of more than 544,000 accounts on Facebook, Instagram and other social networks as of December 11 [4]. However, the company gave a skeptical assessment of this approach. In a statement that was published in January 2026, Meta argued that the law's premise that banning accounts eliminates the impact of algorithms is «fundamentally flawed» as unverified users still face algorithmic recommendations, simply with a lower degree of personalization.

The effectiveness of the ban is debatable. Fourteen-year-old Australian Amy told the BBC that she started running without social media and now «takes out her phone less often, using it only when I really need to.» But 15-year-old Lulu admitted that she simply re-registered with a fake age, and 13-year-old Ashir continues to spend 2.5 hours a day on social media. One of the parents reported that his 17-year-old son was incorrectly blocked on YouTube, while his younger siblings were not affected.

Conclusion. The year 2026 is a turning point in the relationship between children and algorithms. The Grok scandal has become a wake-up call for the whole world, showing the inadequacy of the existing regulatory framework and serving as a catalyst for unprecedented legislative action in many areas.

Evaluating effectiveness requires recognizing that different approaches lead to different success rates. The British rapid response model illustrates the flexibility to eliminate loopholes, including criminal penalties for creating fakes and specific technical initiatives such as the Deepfake Detection Challenge. The EU's comprehensive system provides theoretical coverage, but faces difficulties in real-time implementation, as evidenced by the continued proliferation of malicious content [3]. The world's first ban in Australia shows significant results – 4.7 million accounts have been deleted – but it also shows the limitations of the ban when minors find loopholes [4].

On the threshold of 2026, the global community is facing a difficult challenge: can we create a digital environment that preserves the indisputable advantages of Internet connectivity and artificial intelligence, while protecting the most vulnerable among us? The answer to this question will depend not on any single regulatory act, but on a long-term partnership between governments, technology companies, educators, parents, and youth. Appropriate mechanisms are currently being developed. Their effectiveness will have an impact on the online experience of an entire generation.

References

1. European Parliament. (2025, November 26). European Parliament calls for access to social networks by minors to be allowed only from age 16, with stricter rules against addictive design and AI-generated risks [Electronic resource]. — Mode of access: <https://2eu.brussels/en/news/european-parliament-calls-for-access-to-social-networks-by-minors-to-be-allowed-only-from-age-16-with-stricter-rules-against-addictive-design-and-ai-generated-risks>. — Date of access: 21.02.2026.
2. UK Government. (2026, February 15). PM: «No platform gets a free pass»: Government takes action to keep children safe online [Electronic resource]. — Mode of access: <https://www.gov.uk/government/news/pm-no-platform-gets-a-free-pass-government-takes-action-to-keep-children-safe-online>. — Date of access: 21.02.2026.
3. Eunews. (2026, January 20). Deepfakes on X: the EU has rules, but struggles to enforce them [Electronic resource]. — Mode of access: <https://www.eunews.it/en/2026/01/20/deepfakes-on-x-the-eu-has-rules-but-struggles-to-enforce-them/>. — Date of access: 21.02.2026.
4. Bernama. (2026, January 16). Australia Shuts 4.7 Mln Accounts Under Child Social Media Ban [Electronic resource]. — Mode of access: <https://www.bernama.com/en/news.php?id=2513175>. — Date of access: 22.02.2026.
5. Better Internet for Kids. (2026, January). Belgian Safer Internet Centre [Electronic resource]. — Mode of access: <https://better-internet-for-kids.europa.eu/en/saferinternetday/belgium>. — Date of access: 25.02.2026.

VR & AR IN ENGINEERING EDUCATION

Poteshenko M.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article shows how virtual reality (VR) and augmented reality (AR) technologies can affect the engineering learning process. It explains the main benefits of integrating these technologies into the educational process and some potential problems. Special attention is paid to the engaging, safety and practical experience that VR and AR can provide.

Keywords: Virtual reality, augmented reality, engineering education, educational technologies, safe learning, knowledge visualization, practical skills.

Introduction. Digital technologies have become an essential part of modern education. The use of digital tools such as virtual reality and augmented reality can create immersive, interactive, and experiential learning environments that improve students' learning outcomes and prepare them for complex real-world tasks.

In this article, we focus specifically on how VR and AR technologies can increase student engagement, improve safety during practical training, and reduce environmental costs. However, the article also addresses some drawbacks of these technologies.

Main part. Virtual reality (VR) is a technology that fully immerses a person in a virtual world. When somebody puts on a VR headset, they stop seeing the real room and find themselves inside a three-dimensional computer environment. There, they can walk around, look at objects from all sides, and interact with them.

Augmented reality (AR) is a technology that adds digital objects to the real world. It does not replace reality – it enhances it. A student looks at a real laboratory table through a tablet screen or special glasses and sees a virtual diagram, model, or instruction placed on top of the real surface. The real world stays in place, but it becomes interactive and filled with helpful digital hints.

The immersive and interactive nature of VR and AR technologies significantly increases student motivation, engagement, and active participation compared to traditional instructional methods [1]. These technologies provide the opportunity to visualize theoretical material, thereby making it easier to assimilate.

By transforming Annotation concepts into tangible 3D models, VR and AR bridge the gap between theory and practice, allowing students to interact with complex mechanisms. VR can provide full immersion, which will have a positive effect on the development of engineering students' practical skills. Greater engagement combined with improved learning outcomes will benefit the educational process.

Virtual reality also enables students to practice complex or hazardous procedures in a fully controlled environment without exposure to real-world risks, making it valuable for engineering and technical training [2].

Chemical engineering students can conduct dangerous experiments in virtual laboratories without the risk of touching toxic substances or explosion hazards. Technicians can learn to work with high-voltage equipment through realistic simulations that eliminate the risk of electrocution.

Computer engineers can work with expensive equipment without fear that it might break due to accidental errors.

Furthermore, VR and AR solve the problem of expensive infrastructure. Specialized equipment is often costly to purchase, store, and maintain.

Virtual simulations provide a cost-effective alternative by delivering a comparable practical experience, making education more affordable and accessible. Moreover, the latest industrial technologies can be replicated in a virtual environment, ensuring that the curriculum remains relevant and based on current innovations.

VR and AR technologies are already being successfully used in various fields of engineering education. In the oil and gas industry, VR simulators train workers in emergency response, allowing

them to practice evacuating offshore platforms without real-world risks. In construction, students learn to work at heights and identify hazards on virtual job sites before facing real dangers [5].

In mechanical engineering, VR helps students master complex assembly procedures by interacting with virtual parts, eliminating the need for expensive physical prototypes [1].

As discussed earlier, VR and AR technologies offer numerous benefits for engineering education, including enhanced safety, cost reduction, increased engagement, and the ability to visualize complex processes. However, there are some disadvantages to these technologies.

Firstly, integrating these technologies requires significant changes to the curriculum and investment in lecturers' training. Educators must not only learn to use new hardware and software but also adapt their teaching methodologies to effectively facilitate VR-based learning [3]. This can be a time-consuming and resource-intensive process.

Secondly, despite their high degree of realism, VR and AR simulations cannot fully replace hands-on experience with physical equipment. The tactile feedback, material properties, and unpredictable variables of real-world environments are difficult to replicate perfectly [4].

Finally, the high initial cost of VR hardware and the need for regular software updates can be a barrier for institutions with limited budgets.

Looking toward the future, these technologies will likely become cheaper and more accessible, which will add certainty to the question of whether they should be widely implemented in education.

As hardware costs decrease and software becomes more sophisticated, VR and AR will move from experimental tools to standard educational equipment.

This will unlock new possibilities for distance learning, international collaboration, and interdisciplinary training. However, even now, we already have many benefits from their integration.

Conclusion. In this article, we explained what VR and AR are and reviewed their main benefits for engineering education.

We saw that these technologies increase student engagement by making learning interactive and immersive. They improve visualization of complex theoretical material, turning Annotation concepts into tangible 3D models. They enable safe practice of hazardous procedures from chemical experiments to high-voltage work without real-world risks.

They also reduce costs by replacing expensive physical infrastructure with virtual simulations and keeping the curriculum up to date with the latest industrial innovations.

We also discussed the challenges: the need for curriculum changes and lecturer training, and the limitations of virtual experience compared to real practice. These are important factors for any institution planning to adopt VR and AR technologies.

Looking ahead, as these technologies become more affordable and widespread, their potential to transform engineering education will only increase.

While they will not completely replace traditional methods, they offer a powerful tool that prepares students more effectively for the demands of modern engineering.

The benefits we already see today make a strong case for their continued integration into educational programs worldwide.

References

1. Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., Wohlgenannt, I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: design elements, lessons learned, and research agenda // *Computers & Education*. – 2020. – Vol. 147. – Article 103778. – DOI: 10.1016/j.compedu.2019.103778
2. Wu, B., Yu, X., Gu, X. Effectiveness of immersive virtual reality using head-mounted displays on learning performance: A meta-analysis // *British Journal of Educational Technology*. – 2020. – Vol. 51, No. 6. – P. 1991–2005. – DOI: 10.1111/bjet.13023
3. Alfalah, S. F. M. Perceptions toward adopting virtual reality as a teaching aid in information technology // *Education and Information Technologies*. – 2018. – Vol. 23, No. 6. – P. 2633–2653. – DOI: 10.1007/s10639-018-9734-2
4. Makransky, G., Terkildsen, T. S., Mayer, R. E. Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning // *Learning and Instruction*. – 2019. – Vol. 60. – P. 225–236. – DOI: 10.1016/j.learninstruc.2017.12.007
5. Wang, P., Wu, P., Wang, J., Chi, H.-L., Wang, X. A critical review of the use of virtual reality in construction engineering education and training // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2018. – Vol. 15, No. 6. – Article 1204. – DOI: 10.3390/ijerph15061204

VR-AUGMENTED CONTROL SYSTEMS FOR COLLABORATIVE ROBOTS IN MANUFACTURING

Rusilevich D.Y., Zuev D.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yushkevich E.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper introduces a VR-augmented system for collaborative robots, combining a consumer HMD with a markerless neural alignment module and safety manager. Built with Unity/ROS, it achieves fast, millimeter-scale registration. Tests on battery recycling and assembly tasks show reduced setup time and improved performance. Limitations and safety recommendations for industrial use are discussed.

Keywords: VR teleoperation, human–robot collaboration, 6-DOF registration, manufacturing.

Introduction. Industry 5.0 requires interfaces that pair robotic precision with intuitive human control. Consumer HMDs and mature VR toolchains make immersive teleoperation practical, lowering barriers to collecting expert demonstrations and offering natural spatial control—advantages shown in recent VR teleoperation work. Accurate visuo-haptic registration (aligning virtual objects, the HMD camera, and any haptic/end-effector frame) is essential for coherent visual and tactile perception. Marker-based calibration is accurate but bulky and occlusion-sensitive; markerless, data-driven fusion of HMD pose, hand/fingertip tracking, and end-effector readings provides a more portable industrial alternative [4].

This paper presents a portable VR-augmented control architecture for collaborative robots that integrates a consumer-HMD teleoperation frontend, a markerless neural 6-DOF alignment module, and an integrated safety/feedback manager. We evaluate alignment accuracy, task performance, and operator workload on representative manufacturing tasks, demonstrating improved usability and reproducibility in human–robot collaboration workflows [1].

Main part. Teleoperation lets humans extend skill and judgment into remote or hazardous workspaces, pairing human adaptability with robotic precision for tasks that resist full automation (complex assembly, delicate disassembly, exception handling). In manufacturing, VR-augmented teleoperation improves demonstration collection, operator training, and situational awareness by providing an intuitive 3-D control metaphor and realistic scene visualization.

A compact theoretical framework for VR-enabled human–robot collaboration has three core components:

Convert operator actions in VR into robot setpoints – from direct 1:1 motion mapping for high-DOF teleoperation to higher-level waypoints or task primitives. Pose-based intents (position, orientation, gripper state) fed to a local controller (e.g., impedance or go-to-pose controllers) balance intuitiveness and stability: the operator supplies intent while the robot enforces kinematic, dynamic, and safety constraints [2].

Visual, proprioceptive, and (where available) haptic cues must share a common world frame so contacts, stiffness cues, and object positions align perceptually. Marker– or camera-based calibration can be accurate but is often bulky and sensitive to occlusion; markerless, multimodal alignment that fuses HMD pose, hand/fingertip tracking, and end-effector readings increases portability and—when sufficiently trained—can reach millimetre-level registration. Augmented feedback should combine clear virtual affordances, haptic/force cues, and explicit safety signals (virtual walls, collision alerts) to reduce cognitive load and support operator decision-making.

Blend operator commands with local autonomy via blending, virtual fixtures, or constraint projection so the robot corrects small errors, enforces collision avoidance, and stabilizes motion under latency. Safety management must include hard robot-side limits (velocity, force), workspace zoning, and visible mode transitions (teleoperation ↔ collaborative/autonomous) so operators remain aware of control authority and system state.

Human-centred evaluation should combine objective metrics (alignment error in mm/°, task time, error counts) and subjective measures (usability and workload scales such as NASA-TLX,

operator trust). For industrial deployment prioritize portability (consumer HMDs), low setup overhead, modularity across robot embodiments, conservative safety defaults, and compatibility with open toolchains. Together, these elements produce VR-augmented control systems that are intuitive, safe, and practical for real manufacturing tasks.

In the study “Deep Neural Network-Based Alignment of Virtual Reality onto a Haptic Device for Visuo-Haptic Mixed Reality”, the researchers evaluated a Unity-based VR frontend connected to robot controllers through a lightweight middleware layer to assess a markerless alignment module and an integrated teleoperation and safety pipeline, both in simulation and on real hardware [3].

The experiments were conducted on a workstation equipped with an NVIDIA RTX 3090 Ti using a markerless sensing stack with HoloLens 2 and a Touch 3D haptic device. Ground truth was obtained with a temporary QR-code rig, and the dataset comprised approximately 740k augmented samples.

The reported accuracy reached the millimetre scale, with a mean Euclidean error of about 2.18 mm (median 1.76 mm; 99.9% < 11.7 mm) and rotation RMSE below 0.8° per axis (overall $\approx 0.53^\circ$). The neural, markerless model outperformed a deterministic kinematic transform, reducing the worst-case error from more than 5 cm to below 2 cm and remaining robust to synthetic fingertip noise [3].

The system was validated in simulation and on real hardware using a Franka Emika Panda robot and scene sensing with Intel RealSense D415. In a representative manufacturing scenario (Li-ion battery disassembly on a UR5e platform from Universal Robots, with an HTC Vive Pro frontend by HTC), practical task times of approximately 20 s (cover removal) and 25 s (cable extraction) were reported, together with effective safety-aware replanning.

These technologies directly support manufacturing domains that demand precision, safety, and rapid reconfiguration. Immersive teleoperation with markerless neural alignment enables delicate remote operations—such as Li-ion battery recycling on collaborative robots from Universal Robots—while reducing setup time and operator exposure. Portable consumer HMD frontends and fast markerless calibration also benefit electronics repair and small-parts assembly on platforms such as those from Franka Emika, and support secondary automotive assembly and aerospace maintenance through virtual fixtures and reliable visuo-haptic coherence. For hazardous-zone tasks, teleoperation combined with scene sensing lowers human risk, while open toolchains such as MoveIt and OMPL enable real-time replanning and constraint enforcement. Overall, consumer-grade VR teleoperation with markerless neural alignment achieves millimetre-scale accuracy and is most valuable for battery recycling, fine electronics, secondary automotive operations, aerospace maintenance, and flexible small-batch manufacturing [3].

Conclusion. Integrating consumer-grade VR teleoperation, markerless neural alignment, and modular frameworks yields a practical, portable pipeline for VR-augmented control of collaborative robots. A Unity Technologies-based frontend with open middleware such as ROS facilitates demonstration collection and operator training; a neural, markerless alignment module tested with HoloLens 2 and Touch 3D achieves millimetre-scale registration and outperforms simple kinematic transforms. An integrated safety/feedback layer and fast local control—demonstrated on the Franka Emika Panda—are essential for reliable industrial deployment. Remaining limitations (need for ground truth, occlusion and extreme-motion sensitivity, HMD comfort, and software/version fragility) suggest clear next steps: markerless ground-truth acquisition, broader user studies, learning from VR demonstrations, and tighter robot-side safety integration. Overall, these components provide a reproducible, industry-relevant route to safe and intuitive VR-augmented human–robot collaboration.

References

1. A virtual reality-based immersive teleoperation system for remote human-robot collaborative manufacturing [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213846324000658> – Date of access: 20.02.2026.
2. OpenVR: Teleoperation for manipulation [Electronic resource]. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.softx.2025.102054> – Date of access: 22.02.2026.
3. Deep Neural Network-Based Alignment of Virtual Reality onto a Haptic Device for Visuo-Haptic Mixed Reality [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/18/10071> – Date of access: 14.02.2026.
4. Industry 5.0 and Society 5.0– Comparison, complementation and co-evolution [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278612522001224> – Date of access: 17.02.2026.

NEUROCHIPS AND BRAIN-COMPUTER INTERFACES: CURRENT STATE AND OPPORTUNITIES

Ruzhkov A.P., Konchatov S.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yushkevich E.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper examines current status and future prospects of neurochips and brain-computer interfaces, designed to create direct communication channels between the human nervous system and external computing devices. These technologies are increasingly moving from the research arena into the clinical arena, greatly impacting the treatment of neurological conditions and the possibility of cognitive enhancement. The research is also aimed at providing valuable information for clinicians, engineers, and policymakers on the future prospects of neurochips and brain-computer interfaces.

Keywords: brain-computer interface, neurochip, neural implant, EEG, deep brain stimulation, neural signal decoding, neuroethics, neurostimulation, biocompatibility.

Introduction. The concept of direct, real-time communication between the human brain and digital machines has progressed from theories to the clinical fact in the course of a single generation. Brain-computer interfaces, defined by the ability to acquire, interpret, and act upon brain signals, now permit paralyzed individuals to control robotic limbs, restore partial vision to the blind, and even decode intended speech from brain signals alone. Underlying many of the most sophisticated implementations of such technologies is the presence of neurochips, small silicon-based integrated circuits capable of simultaneously recording signals from thousands of individual neurons, interpreting these signals, and wirelessly transmitting the results to external devices.

It has been driven by a series of advancements in microelectronics, materials science, machine learning, and neuroscience. While the history of BCI research itself dates back to Hans Berger's 1924 recording of the first human electroencephalogram, as well as to Jacques Vidal's 1973 formalization of the «BCI challenge» it is perhaps in the last decade that BCIs have moved from laboratory curiosity to the widespread clinical application following a series of important milestones in the development of high-density neural recording arrays and deep learning decoders [1].

In this paper, an overview of the current status of neurochip and BCI technology will be given, with emphasis on recent hardware breakthroughs, signal processing strategies, clinical applications, and the challenges that must be addressed before neurochip and BCI technology reaches its full potential. Such an overview is designed to be useful to those entering the field of neurochip and BCI technology or clinicians interested in emerging therapeutic options.

Main part. Brain-computer interfaces differ in their invasive properties. Non-invasive brain-computer interfaces utilize electroencephalography, which records aggregate electrical activity on a subject's scalp. These interfaces are safe to use and inexpensive but lack high spatial resolution.

Partially invasive electrocorticography arrays are placed on top of the cortical surface, which results in high signal quality. Fully invasive intracortical electrodes, as represented by the Neuralink N1 chip [Fig. 1], which was implanted in a human subject for the first time in January 2024, record single-unit activity with the highest fidelity but pose a high risk of chronic tissue response and infection.

The neurochip combines amplification, digitization, multiplexing, and signal processing in an implantable device. The Neuralink N1 neurochip has 1,024 recording channels that are spread over 64 flexible polymer threads and use Bluetooth for wireless transmission.

The 2025 BISC neurochip developed by Columbia University takes this concept further with 65,536 electrodes combined in a single chip with minimally invasive form factor [2].

Neuromorphic processors are neurochips that use an architecture similar to that of biological neurons and provide order-of-magnitude improvements in power efficiency for spike-sorting and decoding operations that are crucial to BCI function, which is an important consideration for implants that must be thermally efficient.

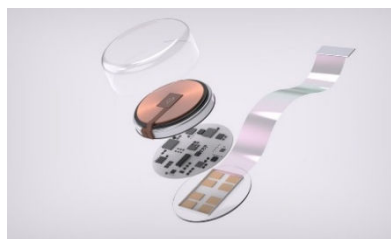


Figure 1—The Neuralink N1 neurochip

Deep learning has emerged as the primary approach to translating neural signals into meaningful outputs. Convolutional and recurrent neural networks extract complex features from EEG and intracortical signals, which are then used to continuously decode motor intention, imagined speech, and cognitive states [3].

Shared autonomy models use AI agents to infer and complete user intention from noisy neural signals, while closed-loop decoder adaptation adjusts model parameters to combat neural non-stationarity without requiring user recalibration.

The most advanced clinical applications are motor BCIs that restore limb functions in tetraplegia, speech BCIs that can synthesize intended words from motor cortex activity at rates approaching natural conversation, and DBS for Parkinson's disease. The latest generation of closed-loop DBS devices that adapt stimulation based on real-time biomarkers has now demonstrated improved symptom control.

Neural interfaces produce real-time data that represents cognitive states and intentions, which creates new types of privacy risks. There are issues of agency when AI systems control volitional action and equity problems will arise if brain-computer interface technologies are only available to well-resourced. Chile's decision to enshrine the rights of people with neurological disorders in its constitution in 2021 marks the beginning of a needed dialogue on global governance [4].

Outside of these concerns, the informed consent process, as it is developed for traditional clinical trials, is not well suited to the intensely personal nature of neural implantation, where the line between therapeutic intervention and identity alteration is not easily drawn. Neural data, unlike other forms of biometric data, has the potential to reveal intentions and cognitive processes that were not even consciously expressed, opening the door to exploitation by employers without the individual's knowledge. As enhancement technologies near the point of commercial viability, the potential for forced pressure on individuals to undergo neural modification in competitive professional environments is a tangible social concern that must be addressed, not only through new legal instruments but through an ongoing dialogue between engineers, ethicists, and the populations.

Conclusion. Neurochips and brain-computer interfaces have emerged from the research tools to clinically validated technology that can significantly enhance the quality of life of those suffering from severe neurological disorders. The integration of high-density recording, artificial intelligence-based decoding, and flexible bioelectronics is breaking traditional boundaries at an accelerating rate. Unlocking the full potential of this technology, from both a clinical and safety perspective, will require continued collaboration among neuroscience, engineering, medicine, law, and the social sciences, along with meaningful engagement with those most impacted by the technology.

References

1. *From the 1920s to the 2020s: The rise of BCIs* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.insights.onegiantleap.com/blogs/from-the-1920s-to-the-2020s-the-rise-of-bcis>. – Date of access: 21.02.2026.
2. *Scientists reveal a tiny brain chip that streams thoughts in real time* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.sciencedaily.com/releases/2025/12/251209234139.htm>. – Date of access: 22.02.2026.
3. *Neural decoding for EEG-BCI: from conventional machine learning to deep learning models* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589238X26000021>. – Date of access: 24.02.2026.
4. *Chile: Pioneering the protection of neurorights* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://courier.unesco.org/en/articles/chile-pioneering-protection-neurorights>. – Date of access: 24.02.2026.

LIVING ROBOTS: XENOBOTS AND ANTHROBOTS

Saharchuk D. S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovich I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation: Recent advances in bioengineering have demonstrated that living cells can self-organise into functional biological structures under laboratory conditions. This has led to the creation of xenobots in 2020 – microscale living constructs derived from frog cells and assembled without conventional programming. In 2023, anthrobots were also developed. This article outlines key achievements and current scientific limitations.

Keywords: xenobots, anthrobots, *Xenopus laevis*, neurons regeneration, tissue regeneration.

Introduction. The robots we create from metal and plastic do not work well inside a living organism: they often cause inflammation, do not know how to adapt to soft tissues, and at the same time they rust. Almost every living organism contains stem cells that thrive in the body, but we cannot yet precisely and specifically control them. Xenobots combine the features of both approaches: they are alive, like cells, but created for a specific purpose, like robots. In 2023, researchers extended this approach to human cells, and it became obvious that this was not just a wonderful experiment, but a potential tool in medicine.

Main part. In 2017, researchers took cells from the African clawed frog, *Xenopus laevis* embryos, namely heart muscle and skin cells. First, they decided to carefully separate them, then placed them in a special nutrient solution and simply began to observe what would happen. After this, the cells began to stick together. After about a day or two, they formed balls approximately one millimetre in diameter. As a result of this experiment, the researchers demonstrated that genetic modification was not required to create them – just nutrients and time. To give these balls the desired shape, scientists used artificial intelligence: the program went through millions of configuration options, then selected the best cells that best suited the conditions of the required task. Often, to get the version they wanted, they had to modify these beads by hand under a microscope.

2020 – First Generation: These were created using a new evolutionary algorithm. It automatically designed new biological structures, and then, based on their simulation, selected the best of them and assembled them from frog heart and epidermal cells. The peculiarity of these bots was their movement in a swarm, while they covered a distance of up to 39 mm in 12 hours and independently collected small particles into heaps [1].

2021 – Reproduction: Xenobots, which resembled the video game character Pac-Man, learned to capture free cells, and then assembled new working copies from them – they could assemble up to four generations in a row, without copying DNA and cell division [2].

2023 – Anthrobots: A little later, researchers decided to apply the same methods to human tracheal cells. And we got new structures. They were approximately 30-500 μm in size and lived for 45-60 days [4]. An interesting feature was the ability of the anthrobots in the group to help damaged neurons regenerate – nerve cells began to grow within three days [3]. But all these experiments were carried out in a laboratory bowl.

2025 – Memory: after new experiments, in 2025, researchers identified 537 uniquely activated genes in xenobots. These genes responded to sound of 100-500 Hz and their ability to “remember” light stimuli using introduced RNA molecules [4].

2025 – Cell Rejuvenation: The essence of rejuvenation is that when anthrobots self-assemble, adult cells become biologically younger by approximately 25% based on certain epigenetic markers – again, without genetic intervention [5]. Their key features: they move using tiny hairs on the surface, called cilia.

When the nutrients run out, the biorobots begin to decompose without leaving any toxic residues or traces in the environment.

Medicine. The main property of anthrobots, which increases their importance for medicine, unlike ordinary xenobots, is that they can be created from the cells of a patient. This feature means

that the immune system will not reject them as a foreign body [3]. In theory, they could deliver drugs directly to tumours, clear clogged arteries, or even help the body recover from spinal cord injuries.

But, unfortunately, so far all this only works in a laboratory bowl. Until now, no one has ever introduced anthrobots into a living organism, and we do not know how they will behave in the bloodstream, the immune system, and three-dimensional tissues. They also have a limitation in their creation. In one production cycle, only a few hundred biorobots are produced, but this is not enough because millions are needed for therapy.

The ability of xenobots to collect small particles up to one millimeter in size prompted researchers to use them as small microplastic cleaners; they collected particles into piles that a filter could collect; the filters themselves do not cope well with microplastics [1].

After completion of the work, xenobots simply decompose without polluting the environment. But this method has its own problems: xenobots can reproduce only in environments containing free stem cells, and they are not found in the natural rivers and seas we are accustomed to. We also still don't know how xenobots might begin to behave when temperature, salinity, and water pollution change, since no one has yet conducted the necessary experiments.

Xenobots and anthrobots raise many questions. If you look from the outside, they are also living beings: they exhibit metabolic activity, move, react to the world around them and can reproduce [2]. But on the other hand, they are created for a specific purpose, that is, intentionally, like an ordinary tool.

As for the risks. Uncontrolled reproduction of xenobots is actually very unlikely: this requires free stem cells in the environment, and in nature, as it was already mentioned, such cells are not naturally present [2]. But at the same time, international standards for working with xenobots and anthrobots have not yet been implemented.

Conclusion. To summarize, in just five years, xenobots and anthrobots have gone from a simple idea to real laboratory results. Researchers have been able to prove that it is possible to create structures from cells without the use of genetic modifications, but using their ability to independently unite [1, 6], the ability to reproduce in completely new ways [2], the ability to respond to various sounds and remember light stimuli [4] and even help nerve cells recover [3]. It has also been found that adult cells become biologically younger after a process of self-assembly, a key feature that could help in the development of new treatments or other fields of science [5].

However, these findings remain largely preliminary. Not a single experiment has yet been carried out inside a living organism. To date, we cannot explain the key effects. We do not have the ability to produce biorobots in the quantities required for all our needs. Therefore, current evidence suggests that, anthrobots will most likely remain a research tool for the next few years, but the possibility of their further application in various fields is very high.

References

1. Kriegman S., Blackiston D., Levin M., Bongard J. A scalable pipeline for designing reconfigurable organisms [Electronic resource] / *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 13.01.2020. – Mode of access: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1910837117> – Date of access: 04.03.2026.
2. Kriegman S., Blackiston D., Levin M., Bongard J. Kinematic self-replication in reconfigurable organisms [Electronic resource] / *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 29.11.2021. – Mode of access: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2112672118> – Date of access: 04.03.2026.
3. Gumuskaya G., Srivastava P., Cooper B.G. et al. Motile living biobots self-construct from adult human somatic progenitor seed cells [Electronic resource] / *Advanced Science*. – 30.11.2023. – Mode of access: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/advs.202303575> – Date of access: 04.03.2026.
4. Pai V.P. et al. Basal xenobot transcriptomics reveals changes and novel control modality in cells freed from organismal influence [Electronic resource] / *Communications Biology*. – 22.04.2025. – Mode of access: <https://www.nature.com/articles/s42003-025-08086-9> – Date of access: 04.03.2026.
5. Gumuskaya G., Davey N., Srivastava P. et al. The morphological, behavioral, and transcriptomic life cycle of anthrobots [Electronic resource] / *Advanced Science*. – 06.06.2025. – Mode of access: <https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/advs.202409330> – Date of access: 04.03.2026.
6. Blackiston D., Lederer E., Kriegman S., Garnier S., Bongard J., Levin M. A cellular platform for the development of synthetic living machines [Electronic resource] / *Science Robotics*. – 17.03.2021. – Mode of access: <https://www.science.org/doi/10.1126/scirobotics.abf1571> – Date of access: 04.03.2026.

«CO-OWN» DIGITAL PLATFORM

Sergieievich N.V., Navoev J.E.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article discusses the concept of the Co-Own digital platform, developed to solve the problem of attracting financing and first customers for small businesses in Belarus. Unlike traditional loans and grants, the platform offers a crowdfunding mechanism through the purchase of tokens, which allows users to become microinvestors in startups. The functional modules of the system and its key advantages are described: low entry threshold, transparency, and legal protection. The conclusion is made about the prospects of this model, which has no analogues in the country, and the need for its further development.

Keywords: Digital platform, small business, startup, crowdfunding, tokenization, microinvestment, attraction of investments, startup capital.

Introduction. Small businesses in Belarus face challenges in attracting their first customers and start-up capital. What is commonly considered traditional marketing requires significant financial resources. Obtaining a bank loan is often difficult, as many applicants have a poor credit history or lack collateral. The idea of a digital platform has been proposed, which will benefit both novice entrepreneurs and other users who will have an easy and affordable opportunity to invest in a business.

Main part. The goal of the work: to create a platform that is beneficial for its owners, small business owners, and people who want to invest and make a profit. A platform that turns customers into potential investors through equity participation and indirect investment in a start-up small business, providing the business with promotion without significant initial costs.

It has been noted that many promising startups with a unique idea at their core fail simply because they lack a sufficient marketing budget. Existing solutions to this problem, such as grants and loans, do not ensure rapid growth. Grants often do not help small businesses due to high competition (about 10% of applications are approved [1]), restrictions on the use of funds, and the need for strict reporting. The complicated application process, partial financing (requiring personal investment), and the mismatch between the grant provider's goals and the needs of the business make them ineffective for operational tasks. Loans often do not help small businesses due to high debt burdens, the risk of bankruptcy in the absence of revenue growth, and the misuse of funds. High interest rates, strict bank requirements (need for collateral, work experience), and difficulties in tracking hidden costs often turn borrowed funds into a financial trap rather than a tool for development.

At the global level, the situation with investments involving relatively small amounts that are accessible to most people is much better. The global crowdfunding market size was valued at USD 1.83 billion in 2025 and is projected to grow from USD 2.11 billion in 2026 to USD 5.91 billion by 2034 [2].

What is the essence of the Co-Own digital platform and where should the profit come from? The platform will work as follows. Investors purchase internal currency—tokens. The money received from investors is directed toward investments in businesses selected by the investors. Then, depending on the success of the selected startup, the investor either receives a profit or not. The owners of the Co-Own digital platform receive a small percentage of the funds spent on the purchase of tokens and a percentage of the funds received as profit from the startup. Below is a diagram describing the essence of the Co-Own digital platform (shown in Figure 1).

The Co-Own platform has no analogues in the Republic of Belarus. It is quite possible that there are similar platforms in the CIS countries. This idea will give entrepreneurs the opportunity to profitably develop their business and effectively increase their working capital without getting into debt. For citizens of the Republic of Belarus, the Co-Own platform will provide an opportunity to become micro-investors in local businesses they like and receive financial benefits from this, provided that the business in which the money was invested is successful.

How can the Co-Own digital platform be presented in practice? The project can be implemented on a website or in a separate application.

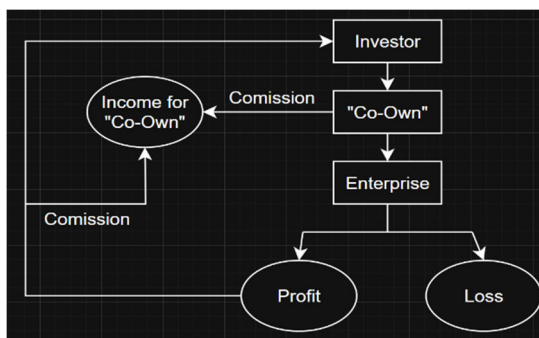


Figure 1– Cash flow diagram for the “Co-Own” digital platform

The system will have the following main sections:

1 Menu for selecting a business to purchase a token. This section will be intended for users who are potential investors. Here they can familiarize themselves with the existing selection of start-ups and information about them and their owners. It will immediately display businesses in which users can invest by purchasing tokens with the aim of making a profit.

2 Business publication menu for finding investors. This menu will be intended for startup owners. Here, they will be able to familiarize themselves with the conditions for publishing their business in order to attract investment.

3 Information section. This section will contain all information about the Co-Own digital platform. This includes: privacy policy, information about profits, guarantees, and user rights and obligations.

The Co-Own digital platform will have many advantages over other investment systems. Some of the advantages are: 1) a simple and understandable system; 2) the platform acts as an intermediary between investors and entrepreneurs. This makes life easier for both parties; 3) the platform provides full traceability of funds. Businesses are required to publish reports, and investors can view the financial status of the project and the distribution of profits at any time; 4) you can become an investor with a minimum investment (from a few hundred rubles). This makes investing accessible to the general public, not just wealthy individuals; 5) the platform provides legal support for transactions and reviews projects before listing them, protecting both parties from fraud.

How does investing through the Co-Own digital platform differ from the traditional purchase of shares in large companies? Firstly, the opportunity to purchase shares is most often only available from large companies that already have stable profits. Co-Own, on the other hand, is aimed at helping small businesses by investing in new startups that will attract investors. Secondly, buying shares in the Republic of Belarus is much more complicated than it seems. You need a broker and a special application. In addition, buying shares for small amounts does not generate a high return. As already mentioned, the Co-Own digital platform allows you to invest even small amounts. The commission percentage is much higher for brokers than for our platform. In addition, you have proximity to the business; the company or firm in which the investor has invested is “close by” in the Republic of Belarus: the investor can personally find out where his money is invested.

Conclusion. Thus, the idea of the Co-Own digital platform is a promising direction for implementation. Further economic market research, software development research, and legal research are needed before this idea can be brought to life.

References

1. Office Life: «Белстат рассказал, какой вклад в ВВП страны внесли ИП и малый бизнес в 2024 году». – Mode of access: <https://officelife.media/news/62794-belstat-rasskazal-kakoy-vklad-v-vvp-strany-vnesli-ip-i-malyy-biznes-v-2024-godu>. – Date of access: 11.03.2026.
2. Fortune Business Insights: Crowdfunding Market Size, Share & Industry Analysis, By Type (Equity-based, Debt-based, Blockchain-based, and Others), By End-user (Startups, NGOs, and Individuals), and Regional Forecast, 2026-2034. – Mode of access: <https://www.fortunebusinessinsights.com/crowdfunding-market-107129>. – Date of access: 11.03.2026.

CYBERSECURITY ON YOUR SMARTPHONE: WHAT YOUR APPS ARE HIDING

Sevrukov K.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovitch I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper examines the cybersecurity implications of hidden data collection practices in mobile applications. By analyzing the economic incentives behind data monetization, technical permission-exploitation mechanisms, and resulting cybersecurity risks, the study argues that covert data collection constitutes a systemic vulnerability within the mobile ecosystem. Practical mitigation strategies for end users are also identified.

Keywords: mobile security, data privacy, application permissions, data monetization, digital hygiene, cyber risk.

Introduction. Smartphones have become an integral part of daily life for billions of people worldwide. They provide access to contacts, bank accounts, social networks, and messengers. The convenience that makes a smartphone indispensable simultaneously makes it particularly vulnerable. The threat comes not only from malicious software, but also from applications that appear completely safe, whose data collection practices extend far beyond what is disclosed in their terms of service – agreements that are rarely read in practice.

The processing, transfer, and distribution of users' personal data to third parties leads to specific cyber threats, including theft of personal data, social engineering, and financial fraud. The purpose of this paper is to analyze the mechanisms by which mobile applications collect and transmit confidential user information without their knowledge, as well as the cybersecurity risks arising from these hidden practices.

Main part. Applications distributed as “free”, such as social networks, VPN services, flashlight utilities and calculators, – are not free in the economic sense. Users pay with their personal data, which is collected by these applications. In some cases, this is necessary for correct operation, for example, precise geolocation for a navigation app. In other cases, it serves to understand development direction or to offer personalized advertising. However, applications frequently “leak” users' personal data to advertising networks and data brokers through third-party SDKs (Software Development Kits) – ready-made software libraries that include programs for data analytics, push notifications, or advertising content. Developers themselves often do not have a complete understanding of what data these libraries collect.

The result is a system of persistent digital profiling. Data from millions of users – their geolocations, interactions, and digital device traces – are correlated across services to form detailed behavioral profiles. This not only enables highly accurate personalized advertising, but also creates a vast repository of sensitive information that can compromise users in ways far beyond targeted marketing.

The iOS and Android operating systems implement a permission system based on the principle of least privilege: applications should request access only to data minimally necessary for correct functioning. In practice, this mechanism is bypassed through redundant permission requests. An illustrative example is the flashlight app – a utility whose sole purpose is to activate the camera flash, yet in numerous documented cases it has requested precise geolocation and device identification [1]. This serves no practical functionality for the app; it is done solely to collect data for the benefit of built-in advertising SDKs.

Beyond abusing permissions, applications employ additional data collection mechanisms. Metadata collection, including screen time, network status and device configuration, is gathered without the user's awareness or permission, as platforms classify such data as non-personal, despite

its significant value for profiling [2]. Background data transfer allows an application to continue exchanging information with remote servers even after the user has closed it, making ongoing data exfiltration difficult to detect or prevent.

The implications of covert data collection extend far beyond the informational domain. Detailed geolocation histories collected by advertising SDKs can accurately reveal a user's home address, workplace, medical clinic, and social circle – information that can be exploited for harassment, phishing attacks, and corporate espionage. Individually harmless data points, when combined across multiple applications sharing a common SDK, can produce a comprehensive profile sufficient to track a specific individual [3].

Public data networks present an additional threat vector. While TLS (Transport Layer Security) encryption is the standard for modern mobile traffic, its implementation frequently contains vulnerabilities: invalid certificate handling and outdated cryptographic protocols are not uncommon in production applications. Software obsolescence compounds this problem: a significant portion of applications run on versions released months or years prior, retaining unpatched security vulnerabilities that remain exploitable long after fixes have been published.

Users have access to a substantial set of protective measures. Permission management – reviewing granted permissions and disabling those not directly relevant to an application's core function – represents the most fundamental countermeasure. Applications requesting geolocation access should be configured to “during use only” mode. Microphone and contact access should be trusted only to applications whose purpose makes such access unambiguous. Regular updates to both applications and the operating system minimize exposure to known vulnerabilities.

Critical evaluation of “free” services is equally important: users who understand that advertising-model applications monetize their data are better equipped to assess the true cost of a given application before installing it [4]. The use of reputable VPN services may reduce the risk of traffic interception in environments where application-level encryption may be insufficient. Together, these practices constitute a coherent personal security posture that significantly reduces the attack surface presented by smartphone usage.

Conclusion. The hidden data collection conducted by mobile applications is not an incidental phenomenon, but a structural consequence of the economic model underlying consumer software. The integration of advertising SDKs, abuse of the permission system, and background data transmission combine to create a pervasive surveillance infrastructure within applications that ordinary users perceive as simple utilities. The resulting cybersecurity threats – identity theft, behavioral profiling, network traffic interception, and vulnerability exploitation – are well-documented and growing in scale [5].

Countering these threats requires not only systemic regulatory measures, but also conscious behavior on the part of individual users. Permission management, consistent software updates and critical evaluation of free services represent a practical and accessible response to the problem. As smartphones have become the dominant computing device in everyday life, cybersecurity literacy is no longer optional – informed digital behavior is itself a necessary element of personal security in the modern information environment.

References

1. *Android Permissions: User Attention, Comprehension, and Behavior* [Electronic resource] / A. P. Felt [et al.] // *Proceedings of SOUPS*. – New York : ACM, 2012. – Mode of access : https://cups.cs.cmu.edu/soups/2012/proceedings/a3_Felt.pdf – Date of access : 03.03.2026.
2. *Bug Fixes, Improvements, ... and Privacy Leaks* [Electronic resource] / J. Ren [et al.] // *Proceedings of NDSS 2018*. – San Diego : Internet Society, 2018. – Mode of access : <https://dSPACE.networks.imdea.org/handle/20.500.12761/506> – Date of access : 03.03.2026.
3. *Exposing the Invisible Web: Third-Party HTTP Requests on 1 Million Websites* [Electronic resource] / T. Libert // *International Journal of Communication*. – 2015. – Vol. 9. – P. 3544–3561. – Mode of access : <https://ijoc.org/index.php/ijoc/article/view/3646/1503> – Date of access : 03.03.2026.
4. *The Age of Surveillance Capitalism* [Electronic resource] / S. Zuboff. – New York : PublicAffairs, 2019. – Mode of access : <https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=56791> – Date of access : 03.03.2026.
5. *Number of Smartphone Users Worldwide from 2016 to 2029* [Electronic resource] / Statista Research Department. – Hamburg : Statista, 2024. – Mode of access : <https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/> – Date of access : 03.03.2026.

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF BSUIR'S INTERACTION WITH IT COMPANIES IN THE CONTEXT OF THE DISTRIBUTION AND EMPLOYMENT OF GRADUATES

Sharstsiuk R.A., Kravchuk N.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Lasarenko A.M. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper analyses the cooperation system between BSUIR and leading IT companies in the context of graduate distribution and employment. Drawing exclusively on official data published on bsuir.by, the study examines quantitative partnership indicators, forms of university–industry cooperation, active corporate educational centres, and graduate employment outcomes. Key structural strengths and directions for further development of the partnership model are identified.

Key words: BSUIR; IT companies; graduate employment; university–industry cooperation; educational centres; Hi-Tech Park; practical placement; distribution system.

Introduction. The Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR), founded in 1964, is the leading engineering university in the Republic of Belarus in the fields of computer science, radioelectronics, and telecommunications. Over more than 60 years the university has trained over 100,000 graduates and holds the status of the base organisation of the CIS in the field of higher education in computer science and radio electronics [1]. Today BSUIR enrolls over 10,000 students annually across 8 faculties, 35 research laboratories, and 7 research centres [2].

The Republic of Belarus has been actively developing its IT sector since the establishment of the Hi-Tech Park (HTP) in 2005, which created preferential conditions for technology companies and accelerated demand for qualified IT professionals. BSUIR addresses this challenge through a multi-layered partnership system involving corporate educational centres, joint research laboratories, academic department branches at enterprises, and targeted employment contracts. As of 2025, this system encompasses partnerships with 168 institutions in more than 50 countries [3]. The objective of this paper is to systematically assess the forms and outcomes of BSUIR's cooperation with IT companies in the context of graduate employment. All data are drawn exclusively from official sources on the BSUIR website (bsuir.by).

Main part. The scale of BSUIR's cooperation with industry is confirmed by specific indicators on the official university website. As of 2025, BSUIR maintains 45 joint educational and research laboratories; 28 branches of BSUIR academic departments function inside leading enterprises; and 7 corporate educational centres of world-leading companies operate on campus [1]. The university guarantees 100% of state-funded students entry-level employment upon graduation [1]; every year employer requests exceed the number of available graduates by a factor of two [1]; and approximately 20% of graduation projects are introduced directly into industrial production [1].

Corporate educational centres represent one of the most institutionally significant mechanisms of BSUIR's cooperation with industry. Seven centres of world-leading companies currently operate on campus: the National Instruments Educational Centre, the IBM Centre of Competency, the Cisco Networking Academy Affiliate, the SAP Academic Competence Centre, the Android Software Centre, the INTES Educational and Research Centre, and the BSUIR–Huawei Engineering and Educational Centre. Each provides students with access to vendor-specific technology platforms and professional certification alongside their degree programmes [4].

Among corporate partners, Huawei occupies a particularly prominent position in 2025. BSUIR Rector Vadim Bogush has identified cooperation with Huawei as a key element of the university's international industry engagement [5]. The Cisco Networking Academy Affiliate enables students to obtain CCNA certification prior to graduation, significantly enhancing their labour market competitiveness. At the Faculty of Computer Design (FCAD), the joint laboratory “Integrated Mobile Systems”, established with AXONIM Devices in partnership with Analog Devices, Texas Instruments, and ST Microelectronics, provides professional-grade embedded systems development experience [4]. Table 1 classifies current active corporate partners, cooperation forms, and university units involved.

Table 1 – Active IT-Company Partners of BSUIR (2022) (source: bsuir.by)

Company / Organisation	Cooperation Form	Faculty / Unit	Status (2022)
Huawei	BSUIR–Huawei Engineering & Educational Centre; joint R&D projects	University-wide	Active
IBM	IBM Centre of Competency; applied computing and data management	FITC, IIT	Active
Cisco	Cisco Networking Academy Affiliate; CCNA certification courses	FITC, IIT	Active
SAP	SAP Academic Competence Centre; ERP and enterprise systems training	FITC	Active
National Instruments (NI)	NI Educational Centre; LabVIEW instrumentation and measurement labs	FCAD, IIT	Active
INTES	INTES Educational & Research Centre; CAD/CAE engineering systems	FCAD	Active
Android Software Centre	Android application development training and certification	FITC	Active
IBA Group (IBA IT-Park)	Targeted employment; internships; joint projects	FITC, FCSN	Active
EPAM Systems	Internships; targeted employment for software graduates	FITC, FCSN	Active
Itransition	Internships; targeted employment; guest lecture programme	FITC	Active
AXONIM Devices (+Analog Devices, TI, STMicro)	Joint laboratory «Integrated Mobile Systems»; hardware training	FCAD	Active

The Faculty of Information Technologies and Control (FITC) maintains partnerships with IBM, Intel, IBA Group, EPAM Systems, Itransition, TopSoft, and Galaktika Corp., among others [4]. The Faculty of Computer Systems and Networks (FCSN) operates 13 joint laboratories and certified educational centres [4]. This multi-faculty engagement ensures that university–industry cooperation is embedded throughout the entire educational process rather than being confined to isolated units.

Belarus operates a mandatory graduate distribution system under which state-funded graduates are assigned to employers for an obligatory two-year work placement following graduation [6]. Within this framework, BSUIR guarantees 100% employment for all state-funded students. The consistent 2:1 ratio of employer requests to available graduates indicates that demand for BSUIR graduates structurally exceeds supply [1]. According to the Department of Intelligent Information Technologies (IIT) official page, 85% of IIT graduates obtain employment in HTP-resident companies including EPAM Systems, Itransition, IBA IT-Park, Gamestream, TechArtGroup, Qulix Systems, and Applied Systems, while the remaining 15% are employed by state enterprises [7].

BSUIR's cooperative network extends beyond Belarus: bilateral agreements are maintained with 168 institutions in more than 50 countries, and approximately 1,000 international students from 40 countries study at the university annually [3]. BSUIR was the first engineering institution in Belarus to introduce English-medium programmes (initial enrolment 2009), and degrees are recognised in 80 countries [8, 9]. Programmes co-developed with the Computer Systems Institute (CSI) of the USA are delivered through BSUIR-affiliated branches in Boston and Chicago, providing graduates with direct access to the North American IT labour market [8]. In October 2025, BSUIR participated in the III Meeting of the Association of Universities of Belarus and China [10], reflecting a broader strategic reorientation toward Asian counterparts that complements deepening corporate cooperation with Huawei.

Despite the strong quantitative indicators, several structural challenges warrant attention. The breadth of the partner network does not automatically guarantee uniform quality of practical training across all partner sites. The development of differentiated quality standards and structured student feedback mechanisms would significantly strengthen the system. Currently, over 400 organisations provide practical placement for students, but the depth of engagement varies considerably between

large corporate partners such as EPAM Systems and Huawei on the one hand, and smaller regional enterprises on the other.

The mandatory distribution system, while ensuring full employment for state-funded graduates, may constrain individual career mobility. Introducing greater flexibility within the framework – for example, enabling graduates to self-select among approved partner companies – could improve satisfaction and long-term retention at placement sites.

Rapid technological change in artificial intelligence, cloud computing, and cybersecurity requires continuous curriculum renewal. Formalised annual programme review procedures involving industry representatives, combined with expanded guest lecturer programmes from partner companies, would help maintain the currency of educational content. Structured co-creation of course modules between BSUIR academic staff and engineers from partner companies such as EPAM, Huawei, and IBM would be particularly valuable in fast-evolving specialisations where the gap between academic syllabi and industrial practice tends to widen most quickly.

Conclusion. This paper has provided a structured analysis of BSUIR's cooperation with IT companies in the context of graduate distribution and employment, based entirely on data from bsuir.by. The quantitative foundation of the system is strong: 45 joint laboratories, 7 corporate educational centres, 28 academic department branches at enterprises, 100% graduate employment guarantee, a 2:1 employer request ratio, and a 20% production introduction rate for graduation projects [1]. These indicators confirm the structural effectiveness of the existing cooperation model.

The active participation of Huawei, IBM, Cisco, SAP, NI, INTES, EPAM, Itransition, IBA Group, and AXONIM Devices across multiple forms of cooperation – from on-campus educational centres to targeted employment contracts and joint research laboratories – demonstrates both the depth and durability of BSUIR's university–industry partnerships. The university's continuing education infrastructure, which offers professional development programmes to industry practitioners and recent graduates alike [11], further reinforces the long-term nature of these relationships and ensures cooperation extends beyond initial graduate placement into ongoing professional development. Addressing identified challenges in quality assurance of practical training, distribution flexibility, and curriculum currency will be essential for maintaining BSUIR's position as the primary supplier of qualified IT and engineering professionals to the Belarusian and international technology markets.

References

1. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Key Facts [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.bsuir.by/en/key-facts>. Date of access: 04.03.2026.
2. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. BSUIR Main Page [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.bsuir.by/en/>. Date of access: 04.03.2026.
3. TopUniversities. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.topuniversities.com/universities/belarusian-state-university-informatics-radioelectronics>. Date of access: 04.03.2026.
4. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. All Faculties [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.bsuir.by/en/all-faculties>. Date of access: 04.03.2026.
5. MyUniver.org. BSUIR: Admission Plans and a New Specialty in 2025 [Electronic resource]. Mode of access: <https://myuniver.org/en/articles/bsuir-admission-plans-and-a-new-specialty-in-2025-sz>. Date of access: 04.03.2026.
6. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Graduate Distribution, 1st Degree [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.bsuir.by/ru/raspredelenie-1-stupeni-obrazovaniya>. Date of access: 04.03.2026.
7. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Department of Intelligent Information Technologies [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.bsuir.by/ru/kaf-iii/uchebnaya-rabota>. Date of access: 04.03.2026.
8. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Study in English [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.bsuir.by/en/study-in-english>. Date of access: 04.03.2026.
9. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Master Degree [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.bsuir.by/en/master-degree>. Date of access: 04.03.2026.
10. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Photo Gallery 2025 [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.bsuir.by/ru/fotogalereya/2025>. Date of access: 04.03.2026.
11. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Continuing Education [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.bsuir.by/en/continuing-education>. Date of access: 04.03.2026.

THE HIDDEN COST OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PROGRAMMING

Shibaev I.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovitch I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article examines a structural contradiction in AI-assisted programming. While large language models accelerate code generation, their improvement is constrained by the exhaustion of high-quality human-written training data. As synthetic data increasingly enters training pipelines, recursive learning from model-generated content may create feedback loops leading to model collapse, reduced code diversity, and hallucinations in software development.

Keywords: large language models, programming, synthetic data, model collapse, feedback loop, hallucinations, code generation.

Introduction. AI code assistants accelerate drafting, refactoring, and test writing. Yet their own development now depends on a resource that is becoming scarce: high-quality human-written text and code. The paradox is straightforward. The more programming is delegated to large language models, the more the public code ecosystem becomes filled with synthetic output, and the less stable the knowledge base for the next generation of models becomes. Research on data scaling suggests that the stock of public human-generated text is finite and may become a serious bottleneck for further LLM growth [1]. When that limit is approached, training pipelines inevitably lean harder on synthetic data, creating a recursive feedback loop in which models learn from their own approximations instead of from original human practice [2, 3].

Main part. The shortage should not be understood as the literal disappearance of human-written text. Repositories, forums, documentation, issue trackers, and technical blogs still exist. The problem is narrower and more serious: the supply of open, legally usable, deduplicated, and genuinely informative data is finite, while the demand of frontier models is enormous. Villalobos et al. estimate that public human-generated text may become a binding constraint for scaling between 2026 and 2032 [1]. In programming, this matters even more because not every snippet has equal value. A copied template adds little. A bug report explaining why a design failed, an edge-case discussion, or a niche library example contains rare signal that is hard to reproduce artificially.

Synthetic data appears to solve this problem. It is cheap, fast, filterable, and easy to adapt to target tasks. Models can generate code samples, explanations, tests, and debugging dialogues at an industrial scale. However, the large-scale reuse of such synthetic content gradually changes the statistical distribution of programming patterns available in public repositories. But synthetic data only imitates the statistical surface of programming discourse. It does not reproduce the real conditions under which robust code is written: failure, revision, disagreement, practical constraints, and tacit expertise. This difference becomes crucial once synthetic material is fed back into the training set.

Shumailov et al. describe model collapse as a process in which the tails of the original data distribution disappear when generative models are repeatedly trained on generated data [2]. In programming, those tails include unusual but valid API uses, minority languages, domain-specific idioms, defensive coding practices learned from outages, and nonstandard optimizations. They are rare, but they often distinguish production-quality engineering from a neat classroom answer. When recursive training suppresses these low-frequency patterns, the model becomes smoother and more uniform, yet also narrower.

This is the “dog chasing its tail” effect. A model produces plausible code; that code is published, indexed, and later recrawled; the next model then learns from it as if it were an independent human-generated contribution. The loop rewards fluency and repetition. Frequency begins to masquerade as correctness. A later study by a group including Stanford researchers shows that if original human data are preserved and synthetic data are accumulated instead of substituted, collapse can be mitigated [3].

The key point, however, remains unchanged. Synthetic data may support training, but it cannot safely replace the human-written core on which diversity and robustness depend.

For programmers, the most visible result of this process is hallucination in code generation. In software development, hallucinations are not only false statements in prose. They are invented APIs, nonexistent methods, wrong parameter names, misleading explanations of framework behavior, or code that looks coherent while failing at runtime. Recent work on code hallucinations shows that such failures are systematic enough to require dedicated benchmarks and detection methods [4]. The problem is amplified by the presentation style of LLMs: clean formatting, confident comments, and plausible naming make uncertainty look like competence.

Recursive dependence on synthetic data intensifies this risk. The model sees more polished but weakly verified code and fewer examples rooted in real debugging and production constraints. At the same time, reduced diversity pushes it toward the most probable and frequently repeated solutions. The result is not only more hallucinations, but also code homogenization. Generated programs converge on the same architectural clichés, the same shallow Annotations, and the same safe-looking averages. As a result, developers may increasingly encounter similar solution patterns even in situations that require more specialised or context-dependent approaches. That may save time in the short term, but it narrows the design space from which programmers learn and innovate.

In practical terms, the hidden cost of AI in programming is not limited to isolated coding mistakes. It also changes how future engineers learn to think about software. If developers rely too heavily on assistants that consistently propose the most probable answer, they encounter fewer unconventional but justified solutions and fewer opportunities to understand why one design choice may be preferable to another in a specific context. Over time, this can weaken independent debugging habits, reduce attention to edge cases, and make engineering culture more dependent on machine-generated conventions. Moreover, when similar generated patterns dominate tutorials, repositories, and classroom exercises, the apparent consensus they create may conceal the fact that such solutions have never been tested under diverse real-world conditions. For universities and software teams, this means that the use of large language models should be balanced by practices that preserve genuine human expertise: code review, analysis of failed implementations, manual testing of critical paths, and careful study of documentation. Without such effort, the apparent productivity gain may conceal a gradual erosion of the intellectual skills on which reliable, diverse, and adaptable software depends. Maintaining a balance between automated assistance and independent engineering judgement therefore becomes an important challenge for both software education and professional practice.

Conclusion. The promise of AI in programming is significant, but it also has a hidden cost. Once high-quality human-written data becomes scarce, the temptation to replace it with synthetic data grows. If that substitution turns into a closed feedback loop, model collapse, weaker code diversity, and a higher rate of hallucinations become structural rather than accidental effects [2, 3]. For software practice, the conclusion is clear: LLMs can accelerate routine work, but they cannot be treated as autonomous authorities. Their output must be read, tested, profiled, and checked against documentation and human judgment. Human control is not a temporary inconvenience. It is the condition that keeps programming knowledge from degrading into an echo of machine-generated averages.

References

1. Villalobos P., Ho A., Sevilla J., et al. Will we run out of data? Limits of LLM scaling based on human-generated data [Electronic resource] / arXiv, 2024. – Mode of access: <https://arxiv.org/abs/2211.04325> – Date of access: 06.03.2026.
2. Shumailov I., Shumaylov Z., Zhao Y., et al. The Curse of Recursion: Training on Generated Data Makes Models Forget [Electronic resource] / arXiv, 2024. – Mode of access: <https://arxiv.org/abs/2305.17493> – Date of access: 06.03.2026.
3. Gerstgrasser M., Schaeffer R., Dey A., et al. Is Model Collapse Inevitable? Breaking the Curse of Recursion by Accumulating Real and Synthetic Data [Electronic resource] / arXiv, 2024. – Mode of access: <https://arxiv.org/abs/2404.01413> – Date of access: 06.03.2026.
4. Agarwal V., Pei Y., Alamir S., Liu X. CodeMirage: Hallucinations in Code Generated by Large Language Models [Electronic resource] / arXiv, 2025. – Mode of access: <https://arxiv.org/abs/2408.08333> – Date of access: 06.03.2026.

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ETHICAL HACKING

Sorokin K.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Malikova I.G. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The growth of cyber threats requires more effective cybersecurity approaches. Ethical hacking (penetration testing), is used to identify vulnerabilities in information systems before they are exploited by attackers. Artificial intelligence technologies are increasingly applied in cybersecurity practices. This article analyzes the role of AI in ethical hacking, its application in penetration testing, and the advantages and limitations of its use.

Keywords: Artificial intelligence, ethical hacking, cybersecurity, penetration testing, machine learning.

Introduction. The proliferation of digital services and online infrastructures creates new challenges for information security. Organizations are increasingly dependent on complex networks, distributed applications, and cloud platforms, which often pose additional security risks. As a result, identifying weaknesses in these environments has become an important task for cybersecurity professionals.

Penetration testing plays an important role in protecting information systems. During this process, security experts simulate the methods used by attackers to identify weaknesses before they can be exploited [2, 3]. However, manual testing is often time-consuming and requires extensive knowledge. Thanks to the latest technological advances, intelligent analytical tools have emerged that can process large amounts of security-related data. These tools help specialists identify suspicious patterns, analyze network behavior, and predict potential vulnerabilities. Consequently, modern cybersecurity strategies increasingly include automated analytical methods to improve the effectiveness of security testing [1].

Modern organizations must constantly assess their security level, due to new vulnerabilities appearing as technology develops and the interconnection of systems increases. The integration of intelligent technologies into cybersecurity processes has also increased the ability of organizations to respond faster and more effectively to emerging threats [1]. Automated security platforms are capable of processing logs, network packets, and system events in real time, which significantly improves threat detection efficiency and allows security teams to focus on analyzing the most important issues. Large corporate infrastructures, cloud environments, and Internet of Things systems generate huge amounts of security data, making manual analysis impractical and emphasizing the need for intelligent data-driven approaches. In practice, these technologies are used to automatically scan vulnerabilities, analyze network traffic in real time, and detect anomalies in mission-critical systems. They can also help in compliance monitoring by ensuring that the organization's security practices comply with regulatory requirements and internal policies [1].

Main part. Advanced computing techniques support various stages of security assessment. One key stage is information gathering, where analysts collect data about the environment. Automated algorithms process publicly available information, network metadata, and system configurations to identify potential entry points [3].

Another important application is identifying vulnerabilities. Data-driven models, trained on historical incidents, recognize patterns related to known vulnerabilities. These models help detect configuration errors, outdated software components, or suspicious network behavior.

Intelligent technologies also contribute to modeling attack scenarios. By analyzing system architecture and data paths, automated tools simulate intrusion strategies [4]. Automation reduces repetitive work, such as system scanning, log processing, and traffic analysis, letting experts focus on decision-making. The overall structure of the penetration testing process, including the stages where such simulations may occur, is shown in Figure 1. The penetration testing process typically includes several sequential stages from information gathering and vulnerability analysis to attack simulation.

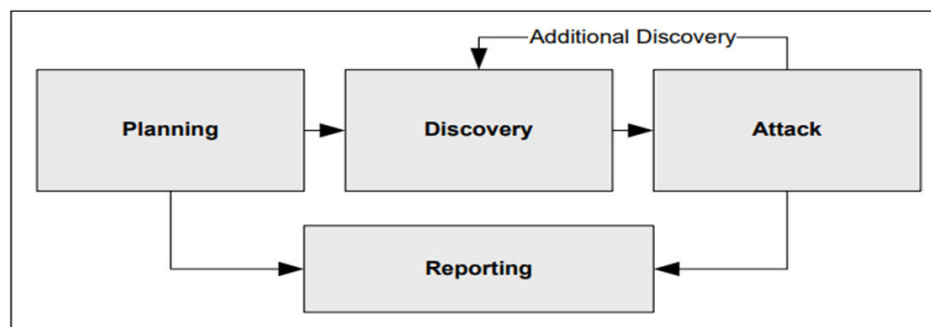


Figure 1 – Penetration testing process scheme

The integration of analytical technologies offers several advantages.

Firstly, automated systems speed up the assessment process by analyzing large amounts of data quickly [1].

Secondly, data-driven models improve risk prioritization. Instead of analyzing each problem, these systems assess the likelihood and potential impact, allowing professionals to focus on the most important vulnerabilities [5].

Scalability is another advantage, as automated analysis is more efficient than manual approaches, especially in environments with thousands of interconnected devices and services.

Finally, intelligent technologies enable continuous monitoring, increasing the ability to detect new threats [5].

Despite the advantages of automated tools, there are limitations.

One issue is the potential misuse of these technologies. The same capabilities that help professionals can also be used by attackers to automate cyber attacks [5].

Another concern is accuracy and reliability. Analytical systems depend on training data, which may be incomplete, leading to false alarms or missed vulnerabilities. Cybersecurity also requires context and creative problem-solving, which automated tools can't fully replicate. Therefore, intelligent technologies should be considered as supplemental tools, not replacements for specialists.

Conclusion. Modern cybersecurity environments require more advanced and adaptive methods for identifying system vulnerabilities. The integration of artificial intelligence technologies significantly enhances the effectiveness of ethical hacking by automating data analysis, supporting vulnerability detection, and enabling the simulation of potential attack scenarios. AI-based tools allow cybersecurity professionals to process large volumes of security data more efficiently and improve the prioritization of detected risks. At the same time, the use of artificial intelligence in cybersecurity introduces new challenges related to reliability, transparency of analytical models, and the potential misuse of these technologies by malicious actors. Therefore, artificial intelligence should be considered as a complementary tool that supports the work of cybersecurity specialists rather than replacing human expertise.

References

1. International Business Machines Corporation. *AI in Cybersecurity Report* [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.ibm.com/think/topics/ai-security>. Date of access: 20.02.2026.
2. Engebretson P. *The Basics of Hacking and Penetration Testing*. Amsterdam: Syngress, 2013 [Electronic resource]. Mode of access: <https://share.google/7J2aSY3gyuBm2s2rJ>. Date of access: 21.02.2026.
3. National Institute of Standards and Technology. *Guide to Penetration Testing // NIST Special Publication 800-115* [Electronic resource]. Mode of access: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-115.pdf>. Date of access: 01.03.2026.
4. *Artificial Intelligence–Based Ethical Hacking for Health Information Systems: Simulation Study* [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.jmir.org/2023/1/e41748/>. Date of access: 21.02.2026.
5. Zaheer F. *Ethical Hacking with AI: Predicting and Preventing Cyber Attacks in Real-Time* [Electronic resource]. Mode of access: https://www.researchgate.net/profile/Faisal-Zaheer/publication/389647956_Ethical_Hacking_with_AI_Predicting_and_Preventing_Cyber_Attacks_in_Real-Time/links/67cb0681cc055043ce6f28df/Ethical-Hacking-with-AI-Predicting-and-Preventing-Cyber-Attacks-in-Real-Time.pdf. Date of access: 21.02.2026.

FIGHTING MONEY LAUNDERING WITHOUT SHARING SECRETS: PRACTICAL USE OF CONFIDENTIAL COMPUTING

Sosnovskiy T.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper explores the conflict between anti-money laundering efforts and strict banking privacy laws. It introduces Confidential Computing and Secure Enclaves as a secure solution to this problem. By utilizing secure, isolated environments, financial institutions can collaboratively analyze encrypted transaction data to detect financial crimes without ever exposing sensitive customer details. The article also highlights current real-world applications of this technology.

Keywords: confidential computing, secure enclaves, banking privacy, privacy-enhancing technologies, anti-money laundering, financial crime.

Introduction. Money laundering is the lifeblood of organized crime. It is the process by which illegally obtained funds are made to look legitimate, allowing criminals to use their profits without drawing the attention of law enforcement. In today's digital age, money laundering has become highly sophisticated. Modern criminal enterprises rarely use a single bank to clean their money. Instead, they fragment their transactions across multiple banks and send money across borders to make the trail confusing and borderline untraceable. [1]

Main part. It's usually impossible for a single bank to catch these transactions without seeing the full picture: where the money came from initially, who approved the transfer, their transaction history, etc. Banks need to share this data to connect the dots. However, this creates a massive conflict with data privacy. Strict laws forbid banks from simply handing over their clients' private transaction records to competitors or third parties. This creates a paradox: banks must share information to stop financial crime, but they are legally forbidden from sharing information to protect their customers' privacy. [2]

For years, this barrier seemed impossible to overcome. However, with the advent of Confidential Computing and secure enclaves, it became possible to share secrets between computers of different parties without actually revealing any data to a human. [3]

To understand it, let's first look at how data is typically protected. Historically, cybersecurity focused on protecting data when it is saved on a hard drive with the use of encryption (data at rest), and when it is sent over a network (data in transit). [4] However, there is a third state: data in use (Figure 1). Usually, a processor cannot work on encrypted data directly, so it needs to be decrypted and loaded into memory first. This is the vulnerable point where data is exposed to the operators of the system and hackers.

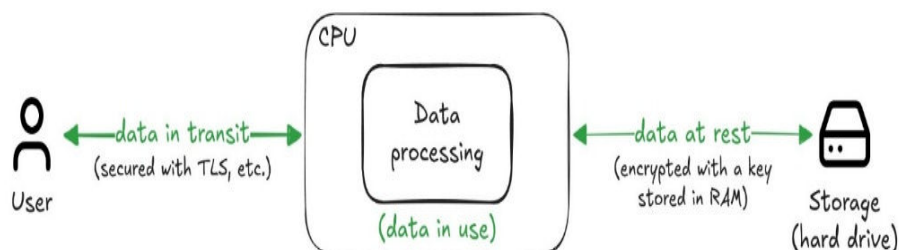


Figure 1 – Overview of the three states of digital data

Confidential Computing closes this gap by protecting data while it is being used. It does this through a hardware technology called a secure enclave. A secure enclave is an imaginary «locked box» stored deep within the computer's processor. Encrypted data comes into it, gets processed inside

it without leaking anything, and then some output becomes available to the outside world. his isolation is built directly into the physical hardware of the CPU, we only need to trust its manufacturer and the code running inside the enclave. Everything else can be cryptographically proven. Furthermore, developers can utilize memory-safe programming languages, such as Rust, to build secure software to be run inside the isolated environment, ensuring that no underlying vulnerabilities can be exploited to leak information from inside.

So, we can solve the privacy problem by allowing banks to share data between each other securely by building upon this hardware-level security. Crucially, the enclave can be programmed to output only the results of an analysis, not the transaction data. The output might simply be an alert: “This account and that account have a 95% probability of being part of the same money laundering network.” This analysis can even be performed by an AI model that is running on a connected GPU. [5] Because the algorithm is transparent and verifiable, all participating banks or regulatory bodies know exactly what happens with the data, even if no one knows what data is coming in.

Several major institutions have already begun deploying Confidential Computing to tackle financial crime and other data-sensitive problems. One of the most remarkable examples is the collaboration between SWIFT and their partners. They have been developing an AI model with the help of Confidential Computing that allows them to detect fraud more easily. Along with other privacy-enhancing technologies, their initiative allows participants to collectively screen transactions for signs of money laundering and terrorist financing across institutional boundaries, all without any single party ever seeing another’s customer data. They claim that this approach made the AI model twice as effective. [6,7]

Beyond the financial sector, confidential computing is also being adopted in healthcare. [8] The major cloud providers have recognized this demand as well. Microsoft Azure, Google Cloud, and Amazon Web Services all now offer confidential computing services built on top of hardware enclaves from Intel, AMD, NVIDIA, and others, making the technology accessible to smaller organizations that previously lacked the resources to implement such solutions on their own. [8–10]

Conclusion. The fight against money laundering has always been an arms race, with criminals constantly finding new ways to exploit the gaps between institutions and jurisdictions. For decades, one of the biggest gaps was legal and ethical: the inability to share private data across organizational borders. Confidential Computing does not eliminate privacy regulations. Instead, it offers an architectural solution that respects the spirit of these laws while still enabling collaborative analysis. By ensuring that sensitive data is also protected while it is actively being processed, secure enclaves remove the need for trust or contracts between parties and replace it with something far more reliable: verifiable, hardware-enforced isolation. This technology proves that privacy and transparency are not opposing forces but can, with the right engineering, work hand in hand.

References

1. Радюк Д. И. Легализация незаконных доходов: анализ моделей «отмывания» денег // *Банковский бизнес и финансовая экономика: глобальные тренды и перспективы развития* : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, магистрантов и аспирантов. Минск: Белорус. гос. ун-т, 2020. Pp. 170–177.
2. *Guidance on private sector information sharing*. Paris: FATF, 2017. 50 p.
3. Scapicchio M., Kosinski M. What is confidential computing? [Electronic resource]. IBM. Mode of access: <https://www.ibm.com/think/topics/confidential-computing> (accessed: 28.02.2026).
4. Fitzgibbons L. States of Digital Data [Electronic resource]. 2019. Mode of access: <https://www.techtarget.com/searchdatamanagement/reference/states-of-digital-data> (accessed: 28.02.2026).
5. Kumar U., Emily S. Protecting Sensitive Data and AI Models with Confidential Computing [Electronic resource]. NVIDIA, 2023. Mode of access: <https://developer.nvidia.com/blog/protecting-sensitive-data-and-ai-models-with-confidential-computing/> (accessed: 28.02.2026).
6. 2023 Swift Annual Review [Electronic resource]. SWIFT, 2023. Mode of access: <https://www.swift.com/swift-resource/252305/download> (accessed: 02.03.2026).
7. Swift AI innovation creates blueprint for banks to stop fraud faster through cross-border collaboration [Electronic resource]. SWIFT, 2025. Mode of access: <https://www.swift.com/news-events/press-releases/swift-ai-innovation-creates-blueprint-banks-stop-fraud-faster-through-cross-border-collaboration> (accessed: 02.03.2026).
8. Azure Confidential Clean Rooms Preview [Electronic resource]. Microsoft, 2025. Mode of access: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/confidential-computing/confidential-clean-rooms> (accessed: 02.03.2026).
9. Confidential Computing [Electronic resource]. Google Cloud. Mode of access: <https://cloud.google.com/security/products/confidential-computing> (accessed: 02.03.2026).
10. Brown D. Confidential computing: an AWS perspective [Electronic resource]. AWS Security Blog, 2021. Mode of access: <https://aws.amazon.com/blogs/security/confidential-computing-an-aws-perspective/> (accessed: 02.03.2026).

AI- GENERATED TECHNICAL DOCUMENTATION IN GLOBAL ENGINEERING: THE NEW FRONTIER OF LANGUAGE, STANDARDS, AND QUALITY ASSURENCE

Surganova S.P., Kushchynski M.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yushkevich E.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper investigates the impact of artificial intelligence systems. Through natural language processing and large language models, these systems offer speed and consistency, significantly affecting documentation workflows and standard compliance. The study analyzes technical effects such as reduced creation time and increased accuracy, addressing both the benefits and challenges, including quality control and data security. By reviewing existing literature and empirical studies, the research provides insights for businesses, policymakers, and researchers to promote responsible usage and enhance documentation quality.

Keywords: artificial intelligence, technical documentation, global engineering, quality assurance, machine translation, automation, standards compliance, data security.

Introduction. The advent of artificial intelligence systems has revolutionized technical documentation processes. With advanced algorithms, documents are created swiftly, eliminating the need for manual drafting or traditional writing methods. This technological shift has enhanced efficiency and significantly influenced engineering communication. According to recent industry surveys, by the end of 2026, up to 80% of product documentation is expected to be AI-generated, transforming technical writers into strategic orchestrators [5].

As AI-generated documentation gains popularity, understanding its technical and behavioral impact is crucial for businesses, policymakers, and researchers. This paper explores how AI systems affect documentation choices, quality standards, and engineering workflows. By examining existing literature, it provides a comprehensive analysis of the implications of AI documentation on decision-making, highlighting both the benefits and potential drawbacks of this evolving technology.

Additionally, the paper will discuss future trends and technological advancements that could further shape the landscape of technical documentation. The continued evolution of this technology calls for adaptive strategies to ensure quality control and promote engineering literacy. Through this detailed examination, the study aims to offer valuable insights for leveraging the full potential of AI documentation, ensuring sustainable and responsible adoption.

Main part. AI documentation systems, using NLP technology, enable content creation with a prompt of a command or dataset. Their convenience and speed have boosted their popularity, especially among multinational corporations and technical teams. The global pandemic further accelerated their adoption due to reduced physical collaboration during projects [5].

Moreover, the integration of AI documentation with other digital services, such as version control systems and project management apps, has enhanced their appeal and functionality. The ability to link these documents with personalized updates or alerts has further incentivized their use among engineers. Additionally, the integration simplifies information management by providing users with detailed revision records, aiding in tracking and maintaining consistency. These systems are also becoming increasingly accepted globally, creating a more interconnected engineering ecosystem [3].

The technology's quick generation times make it ideal for software development, manufacturing protocols, and technical manuals. However, challenges include the initial cost for businesses, accuracy concerns, and data privacy issues. Despite these challenges, the trend shows a steady increase in AI documentation, indicating a long-term shift in engineering behavior [4]. The ongoing improvements in NLP technology continue to expand the potential use cases for AI documentation, further driving their adoption. As AI documentation becomes more ubiquitous, understanding its broader implications on engineering workflows and quality systems becomes increasingly important.

AI documentation reduces the «time of writing,» leading to increased output and rapid iterations. The convenience and speed of these transactions can override rational review processes. This behavior is common in places with frequent updates, like software repositories and agile teams [5]. Furthermore, the perceived ease and minimal cognitive load required for AI generation can lead engineers to subconsciously opt for them, reinforcing a cycle of frequent and higher content production. The technical effects of such seamless generation can alter how engineers value and manage their documentation over time.

Research indicates that the detachment from manual writing makes it easier for engineers to part with draft content, resulting in less mindful documentation habits. Awareness of these effects can help policymakers and businesses develop strategies to promote healthier documentation behaviors. The ease of AI documentation can also influence the perceived value of accuracy, leading to higher error rates compared to manual writing. Studies show higher inconsistency rates among consumers using automated or AI-generated content. Additionally, the intangible nature of AI generation can make tracking expenditures of time more challenging, potentially leading to decreased quality awareness.

Understanding these technical effects is crucial for businesses and policymakers. By recognizing how AI documentation influences engineering decision-making, they can develop strategies to promote responsible writing and enhance quality control, including clearer review notifications and auditing tools. Effective implementations merge AI efficiency with rigorous human validation through multi-stage review protocols [5].

The ease and speed of AI documentation, known as the «frictionless writing effect,» lower cognitive and emotional barriers to content creation. This leads to more frequent and higher expenditures of resources, particularly in the software, manufacturing, and retail sectors where impulse updating is common. The convenience also makes larger documentation projects feel less burdensome.

Integration programs and templates tied to AI documentation further encourage usage. Additionally, the seamless integration of AI documentation with mobile apps and online platforms facilitates even higher production rates, as engineers can effortlessly make updates across different channels. Engineers may also develop a preference for businesses offering AI options, potentially influencing market competition. The rapid adoption of AI documentation has also sparked innovations in the engineering sector, with businesses exploring new ways to enhance team engagement and satisfaction. However, the ease of transactions can lead to unintentional overspending of time, highlighting the need for effective workflow management tools and education.

Despite these benefits, the lack of physical writing exchange can reduce quality awareness, making it easier to overlook errors. Digital records, while detailed, may not effectively convey real-time quality impacts, challenging engineers to control their output. Technical literacy and awareness initiatives, along with tools for tracking revisions, are essential. To counteract these tendencies, businesses could offer features like quality caps and real-time expenditure tracking within their apps. Engineers might benefit from educational initiatives that promote mindful writing habits and emphasize the technical impacts of AI transactions. Furthermore, collaboration between engineering firms and technology providers to provide incentives for quality-conscious writing could be explored [2].

AI documentation has significant impacts on the economy and industry, potentially increasing engineering productivity and driving economic growth. Industries benefit from faster creation times and improved employee experience, especially in high-volume environments. The convenience encourages higher output, while integration programs boost sales and customer loyalty [5].

AI systems also reduce operational costs related to manual writing and streamline accounting processes. Furthermore, the increased data generated from AI transactions provides valuable insights for businesses, enabling them to tailor marketing strategies and optimize inventory management. These insights can help businesses create targeted promotions and improve customer retention [4].

The widespread use of AI documentation can also foster innovation in writing technologies, promoting a more dynamic and competitive market. However, the potential for increased consumer debt underscores the importance of promoting technical literacy and responsible writing practices. The ease of transactions may lead to increased reliance on automation, posing risks to skill stability. Promoting technical literacy and responsible writing practices is crucial. Digital payment systems

also raise cybersecurity and data privacy concerns, requiring robust security measures from businesses and financial institutions. Innovative solutions like biometric authentication and end-to-end encryption are essential in addressing these concerns. Additionally, ongoing public education campaigns can help raise awareness about the importance of data privacy and financial security.

As AI documentation systems become more widespread, security and privacy concerns grow. The primary risk is data leakage due to the lack of manual review for small amounts. Despite security measures, errors remain a significant possibility. NLP technology raises concerns about data interception, necessitating continuous improvements in encryption and security features [1].

Innovations in biometric authentication and tokenization are being explored to enhance security and minimize fraud risks associated with AI documentation. Additionally, public awareness campaigns can educate consumers on secure AI documentation practices. The effectiveness of these security measures is crucial for maintaining consumer trust and ensuring the continued growth of AI documentation. By staying ahead of emerging threats, financial institutions can provide a safer and more reliable payment environment for consumers.

Consumer trust is vital for the adoption of AI documentation. Transparent communication about security measures and privacy policies can build trust. Educating consumers on safe documentation practices and investing in advanced security technologies will ensure a secure AI documentation environment, supporting the continued growth and success of these technologies. Collaboration between financial institutions and technology providers can lead to innovative solutions that address evolving security challenges. Regularly updating consumers about new security features can further enhance their confidence in using AI documentation.

Conclusion. AI documentation systems have transformed engineering decision-making by influencing technical and behavioral patterns. Their ease and convenience make them integral to modern transactions, reducing the «time of writing» increasing impulsive updates, and altering documentation habits. As technology continues to evolve, the potential for even greater integration and innovation in AI documentation systems is significant, promising further shifts in engineering behavior.

Ensuring a balance between technological advancements and consumer protection will be key to maintaining the benefits of AI documentation. While benefits like faster transactions and improved customer satisfaction are clear, financial management and security concerns remain. The potential for overspending, along with data privacy and fraud concerns, requires continuous security advancements and consumer education.

The economic and retail implications are significant. By promoting higher spending and efficiency, AI documentation contributes to economic growth and reshapes retail. Addressing challenges in financial discipline and cybersecurity is essential for sustainable development.

In conclusion, AI documentation systems represent a transformative shift in engineering transactions. Understanding their impacts offers valuable insights for businesses, policymakers, and researchers. Leveraging these insights can promote responsible usage, enhance consumer protection, and harness the full potential of AI documentation for the future of commerce. Future research and collaboration among stakeholders will be essential for navigating the evolving landscape of AI documentation. By embracing these changes, society can fully realize the advantages of this innovative technology.

References

1. Smith S. *EU AI Act Technical Documentation for AI-Enabled Medical Devices: Annex IV, MDR Mapping, and High-Risk Requirements* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.linkedin.com/pulse/eu-ai-act-technical-documentation-ai-enabled-medical-sean-smith>. – Date of access: 08.03.2026.
2. Mindivik. *India AI Summit 2026: What It Means for Technical Publications Leaders* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.linkedin.com/pulse/india-ai-summit-2026-what-means-technical-publications-mindivik>. – Date of access: 19.02.2026.
3. Elmira. *Documentation 2026: From Human-Centric to AI-First* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.techiehub.com/latest-in-tech/documentation-2026-from-human-centric-to-ai-first>. – Date of access: 11.02.2026.
4. TechieHub. *12 Best AI Code Documentation Tools 2026* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.techiehub.com/latest-in-tech/12-best-ai-code-documentation-tools-2026>. – Date of access: 23.02.2026.
5. Kaye J. *AI for Technical Documentation: Complete Guide for 2026* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.guide.com/knowledge-hub/ai-for-technical-documentation-complete-guide-2026>. – Date of access: 27.02.2026

THE IMPACT OF AI ON THE ENVIRONMENT

Tsando E.L.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yushkevich E.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper provides a quantitative and technical analysis of the physical infrastructure supporting large-scale AI models like GPT-4. Rather than focusing on general productivity benefits, the study examines the critical surge in power density within data centers and predicts their emergence among the world's top five electricity consumers by 2026. Special attention is paid to the «water footprint» of computation in resource-stressed regions and the ecological degradation caused by the extraction of rare-earth minerals for GPU production. The author argues for a transition from corporate secrecy to mandatory transparency metrics and algorithmic optimization as fundamental requirements for environmental safety in the AI era.

Keywords: generative AI, environmental impact, data centers, energy consumption, water footprint, greenhouse gas emissions, sustainability, resource intensity, inference phase, hardware production.

Introduction. Amidst the rapid pace of technological progress, generative AI has emerged as a transformative force, rapidly transforming industrial sectors with its promises of increased productivity, groundbreaking scientific advancements, and creative innovations. Tools such as ChatGPT and DALL-E have made sophisticated computing accessible to a broader audience, enabling users to generate text, images, and code with remarkable ease.

However, beneath this surface of advancement lies a concerning reality: the environmental impact of generative AI is escalating at a concerning rate. Recent analyses from institutions like MIT, the United Nations Environment Programme (UNEP), and other experts highlight that the «gold rush» in generative AI is consuming vast quantities of electricity, water, and raw materials, thereby contributing to greenhouse gas emissions, water scarcity, and disruptions to ecosystems.

This article delves into the reasons behind the resource-intensive nature of generative AI, exploring its multifaceted impacts and the pressing need for sustainable practices.

Following a two-part framework akin to MIT's series, we will concentrate on the primary environmental challenges, laying the groundwork for future discussions on strategies for mitigation.

Main part. The computational foundation of generative AI – models comprising billions of parameters, such as OpenAI's GPT-4 – requires extraordinary resources from the outset. Training these models involves processing extensive datasets using complex algorithms, a process that can consume significant electrical power.

For example, estimates from researchers at Google and UC Berkeley indicate that training GPT-3 alone necessitated approximately 1,287 megawatt-hours – sufficient to power around 120 average U.S. households for an entire year – and resulted in the emission of about 552 tons of carbon dioxide.

This energy consumption is not a one-time occurrence; the energy footprint persists through deployment, inference (the process of using the model for queries), and continuous fine-tuning.

As emphasized by Elsa Olivetti, a professor at MIT's Department of Materials Science and Engineering, the environmental implications extend far beyond merely activating a computer. These effects propagate through global systems, spanning energy grids, water supplies, and material supply chains [1].

Central to these demands are data centers, expansive facilities that house the servers, storage, and networking equipment essential for powering AI. Although data centers are not new – the first one was established in 1945 at the University of Pennsylvania for the ENIAC computer – the rise of generative AI has significantly accelerated their growth.

Companies like Amazon operate over 100 data centers globally, each containing tens of thousands of servers. The key differentiator for generative AI workloads is their exceptionally high power density: a training cluster may consume seven to eight times more energy than typical

computing tasks, according to Noman Bashir, a postdoctoral researcher at MIT's Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory.

In 2022, data centers consumed 460 terawatt-hours of electricity, ranking them as the 11th largest electricity user among nations, positioned between Saudi Arabia and France. Projections are even more alarming: by 2026, this figure could surge to 1,050 terawatt-hours, potentially elevating data centers to the fifth largest electricity consumer, nestled between Japan and Russia.

This increase is primarily driven by generative AI's insatiable demand for computational resources. In North America alone, the power requirements of data centers doubled from 2,688 megawatts at the end of 2022 to 5,341 megawatts by the end of 2023. While not all data center activity is related to AI, this technology serves as a major contributor.

The rapid fluctuations in energy usage during AI training phases introduce additional complexities, often necessitating the use of diesel generators to stabilize power grids – a pollutive backup that worsens emissions.

Bashir notes that the pace of new data center construction is unsustainable, heavily reliant on fossil fuel-based power plants due to the inability of renewable energy infrastructure to keep pace. In the United States, data centers currently account for 4.4% of national energy consumption, while globally, they contribute approximately 1% of energy-related greenhouse gas emissions, a figure expected to rise significantly.

By 2035, the expansion of AI-driven data centers could result in an additional 0.4 to 1.6 gigatonnes of CO₂ equivalent emissions, comparable to the annual output of several mid-sized countries [3].

Water consumption represents another significant environmental challenge. Data centers depend on chilled water to dissipate heat generated by high-performance hardware, with estimates indicating two liters of water are required per kilowatt-hour of energy consumed.

On a global scale, AI infrastructure could withdraw between 4.2 and 6.6 billion cubic meters of water by 2027 – quantities that rival the total usage of entire nations.

This situation is particularly problematic in water-scarce regions, where data centers often cluster for logistical reasons.

For instance, in Taiwan, water rationing in 2021 prioritized the semiconductor industry (crucial for AI hardware) over agriculture, highlighting competing demands.

Golestan Radwan of UNEP cautions that with a quarter of the global population lacking access to clean water, AI's substantial water consumption could exacerbate scarcity and disrupt ecosystems.

The physical presence of data centers in the «cloud» belies their tangible impacts: they strain municipal water supplies, disrupt local biodiversity through water diversion, and contribute to broader hydrological imbalances [4].

The hardware that fuels this growth also imposes indirect but significant environmental burdens. Graphics processing units (GPUs), which are essential for managing AI workloads, necessitate complex fabrication processes that consume more energy than standard CPUs.

Market data indicates that shipments of data center GPUs increased from 2.67 million in 2022 to 3.85 million in 2023, with even more pronounced growth anticipated in 2024.

The production of these chips demands rare earth elements and critical minerals such as lithium, silicon, gallium, boron, and graphite – resources frequently extracted through environmentally harmful mining practices.

These operations lead to deforestation, soil erosion, groundwater depletion, and contamination with toxic chemicals, adversely affecting human health and biodiversity.

The processing and transportation of these materials further exacerbate carbon footprints. Additionally, electronic waste generated from outdated hardware poses further risks, as data centers produce hazardous substances like mercury and lead that can leach into environments if not managed properly [2].

Beyond direct infrastructural challenges, the applications of generative AI introduce emergent risks. AI-driven biological design, for instance, functions as a «black box» with opaque processes, potentially introducing untraceable life forms into ecosystems – such as self-spreading viruses for

pest control – that could inflict irreversible damage. In military contexts, AI could lower barriers to biological attacks, resulting in lasting ecological harm.

Even in civilian sectors, AI enhances efficiency in polluting industries: the oil and gas sector employs it to optimize exploration and identify new reserves, which could lower fossil fuel costs and encourage overconsumption. Autonomous vehicles powered by AI may shift preferences away from sustainable transportation options such as public transit or cycling, leading to increased emissions. Higher-order effects, including AI-generated misinformation that downplays climate change, could further undermine public support for environmental initiatives.

Marine ecosystems face new threats from innovative yet untested solutions like underwater data centers. Projects such as Microsoft's Natick aim to reduce cooling costs by submerging facilities, but the heat they release could raise local water temperatures, diminishing oxygen levels and disrupting nutrient cycles. This exacerbates climate-induced ocean warming, jeopardizing marine biodiversity and food webs.

The expansion of data centers also competes with other societal needs. Minerals required for AI hardware contend with those needed for renewable energy development, potentially hindering the green transition. In the U.S., companies like xAI are constructing gas-powered turbines for data centers, circumventing regulations and releasing thousands of tons of nitrogen oxides annually – pollutants detrimental to health and ecosystems. On a global scale, the energy demands of AI could redirect public funds away from social and environmental projects toward grid expansions, prolonging reliance on fossil fuels.

Conclusion. Despite these considerable challenges, the environmental trajectory of generative AI is not predetermined. As Olivetti and her colleagues argue in their 2024 paper, a comprehensive evaluation of costs versus benefits is crucial. UNEP's recommendations include standardizing impact metrics, requiring disclosures from companies, optimizing algorithms for energy efficiency, recycling resources, and integrating AI policies into broader environmental frameworks.

Transparency is vital: major providers often withhold energy data for proprietary models, impeding accurate assessments, unlike open-source alternatives.

In summary, while generative AI possesses significant potential for positive environmental impact – such as mapping methane emissions or optimizing resource utilization – its current trajectory remains unsustainable.

The technology's resource intensity, characterized by electricity-hungry data centers, water-dependent cooling systems, and mineral-heavy hardware, underscores the necessity for responsible development.

As the United Nations Environment Assembly prepared to address AI's impacts in December 2025, global stakeholders must prioritize sustainability.

By fostering regulations, promoting green innovations, and encouraging democratic oversight, we can leverage AI's benefits without compromising the health of our planet. The choice lies before humanity: to allow generative AI to serve as a tool for progress rather than a catalyst for environmental degradation.

References

- 1.Explained: Generative AI's environmental impact [Electronic resource]. – Mode of access: <https://news.mit.edu/2025/explained-generative-ai-environmental-impact> – Date of access: 25.02.2026
- 2.AI has an environmental problem. Here's what the world can do about that. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/ai-has-an-environmental-problem-here-what-the-world-can-do-about-that>. – Date of access: 26.02.2026.
- 3.The environmental impact of AI and how to mitigate it [Electronic resource]. – Mode of access <https://www.pwc.be/en/news-publications/2025/responsible-ai-environmental-impact.html>. – Date of access: 27.02.2026.
- 4.Understanding the Environmental Impact of Artificial Intelligence [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.snhu.edu/about-us/newsroom/stem/ai-environmental-impact>. Date of access: 01.03.2026.

THE FUTURE OF MICRO – AND NANOELECTRONICS

Teslyonok A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Markosyan E.I. – Cand. of Sci., Associate professor, Associate professor at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article examines the future development of micro– and nanoelectronics in the context of the approaching physical and economic limits of Moore’s Law. Key emerging technologies are analyzed, including two-dimensional materials (in particular InSe and 2D metals), neuromorphic computing, spintronics, three-dimensional heterogeneous integration (CFET, Forksheet) and advanced packaging solutions. The study highlights current challenges such as power consumption, heat dissipation and manufacturing scalability, while demonstrating how these innovations (including TSMC/Intel 2-nm processes 2025–2026 and wafer-scale InSe transistors) open new opportunities in artificial intelligence, quantum computing, energy-efficient systems and biomedical devices. It is shown that the transition to “beyond-CMOS” paradigms, supported by interdisciplinary research and international collaboration, will ensure transformative advances in electronics, increasing performance, sustainability and accessibility of next-generation devices.

Keywords: microelectronics, nanoelectronics, beyond Moore’s Law, two-dimensional materials, neuromorphic computing, three-dimensional integration, spintronics, heterogeneous systems.

Introduction. Micro– and nanoelectronics have been the cornerstone of technological progress for over five decades, powering everything from consumer devices to advanced computing systems. The exponential growth predicted by Moore’s Law has driven unprecedented increases in transistor density, speed and energy efficiency. However, as device dimensions approach the atomic scale, traditional silicon-based CMOS technology is encountering fundamental physical limits, including quantum tunneling, heat dissipation and skyrocketing manufacturing costs [1]. Modern research is shifting toward “More-than-Moore” and “beyond-CMOS” paradigms that integrate novel materials, architectures and functionalities to sustain innovation [2]. This article explores the future trajectory of micro– and nanoelectronics, focusing on emerging technologies, their applications and the prospects for overcoming current barriers.

Main part. One of the primary challenges facing conventional microelectronics is the slowing of Moore’s Law scaling [1]. At nodes below 3 nm, issues such as leakage current, parameter variability and thermal management become critical. In 2025–2026, leading companies such as TSMC and Intel are launching mass production of 2-nm (TSMC N2) and 20A/18A (Intel, 1.8 nm) processes. TSMC’s N2 process utilizes gate-all-around (GAA) nanosheet transistors and delivers up to 15 % higher performance and 30 % lower power consumption compared to the 3-nm node, while Intel’s 18A process introduces RibbonFET GAA transistors combined with PowerVia backside power delivery technology, reducing interconnect resistance by 30 % and improving energy efficiency by 25 % [4]. At the same time, research institutes (imec, CEA-Leti) are actively testing CFET (complementary FET) and Forksheet architectures. In CFET, n– and p-type transistors are stacked vertically with a common gate, achieving a 2× increase in transistor density at a 25 nm gate pitch. Forksheet technology adds dielectric isolation between n– and p-channels, further reducing parasitic capacitance and enabling sub-1 nm effective channel lengths [2].

To overcome these fundamental limits, researchers are intensively studying alternative materials and device concepts. Two-dimensional (2D) materials such as graphene, transition metal dichalcogenides (TMDs – MoS₂, WS₂), black phosphorus and especially the new “golden semiconductor” InSe possess atomic thickness (single layer ~0.7 nm), exceptional carrier mobility and a tunable bandgap (0.3–2.0 eV depending on layer number). In August 2025, a team from Peking University successfully fabricated the first 2-inch wafer-scale InSe films using metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD). The resulting transistors demonstrated electron mobility of 287 cm²/V·s, a subthreshold swing of only 67 mV/dec and an energy-delay product already surpassing the IRDS 2037 roadmap targets for silicon [6]. In addition, the synthesis of the first true 2D metals (bismuth, tin, lead, indium, gallium) with a record thickness of 6.3 Å was recognized as

the Physics World 2025 Breakthrough of the Year. These 2D metals enable zero-Schottky-barrier contacts, eliminating a major source of contact resistance in ultra-scaled devices [7].

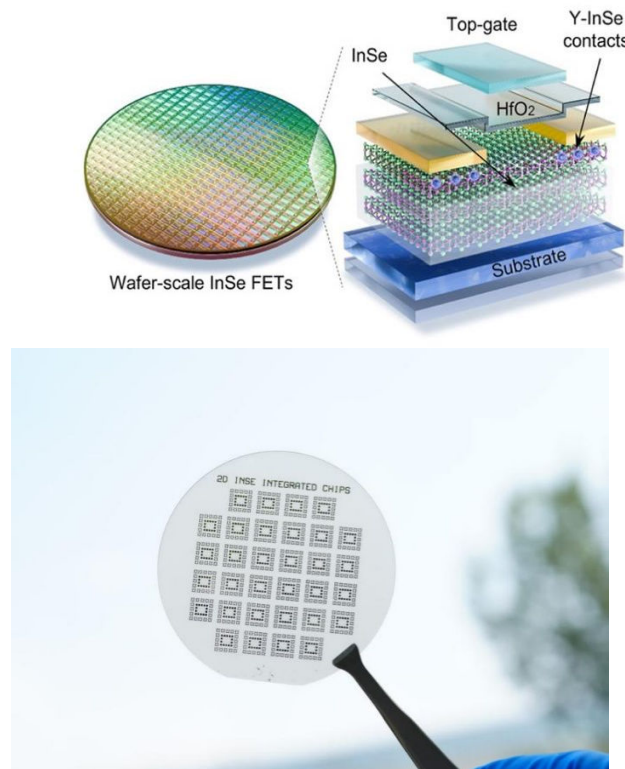


Figure 1 – Wafer-scale 2D InSe transistors (Peking University, 2025)

Another rapidly developing direction is neuromorphic computing, which emulates the architecture and principles of the human brain to achieve ultra-low-power information processing. Modern neuromorphic systems use 2D-material-based memristors, 3D crossbar arrays and photon-avalanching nanoparticles developed at Berkeley Lab (2025). These components enable true in-memory computing, eliminating the von Neumann bottleneck of constant data shuttling between memory and processor. For example, a 3D neuromorphic chip with 1 million memristive synapses can perform 10^{12} operations per second per watt – three orders of magnitude more energy-efficient than conventional GPUs [3]. Such solutions are especially promising for edge-AI applications in IoT devices, autonomous systems and biomedical implants, where power budget is limited to microwatts.

Spintronics represents a separate breakthrough area, using electron spin rather than charge for data storage and processing. Spin-transfer torque magnetic RAM (STT-MRAM) and spin-orbit torque (SOT) devices already demonstrate non-volatile operation, write energy below 1 pJ/bit and endurance exceeding 10^{15} cycles. Samsung and TSMC have integrated STT-MRAM into 7 nm and below processes for last-level cache, while hybrid CMOS-spintronic circuits allow simultaneous logic and memory functions with power dissipation reduced by 70 % compared to SRAM [5].

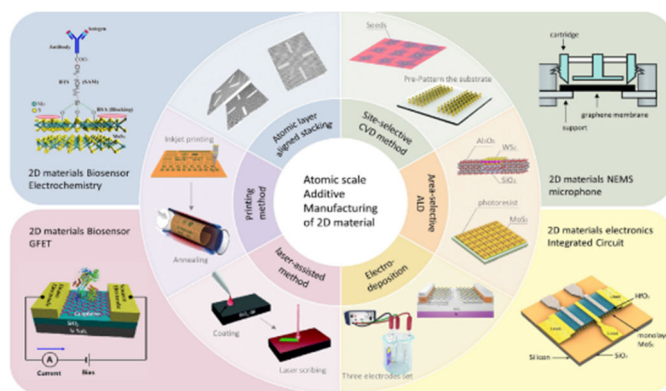


Figure 3 – 3D heterogeneous chip integration (DARPA and industry developments 2025)

The general scheme of future micro– and nanoelectronics development can be represented as a multi-stage process: from materials discovery and device prototyping through system-level integration and packaging to application-specific optimization and large-scale manufacturing.

Regarding the future prospects of micro– and nanoelectronics, the integration of advanced materials and architectures is still evolving, yet the potential is immense. As fabrication technologies mature, several key advancements are anticipated:

1 **AI-Driven Design and Optimization:** Machine learning algorithms will accelerate the discovery of new materials and circuit topologies, enabling rapid prototyping of custom devices tailored to specific applications.

2 **Quantum and Neuromorphic Hybrid Systems:** Combining classical nanoelectronics with quantum bits and brain-like processors will unlock unprecedented computational capabilities for complex simulations and AI training.

3 **Sustainable and Low-Power Electronics:** Focus on energy-harvesting nanomaterials and recyclable 2D devices will reduce the environmental footprint of electronics manufacturing and operation.

4 **Biomedical and IoT Integration:** Nanoelectronic sensors and implantable devices will enable real-time health monitoring and personalized medicine, while ultra-low-power chips will power the next wave of ubiquitous IoT networks.

Conclusion. Thus, the future of micro– and nanoelectronics lies in overcoming the limitations of traditional scaling through innovative materials, architectures and integration strategies. Thanks to the introduction of two-dimensional materials (InSe, 2D metals), neuromorphic and spintronic devices, as well as advanced three-dimensional packaging technologies (CFET, 3D stacking), the industry is ready to offer more powerful, efficient and sustainable electronic systems. These achievements will not only ensure further technological progress but also open new horizons in computing, healthcare, energy and communications. Continued investment in research infrastructure, interdisciplinary collaboration and workforce training will be the key condition for realizing the full potential of nanoelectronics and maintaining global leadership in this critically important area.

References

1. The Future of Moore's Law: Are We Nearing the Limit? [Electronic resource]. Mode of access: <https://patentpc.com/blog/the-future-of-moores-law-are-we-nearing-the-limit-latest-semiconductor-trends>. Date of access: 30.03.2026.
2. Advancing microelectronics through nanoscale science [Electronic resource]. Mode of access: <https://pubs.aip.org/aip/apr/article/12/4/041308/3368788/Advancing-microelectronics-through-nanoscale>. Date of access: 25.03.2026.
3. Scientists shine new light on the future of nanoelectronic devices [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.anl.gov/article/scientists-shine-new-light-on-the-future-of-nanoelectronic-devices>. Date of access: 26.03.2026.
4. Semiconductor and electronics industry trends 2025 [Electronic resource]. Mode of access: <https://blogs.sw.siemens.com/electronics-semiconductors/2024/12/11/semiconductor-and-electronics-trends-2025/>. Date of access: 27.03.2026.
5. The Future of Nanoelectronics: Trends and Predictions [Electronic resource]. Mode of access: <https://semiconductorinsight.com/blog/the-future-of-nanoelectronics-trends-and-predictions/>. Date of access: 27.03.2026.
6. New 2D material outperforms future silicon chips [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.futuretimeline.net/blog/2025/08/6-first-wafer-scale-fabrication-2d-indium-selenide-semiconductors.htm>. Date of access: 30.03.2026.
7. Pioneers of 2D metals win the Physics World 2025 Breakthrough [Electronic resource]. Mode of access: <https://physicsworld.com/a/pioneers-of-2d-metals-win-the-physics-world-2025-breakthrough-of-the-year/>. Date of access: 30.03.2026.

THE ROLE OF CRYPTOCURRENCIES AND BLOCKCHAIN IN THE MODERN ECONOMY

Tyupko A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article is devoted to the contribution of cryptocurrencies and blockchain to the transformation of the world economy. It describes the basic principles of blockchain functioning, the evolution of major cryptocurrencies such as Bitcoin and Ethereum, as well as their practical application in the areas of decentralized finance, cross-border payments, and supply chain management. The study also analyzes the advantages of these technologies and their current limitations.

Keywords: cryptocurrencies, blockchain, DeFi, Bitcoin, Ethereum, smart contracts, stablecoins

Introduction. In the modern digital economy, new technologies are actively developing. One of the main innovations of the 21st century is blockchain technology. This technology was introduced by the anonymous creator Satoshi Nakamoto in 2008 in the document “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”. Blockchain is a decentralized distributed ledger that stores transactions in a transparent and immutable way. Cryptocurrencies represent digital assets based on blockchain networks [1].

These technologies allow users to avoid intermediaries and reduce costs. Their role is not limited to speculative trading: they find application in banking, trade, and management. The purpose of this article is to analyze the impact of cryptocurrencies and blockchain on economic efficiency, identify the main trends in their implementation, and assess the prospects for development in the context of modern challenges.

Main part. Blockchain operates as a chain of blocks, where each block contains a set of verified transactions, a cryptographic hash of the previous block, and a timestamp. This mechanism ensures that changing one block requires changing all subsequent ones. Consensus mechanisms, such as Proof-of-Work or Proof-of-Stake, allow network participants to agree on the validity of transactions without a central intermediary [1, 2].

Launched in 2009, Bitcoin remains the main cryptocurrency. One of Bitcoin’s distinctive features is its fixed maximum supply [1]. Ethereum, launched in 2015, supports smart contracts. Smart contracts are self-executing agreements that automatically execute when predefined conditions are met [2]. This technology forms the basis of decentralized finance (DeFi) and decentralized applications (dApps).

A critical evolution has been the emergence of stablecoins. Designed to solve the high volatility of assets like Bitcoin, these tokens are pegged to stable reserves, most commonly the US dollar. By maintaining a consistent value, they serve as a crucial bridge between traditional fiat currencies and the blockchain economy. This allows users in unstable economies to protect themselves from inflation by holding a dollar-pegged asset. However, this dual nature also exposes holders to a «double shock» risk: a stablecoin can lose value not only if its underlying fiat reserve collapses, but also if the crypto market experiences a crash or a technical failure of the issuing platform [5].

In the modern economy, cryptocurrencies play several key roles. First, they have made money transfers simpler and more accessible. Traditional money transfers can take 3–5 days and cost 5–7% in fees [3]. Crypto solutions, such as stablecoins or the Lightning Network for Bitcoin, allow almost instant transfers with low fees.

Second, blockchain increases transparency and efficiency in logistics chains and trade finance. Many large companies, such as BMW, use blockchain in logistics [4]. All stages – production, delivery, customs clearance – are recorded immutably, which reduces fraud, bureaucracy, and conflicts. This leads to faster customs clearance and lower operating costs.

Third, decentralized finance (DeFi) is capable of challenging traditional banking. As analysts of the Bank for International Settlements note, DeFi platforms such as Aave and Uniswap demonstrate steady growth, providing lending and trading without traditional intermediaries, which creates both new opportunities and possible risks for financial stability [5]. A key metric for this sector is the Total Value Locked (TVL), which represents the total assets deposited in DeFi protocols. As shown in Figure 1, the TVL has seen significant expansion, underscoring the sector's rapid growth [8].

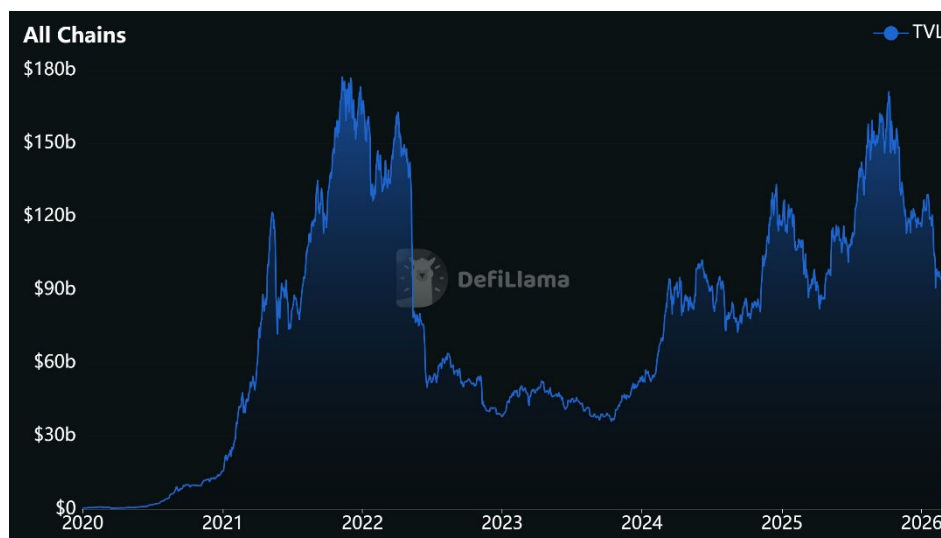


Figure 1 – Total Value Locked in DeFi, billion USD, 2020–2026.

However, blockchain and cryptocurrencies also bring new problems. Security risks, including exchange hacks and smart contract vulnerabilities, have led to losses of billions of dollars [6]. In addition, the pseudonymous nature of transactions raises concerns about money laundering and illegal financial activities, which prompts government regulators to introduce stricter “Know Your Customer” and anti-money laundering requirements [7].

Conclusion. The application of cryptocurrencies and blockchain has already significantly changed the modern economy. As technologies develop, blockchain will strengthen its role in logistics, and DeFi will pose an increasingly serious competition to traditional banks. However, further growth requires both improvements in security and legal reforms that can ensure the stability of the cryptocurrency market.

References

1. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System [Electronic resource]. Mode of access: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Date of access: 25.02.2026.
2. Buterin V. Ethereum Whitepaper: A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform [Electronic resource]. Mode of access: <https://ethereum.org/en/whitepaper/>. Date of access: 25.02.2026.
3. Remittance Prices Worldwide [Electronic resource] / The World Bank. Mode of access: <https://remittanceprices.worldbank.org/>. Date of access: 26.02.2026.
4. Wendt A. BMW Group uses Blockchain to drive supply chain transparency [Electronic resource] / Andreas Wendt, Saskia Graser // Press release BMW Group. – Munich, 2020. Mode of access: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0307164EN/bmw-group-uses-bl>. Date of access: 28.03.2026.
5. Aquilina M., Cornelli G., Frost J., Gambacorta L. Cryptocurrencies and decentralised finance: functions and financial stability implications // BIS Papers No 156. April 2025 [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.bis.org/publ/bppdf/bispap156.pdf>. Date of access: 27.02.2026.
6. Chainalysis. Collaboration in the Wake of Record-Breaking Bybit Theft [Electronic resource] / Chainalysis Inc. // Official website Chainalysis. – New York, 2025. Mode of access: <https://www.chainalysis.com/blog/bybit-exchange-hack-february-2025-crypto-security-dprk/>. Date of access: 01.03.2026.
7. Financial Crimes Enforcement Network (FinCEN). Application of FinCEN's Regulations to Persons Administering, Exchanging, or Using Virtual Currencies: Guidance FIN-2013-G001 [Electronic resource] // U.S. Department of the Treasury. – Washington, D.C., 2013. Mode of access: <https://www.fincen.gov/resources/statutes-regulations/guidance/application-fincens-regulations-persons-administering>. Date of access: 01.03.2026.
8. DeFiLlama. DeFi Dashboard & Crypto Analytics [Electronic resource] // DeFiLlama. – Mode of access: <https://defillama.com/>. – Date of access: 28.02.2026.

A REVOLUTION IN MEMORY SAFETY: A COMPARATIVE STUDY OF RUST, GO, AND MODERN C++ WITH CONTEMPORARY MEMORY PROTECTION MECHANISMS

Ustimchuk R. V., Shubaba M. I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alekseev V.F. – PhD, assistant professor, associate professor of the department of ICSD,

Lasarenko A.M. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This paper examines the problem of memory safety in systems programming and analyzes the evolution of approaches to addressing it in modern programming languages. A comparative study of memory management models and protection mechanisms implemented in Rust, Go, and modern C++ is conducted in terms of reliability, performance, and vulnerability prevention.

Keywords. Memory safety, systems programming, Rust, Go, C++, memory management, software vulnerabilities

Introduction. In recent decades, software security has become one of the key tasks in the field of systems programming, since a significant portion of critical vulnerabilities is directly related to memory management errors [1,2]. Buffer overflows, use-after-free, double freeing of resources, and data races remain the main causes of failures and compromise of software systems, including operating systems, network services, and embedded platforms [1,2,3].

Traditional systems programming languages such as C and C++ provide the developer with a high level of control over resources; however, they place full responsibility for correct memory handling on the developer, which significantly increases the likelihood of errors in complex and large-scale projects [2,3]. In this regard, a stable trend has formed in the software industry toward transitioning to languages and technologies that ensure memory safety at the level of the language, compiler, and standard library [1,3].

The purpose of this work is to analyze modern approaches to ensuring memory safety and to conduct a comparative study of Rust, Go, and modern C++ in terms of the protection mechanisms used, their effectiveness, and their impact on the performance of software systems.

Main part. Systems programming languages such as C and C++ historically provided the developer with full control over memory, which made it possible to achieve maximum performance and precise resource management. However, this approach places all responsibility for correct memory handling on the programmer. Even with a high level of qualification, the probability of errors remains significant, especially in large and long-lived codebases [2,3].

In recent years, a steady shift has formed in the software industry toward the use of programming languages that provide built-in guarantees of memory safety [1,3]. This process is often characterized as a revolution in the field of memory safety, since it is aimed at eliminating entire classes of vulnerabilities at the level of the language, compiler, and standard library, rather than through external analysis and testing tools [1,2].

One of the most radical approaches is the model implemented in the Rust language. Memory safety here is ensured through a strict system of ownership, borrowing, and lifetimes of objects, verified by the compiler at the stage of transforming the program's source code into machine code or bytecode understandable to the processor [3,4,7]. Each value has a single owner, and borrowing rules prevent simultaneous unsafe access to data. As a result, errors such as use-after-free, double freeing of memory, and data races are impossible in safe Rust code [3,7].

A fundamentally important feature of Rust is the transfer of memory management correctness checks from the execution stage to the compilation stage [3,4]. This makes it possible to achieve high reliability without using a garbage collector and the associated overhead. When low-level operations are required, the language allows the use of unsafe blocks.


```
unsafe{
    //unsafe code block.
}
```

Figure 1 – Designation of an unsafe code block in Rust

However, they are explicitly marked and isolated, which reduces the risk of error propagation throughout the entire codebase [3,7].

The Go language implements an alternative approach based on automatic memory management using a garbage collector [8].

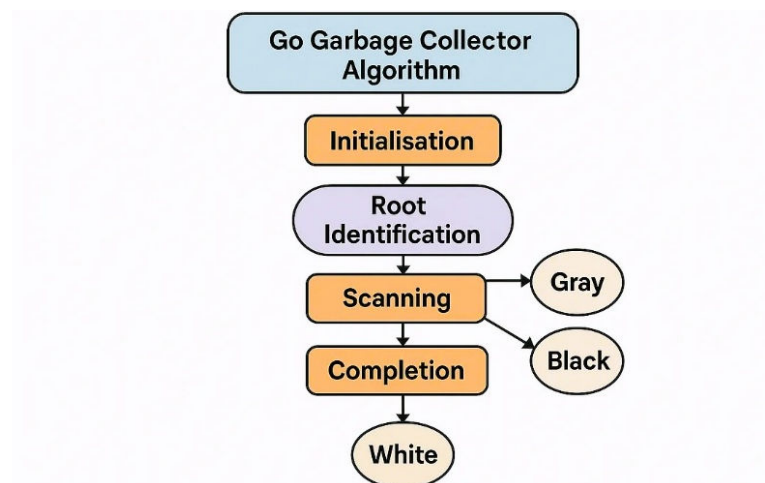


Figure 2 – Garbage collector algorithm in Golang

The developer is freed from the need to manually manage the lifetime of objects, which eliminates a number of errors typical for C and C++. Additional checks of array bounds and references are performed during program execution, which increases the overall robustness of applications [8].

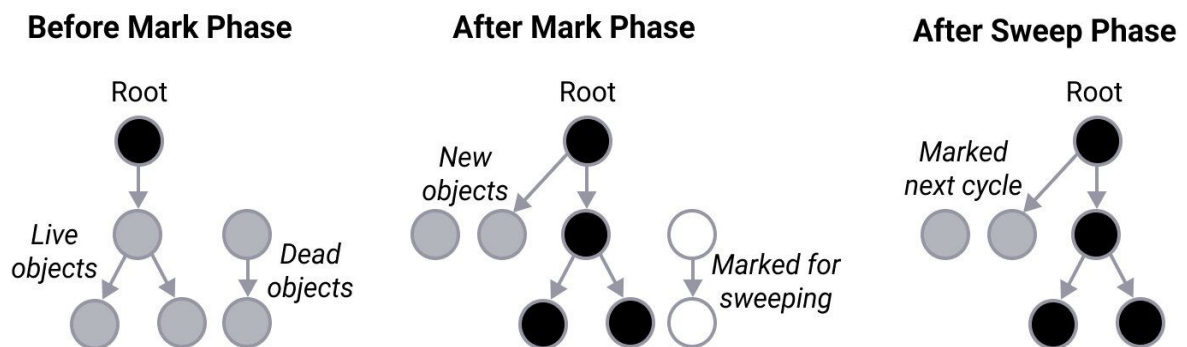


Figure 3 – Principle of garbage collector operation in Golang

The principle of the garbage collector operation is as follows: Mark: locating and marking all reachable objects from a set (for example, in the heap).

Sweep: traversing all objects in the heap, then erasing unreachable ones and returning them to the pool of free memory [8].

Despite the increase in safety, the use of a garbage collector in Go leads to runtime overhead and potentially unpredictable pauses, which may be critical for systems with strict latency requirements [6,8].

In addition, automatic memory management does not prevent logical data races; responsibility for synchronization still remains with the developer [8].

Modern C++ occupies an intermediate position between the classical low-level approach and languages with strict memory safety guarantees.

Mechanisms such as the RAII idiom, smart pointers, standard library containers, and a strict type system have been introduced into the language [2,7]. External static and dynamic analysis tools are also used, including sanitizers and formal analyzers [2].

However, the key limitation of C++ remains the absence of mandatory memory safety guarantees [2,7].

The use of protective mechanisms depends on developer discipline and project practices. This leads to the fact that even modern C++ projects remain vulnerable to classic memory management errors, especially when working with legacy code [2,3].

A comparative analysis of practical cases shows that transitioning to languages with guaranteed memory safety can significantly reduce the number of critical vulnerabilities.

Large technology companies, including Google, Microsoft, Cloudflare, and Discord, report a reduction in the number of security incidents after introducing Rust into system components [1,3,5,6].

From the performance perspective, Rust demonstrates results comparable to C++, and in a number of scenarios provides more stable latency due to the absence of a garbage collector [4,6,7]. Go, in turn, shows sufficient performance for most server and network applications; however, it is inferior to Rust and C++ in real-time systems and high-frequency workloads [6,8].

Conclusion. Thus, modern programming languages represent different philosophies for solving the problem of memory safety. Rust is focused on formal guarantees and error prevention at the compilation stage [3,4], Go – on simplifying development and automating resource management [8], and C++ – on maximum control and flexibility provided that the developer has high qualifications [2,7].

The revolution in the field of memory safety reflects a general shift in the industry toward preventing vulnerabilities at early stages of the software life cycle [1,2].

The choice of programming language should be determined by requirements for security, performance, and scalability, as well as acceptable trade-offs between control and reliability [7,8].

References

1. Rebert, A. Safer with Google: Advancing Memory Safety [Electronic resource] / A. Rebert, C. Carruth, J. Engel, A. Qin // Google Security Blog. – 2024. – Access mode: <https://security.googleblog.com/2024/10/safer-with-google-advancing-memory.html>. – Access date: 13.01.2026.
2. Gregory, J. Can memory-safe programming languages kill 70% of security bugs? [Electronic resource] / J. Gregory // IBM News – Security. – 2023. – Access mode: <https://www.ibm.com/security/news/security-bugs>. – Access date: 22.01.2026.
3. MSRC Team. Why Rust for safe systems programming [Electronic resource] // Microsoft Security Response Center Blog. – 2019. – Access mode: <https://msrc.microsoft.com/blog/2019/07/why-rust-for-safe-systems-programming/>. – Access date: 26.01.2026.
4. Yadav, A. Rust vs. C++ Performance: Analyzing Safe and Unsafe Implementations in System Programming [Electronic resource] / A. Yadav // ResearchGate. – 2025. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/388221456_Rust_vs_C_Performance_Analyzing_Safe_and_Unsafe_Implementations_in_System_Programming. – Access date: 03.02.2026.
5. Wu, Y. How we built Pingora, the proxy that connects Cloudflare to the Internet [Electronic resource] / Y. Wu, A. Hauck // Cloudflare Blog. – 2022. – Access mode: <https://blog.cloudflare.com/how-we-built-pingora-the-proxy-that-connects-cloudflare-to-the-internet/>. – Access date: 10.02.2026.
6. Howarth, J. Why Discord is switching from Go to Rust [Electronic resource] / J. Howarth // Discord Engineering Blog. – 2020. – Access mode: <https://discord.com/blog/why-discord-is-switching-from-go-to-rust>. – Access date: 15.02.2026.
7. Apriorit. Rust vs C++ Comparison [Electronic resource] // Apriorit – Technical Blog. – 2025. – Access mode: <https://www.apriorit.com/tech-blog/rust-vs-cpp-comparison>. – Access date: 15.02.2026.
8. JetBrains. Rust vs Go: Which one to choose in 2025 [Electronic resource] // The RustRover Blog (JetBrains). – 2025. – Access mode: <https://blog.jetbrains.com/rust/2025/06/rust-vs-go-which-one-to-choose-in-2025/>. – Access date: 12.02.2026.

THE DEVELOPMENT OF A CRYPTOALGORITHM BASED ON DOMESTIC STANDARDS

Vasilevsky I. P., Dobygin M. D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I. V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. A symmetric cryptoalgorithm based on the GOST 28147-89 standard has been developed and implemented. The algorithm provides a high degree of plaintext dispersion and processing speed. The possibility of independent decryption of blocks has been implemented, which makes it possible to extract information in case of damage to individual parts of the ciphertext. The results are applicable in government agencies and backup systems.

Keywords: information security, cryptographic algorithm, symmetric encryption, domestic standards

Introduction. Cybersecurity is a major concern for businesses, governments, and individuals around the world. As cybercrime continues to grow, it is more important than ever to protect sensitive data. Encryption is an important tool to achieve this goal by converting data into encrypted text using a set of mathematical procedures known as an encryption algorithm. In this work, only the symmetric type of encryption will be considered, the most famous examples of which are DES, AES and the domestic GOST 28147-89.

Main part. GOST 28147-89 [1] [2] is a block cipher adopted as a standard for block encryption algorithms with a private key in 1989. The cipher proposed by GOST 28147-89 is built according to the same principles as the American DES, however, in comparison with DES, the domestic encryption standard is more convenient for software implementation. The main parameters of the cryptographic data conversion algorithm GOST 28147-89 are as follows: the block size is 64 bits, the key size is 256 bits, and the number of rounds is 32.

One of the algorithms for encrypting (decrypting) data of the GOST 28147-89 standard is the simple replacement mode. This is the simplest mode in which 64-bit data blocks are processed independently of each other.

Encryption by the GOST 28147-89 [1] standard in the simple replacement mode has both positive and negative sides. Positive ones:

1 Simplicity. For simple substitution encryption using the GOST 28147-89 algorithm, it is only necessary to split the data into blocks of 8 bytes each.

2 The possibility of parallelization. Since the blocks are not interconnected, nothing prevents the task from being distributed across multiple processor cores and processing multiple blocks at once.

3 Damage to a single block or a change in the sequence of blocks does not prevent decryption of the remaining blocks in the chain.

The main disadvantage of this mode is the preservation of the statistical features of the plaintext, since the same ciphertext blocks correspond to the same plaintext blocks.



Figure 1 – Plaintext in the form of an image

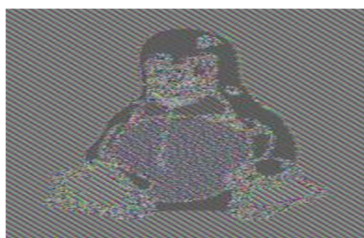


Figure 2 – Cryptogram obtained using the simple substitution mode



Figure 3 – Cryptogram obtained in a mode other than simple substitution

shown in Figures 1, 2, and 3. The first figure shows plaintext in the form of an image. The second figure shows a cryptogram obtained using the simple substitution mode, which shows the preservation of the statistical features of the plaintext, which makes encryption secure. To solve this problem, various modes have been invented, such as the ciphertext block coupling mode, ciphertext feedback mode, output feedback mode, and others [5]. While these alternative modes effectively address the issue of statistical pattern preservation, they introduce a new set of operational drawbacks. Their design inherently links ciphertext blocks to their predecessors, creating a dependency chain. The result of encryption using such modes is shown in Figure 3, where the original image structure is completely obfuscated. However, this security comes at a cost, as modern encryption (decryption) modes have the following problems, namely:

1 The inability to parallelize encryption/decryption. This significantly slows down the process of encrypting a large amount of data.

2 Changing the sequence of blocks or damaging a single block prevents decryption of the remaining blocks in the chain.

3 The complexity of the implementation. Such modes of operation are more difficult to create and require more calculations.

The conflict between the need for statistical dispersion and the desire to retain the operational benefits of parallelization and fault tolerance presents a significant challenge. The simple replacement mode offers speed and resilience but is cryptographically weak. Conversely, existing chaining modes provide robust security but sacrifice performance and data recovery capabilities. This situation motivated the search for a compromise solution that combines the strengths of both approaches.

The following cryptoalgorithm has been developed to solve these problems.

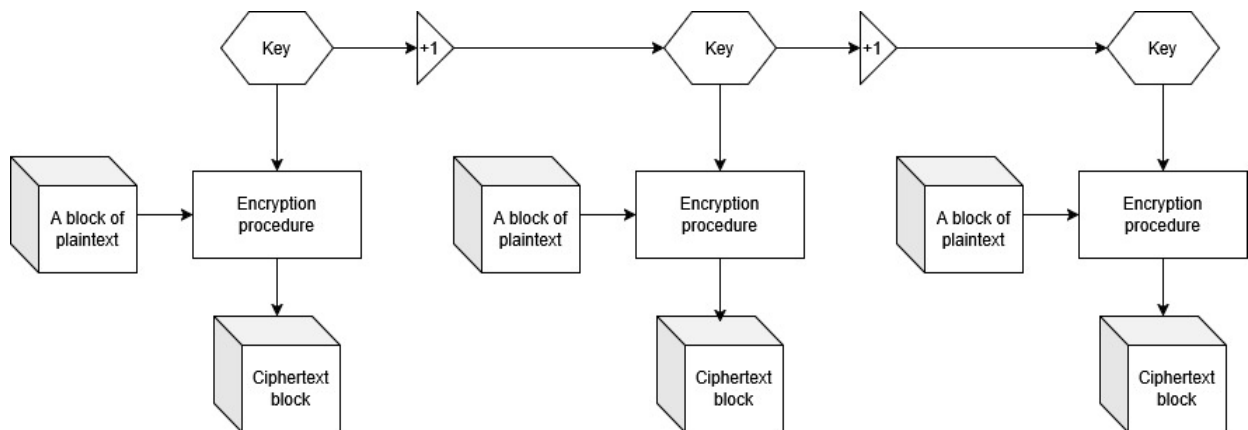


Figure 4 – Cryptoalgorithm

A key aspect of the proposed solution is the dynamic generation of the encryption key for each individual block. Instead of complicating the connections between blocks, this approach complicates the key material itself, making it unique for every segment of data. This ensures that even if the same plaintext block appears multiple times within a message, the resulting ciphertext blocks will be completely different, thereby eliminating statistical pattern leakage. Furthermore, by deriving the per-block key from a base secret using a simple deterministic function, the scheme retains the independent block processing characteristic of the simple replacement mode, preserving its advantages in parallel computing and fault tolerance.

Let P_i be the i th block of plaintext, C_i be the i th block of ciphertext, E – be the encryption procedure, k be the key, then

$$\begin{aligned} k_i &= k_0 + i \\ C_i &= E_k(P_i) \end{aligned}$$

That is, one of the 2^{256} keys is generated for each block, which eliminates repetition on any practically achievable amounts of data. The decryption block diagram is analogous to the encryption scheme. This cryptalgorithm has a number of advantages over those listed above:

- 1 The algorithm is simple to implement and does not require complex constructions.
- 2 Since the plaintext and ciphertext blocks are not connected to each other in any way, this allows you to distribute calculations between processor cores and increase the speed of both encryption and decryption.
- 3 Damage or modification of the sequence of individual blocks does not prevent the decryption of other blocks in any way.

To demonstrate the operation of the proposed cryptalgorithm, a software implementation capable of encrypting and decrypting text data was developed. Thanks to it, it is possible to visually see the differences in processing speed using multithreaded mode and decryption of previously corrupted ciphertext. The program successfully decrypted the remaining part of the ciphertext.

Table 1 – Testing of the developed cryptalgorithm

Mode	Single-threaded		Multithreaded (4 threads)	
	1	2	3	4
Encryption	19747ms	19786ms	5542ms	5501ms
Decryption	19986ms	19845ms	5453ms	5433ms

The practical significance of the developed cryptalgorithm extends beyond mere performance metrics. Its architecture is particularly well-suited for modern distributed storage systems and cloud environments, where data is often fragmented across multiple physical locations. In such systems, the ability to decrypt surviving fragments independently– without relying on the integrity of the entire dataset– provides a critical layer of resilience against partial data corruption or loss. This fault-tolerant property, combined with the observed acceleration on multi-core processors, positions the proposed algorithm as a viable solution for high-load information systems where both security and availability are paramount.

Thus, the proposed cryptographic algorithm makes it possible to effectively disperse the statistical features of the text due to the changing key, and provides significant performance gains with an increase in the number of cores, which is confirmed by the results of experimental testing (Table 1). The algorithm's fault tolerance to damage to individual ciphertext segments was also confirmed, which is a critical factor for high-capacity data storage systems.

Conclusion. In the course of the research work, a symmetric cryptalgorithm was developed and implemented, based on the domestic standard GOST 28147-89. It is important to note that the proposed cryptographic algorithm is compatible with any block ciphers, for example, AES, DES, «Grasshopper» or the BelT algorithm [4], which, according to STB 34.101.31-2020 [3], is mandatory for all organizations and enterprises of the Republic of Belarus in accordance with the requirements of the Operational Analytical Center under the President of the Republic of Belarus.

References

1. GOST 28147-89. Information processing systems. Cryptographic protection. Cryptographic transformation algorithm. Introduced 1990-07-01. Moscow: IPK Izdatelstvo Standartov, 1989. – 28 p.
2. Vinokurov, A. GOST 28147-89 encryption algorithm, its use and software implementation for Intel x86 platform computers. – Mode of access: <https://kaf401.rloc.ru/Criptfiles/gost28147/GOST28147.htm> – Date of access: 05.03. 2026.
3. STB 34.101.31-2020. Information technology and security. Cryptographic algorithms for encryption and integrity control. Introduced 2020-11-01. Minsk: Gosstandart, 2020. – 46 p.
4. Agievich, S. V., et al. BelT block cipher algorithm [Electronic resource]. National Research Center for Applied Problems of Mathematics and Informatics, BSU. – Mode of access: <https://apmi.bsu.by/assets/files/agievich/BelT.pdf> – Date of access: 05.03. 2026..
5. Babenko, L. K., & Ishchukova, E. A. Cryptographic information protection: symmetric encryption: Textbook. Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, 2015. – 220 p.

SELF-DRIVING CARS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON THE ROADS

Yatsevich G. V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Likhtarovich I. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article provides an overview of self-driving vehicles and associated artificial intelligence technologies. It examines sensor systems and AI algorithms used in autonomous cars, discusses the benefits of driverless vehicles, such as improved road safety and enhanced accessibility, and considers the technical, legal and societal challenges that affect the future development of automated transport.

Keywords. autonomous vehicles, artificial intelligence, machine learning, sensor fusion, LiDAR, road safety, ethics.

Introduction. Road traffic accidents are one of the leading causes of death worldwide. The World Health Organization estimates that 1.19 million lives are lost per annum as a result of road traffic crashes [1].

Concurrently, rapid progress in the field of artificial intelligence has seen the emergence of autonomous vehicle technology from a concept reserved for science fiction to a reality. Also known as driverless cars, autonomous vehicles are one of the most revolutionary inventions of the 21st century and could see thousands on the roads by 2030.

With this in mind, there is an ever-pressing need to evaluate the safety, legislation and societal effect of autonomous vehicles.

This paper aims to examine and present an overview of the infrastructure and AI used by an autonomous vehicle, the advantages, limitations, legislative concerns and ethical dilemmas associated with autonomous cars.

Main part. A self-driving car is an autonomous motor vehicle that is capable of understanding the conditions on the road around it and making driving decisions independently [1]. With the help of an onboard computer the vehicle will be able to detect the conditions, take decisions, and respond.

SAE International have defined the 6 levels of autonomous driving, 0 through 5 [2]. 0 and 1 are forms of driving assistance where the human remains in full control of the car while levels 3 to 5 assign responsibility for driving to the vehicle, reaching full responsibility in level 5.

Safe autonomy necessitates that the vehicle be capable of sensing and understanding its surroundings.

Contemporary AVs use a suite of integrated, overlapping sensors to achieve this: cameras detect road signs and markings, radar effectively provides accurate distances and relative velocities even in poor weather conditions, LiDAR builds precise 3D representations of the environment, and GPS data aligns all sensor inputs with high-definition, stored maps [3]. Combining these sensors creates a complete, fault-tolerant, redundancy of world representation.

The second aspect of safe autonomy requires four steps from the AI once sensory data is captured. The four steps in order are:

- 1 Perception – which detects object classifications, pedestrian identification, lane detection etc.
- 2 Prediction – predicting behavior of others and vehicles in the surrounding environment.
- 3 Planning – calculating a desired path.
- 4 Control – which manipulates the steering wheel and accelerator/brake to implement the calculated path [4].

While the Perception and Prediction steps generally use deep learning (i.e. Convolutional Neural Networks) which has been trained on many billions of driving scenarios, path planning often uses reinforcement learning.

Safety remains the strongest driving force behind autonomous vehicles, as over 90% of traffic accidents are the result of human error (e.g. distracted driving, drowsy driving, driving under the influence). With the introduction of autonomous vehicles as a substitute and/or supplement to human drivers, crashes are expected to decrease.

Beyond safety considerations, accessibility represents a critical benefit to the older adults and individuals with physical disabilities, allowing them independence of travel. Through vehicle-to-vehicle communication congestion is reduced and occupants have the ability to be productive. Fuel efficiency gains are also predicted to decrease fuel use and pollution levels due to more optimized driving.

Despite their enormous potential, technical and societal hurdles abound for AVs. While currently, sensor performance plummets under weather conditions such as snow, fog and rain, edge cases – infrequently occurring circumstances that are disproportionately rare in an AI system's training set – remain a significant challenge for even sophisticated AVs.

A major technical hurdle for autonomous vehicles is the increased risk of cyber-attack, since the highly connected nature of AVs presents more points-of-entry through which attacks could occur to cause accidents or bringdown systems.

Although prices are expected to decrease considerably due to scaling in hardware, components such as LiDAR are still prohibitively expensive to purchase for individual consumers. High profile accidents have also damaged public perception of AV technology.

The ethical questions associated with autonomous vehicles go much further than those relating to the technologies used.

One of the most significant ethical dilemmas to overcome in relation to autonomous vehicles relates to the question of moral responsibility. If an accident involving an autonomous vehicle occurs, and it is impossible to avoid, who should be blamed: the manufacturer, the programmers, the vehicle owner or the autonomous system itself?

An experiment conducted by Bonnefon, Shariff and Rahwan showed that there are paradoxes in people's moral views regarding the programming of autonomous vehicles; whilst most people seem to agree with Utilitarianism and would choose an a decision-making system that minimises the overall number of deaths, no one seems willing to buy the car if its algorithm prioritizes an algorithm to kill its occupants [5].

This disparity in attitudes regarding self-interest versus the interests of others creates a substantial regulatory dilemma. There are very few established legal frameworks that outline liability for autonomous systems in any country; and international standards regulation, as well as transparency for autonomous algorithms have yet to be formed.

Conclusion. Transportation is being radically changed by artificial intelligence. Machine learning, sensing and computing advances are gradually bringing self-driving cars within the realm of possibility. These vehicles could have a transformative impact in making transport safer, more efficient and accessible. But realizing their full potential will require addressing tough technical, ethical, legal and social issues. Forward planning must involve governments, engineers, ethicists and society – to ensure a fair development and adoption of autonomous vehicles.

References

1. *Global Status Report on Road Safety [Electronic resource] / World Health Organization.* – Geneva : WHO Press, 2023. — Mode of access : <https://www.who.int/publications/i/item/9789240086906> — Date of access : 25.03.2025.
2. *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (J3016) [Electronic resource] / SAE International.* – Warrendale : SAE International, 2021. — Mode of access : https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/ — Date of access : 25.03.2025.
3. Grigorescu, S. *A Survey of Deep Learning Techniques for Autonomous Driving / S. Grigorescu [et al.] // Journal of Field Robotics.* — 2020. — Vol. 37, No. 3. — P. 362–386.
4. Goodfellow, I. *Deep Learning / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville.* — Cambridge : MIT Press, 2016. — 800 p.
5. Bonnefon, J. F. *The Social Dilemma of Autonomous Vehicles / J. F. Bonnefon, A. Shariff, I. Rahwan // Science.* — 2016. — Vol. 352. — P. 1573–1576.

THE ERA OF «AGENTIC AI»: WHEN CHATBOTS STARTED DOING THINGS

Yefimau M. I., Baulina I. P.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Perevyshko A. I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article is devoted to the evolution of artificial intelligence (AI) systems from reactive models to autonomous agentic structures. Their main advantages are emphasized. Special attention is given to main characteristics and working principles of Agentic AI. It is pointed out the significance of further advances in the developing AI systems.

Keywords: Agentic AI, autonomous systems, iterative cycle, planning, multi-agent systems, digital transformation.

Introduction. In the modern field of computer science, there is a fundamental transformation of artificial intelligence (AI) systems, characterized by a shift from reactive linguistic models to autonomous agent structures (Agentic AI). While previous iterations of large language models primarily operated within the «query-response» paradigm, generating text content based on statistical patterns, modern agent systems exhibit a distinct sense of agency [1]. The primary objective of this article is to analyze the mechanisms that transform AI from a passive information intermediary into an active digital actor capable of independently planning and executing complex tasks in dynamic environments.

Main part. A distinctive feature of agent-based AI is the presence of an architecture that ensures a closed loop of autonomous functioning [1]. Unlike standard chatbots, the agent's operational cycle includes the stages of environment perception, decomposition of a high-level goal into a sequence of subtasks, and selection of relevant tools. This iterative approach allows the system to interpret execution errors as feedback for optimizing its future strategy. The technological complexity of Agentic AI stems from the integration of several critical cognitive modules, including strategic planning based on chain-of-thought (CoT) reasoning and advanced tree-search algorithms. These algorithms allow the model to simulate multiple potential outcomes before committing to a specific digital action, effectively creating a «mental sandbox» for problem-solving. This simulation-based approach minimizes the probability of stochastic errors by evaluating the syntactic and semantic validity of a planned action before its actual deployment in the production environment.

The use of external vector data stores, often implemented through Retrieval-Augmented Generation (RAG), combined with a short-term context window, enables the accumulation of experience and the preservation of long-term system states [4]. Furthermore, the synchronization between episodic and semantic memory modules allows the agent to generalize from previous experiences, thereby reducing the computational cost of repetitive task planning. This dual-layer memory architecture is crucial for maintaining consistency across long-duration tasks that may span several days or involve thousands of individual sub-steps [6]. Furthermore, the implementation of «self-reflection» loops allows the agent to critique its own intermediate outputs. If a generated solution fails to meet predefined logical constraints, the agent can autonomously trigger a correction cycle, bypassing the need for human intervention.

The most important element is the action space, which is a set of software interfaces for interacting with the external world. This includes code execution in isolated «containerized» environments, direct API interaction, and autonomous navigation in browser-based interfaces. The robustness of the action space is further enhanced by the implementation of feedback-driven wrappers that translate raw system outputs into structured data, suitable for the model's internal perception module. These capabilities are complemented by a continuous monitoring module that tracks changes in the external environment, ensuring the agent can adapt to real-time data fluctuations. As agents move from sandboxed environments to production-level systems, the necessity for robust «Guardrails» becomes paramount. These are programmatic constraints that prevent the agent from

executing high-risk or irreversible commands, such as unauthorized financial transactions or critical system deletions, without explicit supervisor approval [7].

Special attention should be paid to the development of multi-agent systems (MAS), where problem-solving is achieved through the orchestration of multiple specialized models. In such ecosystems, there is a rigorous division of cognitive labor: separate modules are responsible for generating solutions, performing adversarial critical analysis, and managing resource coordination. This modularity not only increases the reliability of the system but also allows for the integration of heterogeneous models, where each agent is optimized for a specific domain [4]. This shift from individual processing to collaborative cognitive labor necessitates the development of standardized inter-agent communication protocols to prevent logical conflicts and deadlocks during collective problem-solving.

The deployment of Agentic AI also faces the critical challenge of balancing reasoning depth with operational latency. High-level planning requires significant computational overhead, which can lead to delays in execution. To optimize this, modern architectures are adopting a hierarchical approach where a lightweight model manages routine subtasks, while a more sophisticated «orchestrator» handles strategic decision-making [5]. Empirical data suggests that such hierarchical structures significantly reduce the inference latency, making autonomous agents viable for real-time applications in telecommunications and automated financial trading. This division of labor ensures that the system remains responsive while maintaining its ability to solve complex, non-linear problems.

Furthermore, the issue of «explainable agency» is becoming central to the development of trusted autonomous systems [4]. As agents begin to operate in high-stakes environments, it is no longer enough for the system to simply produce a result. It must provide a transparent, human-readable audit trail of its internal reasoning process. This transparency allows human supervisors to intervene if the agent's logic begins to drift toward unintended or risky shortcuts, ensuring that the AI's goals remain strictly aligned with human intent.

In addition to internal logic, the scalability of agentic systems is increasingly dependent on cloud-native integration and distributed computing [7]. By leveraging containerized microservices, agents can dynamically scale their processing power depending on the complexity of the task at hand. This framework is essential for industrial-scale automation where reliability and resource efficiency are the primary benchmarks of success. The integration of these systems into corporate infrastructures also necessitates a rethinking of digital identity. As agents act on behalf of users, the boundaries of legal and technical responsibility become blurred [2]. The problem of goal alignment becomes central, requiring the agent to consider ethical and operational constraints rather than simply finding the shortest path to a result.

Conclusion. The analysis confirms that the era of agent-based AI marks a significant leap forward in the development of automation technologies. The transformation of AI from a tool into an autonomous agent changes the nature of human-machine interaction, shifting the focus from detailed instructions to goal-setting management. This transition represents a move toward «Artificial General Intelligence» (AGI) characteristics within specialized domains. The future of this field will depend on the scientific community's ability to ensure the transparency of decision-making algorithms and create architectures that combine high autonomy with guaranteed predictability and safety in dynamic digital environments.

References

1. What is agentic AI? [Electronic resource]. – Mode of access: <https://cloud.google.com/discover/what-is-agentic-ai#agentic-ai-versus-generative-ai>. – Date of access: 14.02.2026.
2. What is agentic AI? [Electronic resource]. – Mode of access: <https://cloud.google.com/discover/what-is-agentic-ai#agentic-ai-versus-generative-ai>. – Date of access: 21.02.2026.
3. Agentic AI, explained [Electronic resource]. – Mode of access: <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/agentic-ai-explained>. – Date of access: 01.03.2026.
4. What is agentic AI? [Electronic resource]. – Mode of access: <https://aws.amazon.com/what-is/agentic-ai/>. – Date of access: 02.03.2026.
5. What is agentic AI? [Electronic resource]. – Mode of access: <https://cloud.google.com/discover/what-is-agentic-ai#agentic-ai-versus-generative-ai>. – Date of access: 18.02.2026.
6. The Next “Next Big Thing”: Agentic AI’s Opportunities and Risks [Electronic resource]. – Mode of access: <https://scet.berkeley.edu/the-next-next-big-thing-agentic-ais-opportunities-and-risks/>. – Date of access: 19.02.2026.
7. Deploying Agentic AI – What Worked, What Broke, and What We Learned [Electronic resource]. – Mode of access: <https://realworlddata-science.net/applied-insights/case-studies/posts/2025/08/12/deploying-agentic-ai.html>. – Date of access: 20.02.2026.

ENHANCING RETAIL OPERATIONS THROUGH COMPUTER VISION

Zhitnikova D.S., Zaitseva S.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Goncharova I.V. – Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. This article discusses the application of computer vision in modern retail, focusing on automated shelf monitoring, queue management, customer traffic analysis, and checkout-less stores like Amazon Go. The study shows how these technologies detect empty shelves, ensure compliance with planograms and optimize the layout of stores. By processing visual data locally and sending only anonymous statistics, computer vision systems solve privacy issues. The findings suggest that retailers implementing these solutions gain a competitive advantage by reducing waste, increasing customer loyalty, and optimizing store layouts based on data.

Keywords: computer vision, retail, AI in retail, planogram compliance, IoT, queue management, heat maps, edge computing, retail automation

Introduction. Retail is a dynamic and growing industry that is facing some changes due to the development of artificial intelligence (AI). Retailers collect and process large data sets, such as sales records, data lists, and customer reviews. With advanced technology, retailers can gain valuable insights into buyer behavior, improve inventory management, and improve service levels. These technological changes contribute to the adoption of computer vision, which can take retail to the next level.

Main part. Computer vision (CV) is a general term that refers to sections of machine learning models whose purpose is to extract information from Visual Media. Currently, 44% of retailers use CV to improve customer service. By 2030, this industry is expected to grow by 45%. Computer vision's capabilities are transforming various types of retail operations, from logistics to advertising [1].

In retail, computer vision helps retailers see what is currently happening on the trading floor. The system receives data in real time, and the program analyzes it, for example, identifying where there are long queues at the checkouts, where there are empty shelves, or which goods are most in demand. In this process, none of the customers notices that they are being watched, that is, the introduction of this technology does not prevent anyone from walking and choosing goods, but at the same time the store receives a lot of useful information.

One of the main reasons for the loss of profits in retail is the lack of goods on the shelf at the moment when the customer is ready to buy them. The usual methods of inspection, in which an employee goes around the hall with the form and manually checks the presence of the goods, are time-consuming, which is inefficient. CV technology can automate this process by constantly monitoring the shelves and comparing them with digital planograms-display diagrams of goods. Using in-store cameras that are installed on the ceiling or shelves, CV models detect empty spaces on the shelves, incorrect distribution of goods, or missing tags, comparing the current layout with the original planogram.

If the cameras detect inconsistencies, the system automatically sends a notification to the staff about this error, indicating a specific government and the place where the product is located [2]. In addition, the system can analyze how competently the product is laid out on the shelves, taking into account the demand of customers. That is, popular and promotional goods should not be on the bottom shelf or in the far corner of the store, it is recommended to place them in a more passable place at eye level, and less popular ones can be placed higher or lower.

The integration of computer vision with Internet of Things (IoT) technologies opens up new possibilities for automating routine processes in retail.

Robots equipped with computer vision systems are able to perform a large list of tasks related to the maintenance of the store. In addition to automatic cleaning of premises, they can control the temperature regime in refrigerators to prevent spoilage of products, as well as check the compatibility of signs and advertisements based on marketing actions. These robots act as mobile sensors in the IoT system, constantly collecting data about the status of the point of sale. Information from a network

of sensors located throughout the store allows management personnel not only to respond to existing problems, but also to find and prevent potential failures in advance, before they even appear, which will significantly reduce maintenance costs and improve the quality of Service.

One of the biggest irritants for customers in the store is the long wait at the checkout. At the moment, there is already one solution to this problem-self-service cash registers. Thanks to this technology, queues have decreased significantly, but a short circuit allows you to automate the process of purchasing goods even more. Cameras analyze the length of the queue and can notify the administrator in advance about the need to open a new ticket office. It is also possible to predict the time of accumulation of queues. The System collects data and analyzes which days and hours typically have the most buyers. If the program notices that there will be a rush hour in the near future, it asks the administrator in advance to open additional cash registers. But there is also a more radical method.

In Amazon Go there are no cash registers, they have been replaced by CV. After entering the store, the customer scans the application, and then can take goods from the shelves, which are added to the virtual basket associated with the account. After leaving the store, the system automatically withdraws money from the card and sends a check to the email. This store has a system installed that uses computer vision, weight sensors on the shelves and deep learning algorithms. This means that the ceiling cameras and sensors on the shelves determine what you have taken or put away [3]. In shops there are no basic cash registers and sellers, there are only employees who help to check documents for alcohol and take care of order. Thus, going shopping turns into a quick and pleasant process, in which you just need to take the goods and put them in the basket.

Technology is able not only to capture specific problems, but also to analyze buyer behavior. This can be achieved through motion analysis and heat maps. Analysis of the flow of buyers, which is obtained using artificial intelligence, helps sellers understand how many customers visit the store and how they move in it. With sensors, cameras and advanced technologies such as short-circuit and machine learning, buyer flow analysis tracks customers' travel paths, the products they choose and the time they spend in different departments of the floor.

This technology provides detailed heat maps that indicate areas with high traffic, allowing retailers to calculate the location of hot and dead zones in the store layout. Where exactly the main paths that buyers follow are immediately visible: hot zones are highlighted in red, orange and yellow, and dead zones in blue. Knowing the location of these zones, sales managers will be able to competently arrange new stands with stock goods. Thanks to this, employees will be able to see where to move the goods, if necessary, so that they are most in demand.

Of course, privacy is an important issue, many customers are worried about this problem. People are afraid that cameras will monitor every step.

But modern CV systems use edge computing technology, that is, processing takes place directly in the camera, and then only the digital data goes to the cloud or server: how many people have passed, where they stopped, which shelves are empty. Personal data of customers shall remain confidential [4].

Conclusion. Computer vision is rapidly transforming the retail industry, enabling companies to reduce losses, increase customer loyalty and streamline the layout of showrooms based on Heat map data. However, with new technological advances, retailers need to master new areas of data privacy and technology investment. By understanding and solving these problems, merchants can harness the power of advanced technology, creating the basis for more efficient and customer-oriented work in the future.

References

1. *Computer vision in 2024: Main tasks and directions*. Mode of access: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/810207/>. Date of access: 27.02.2026.
2. Mirgorodskaya, O. N., Ivanchenko, O. V. *The use of artificial intelligence technologies in the marketing activities of foreign and Russian retail companies* // *Bulletin of the Russian State Economic University (RINH)*. – 2021. – № 3 (75). – Pp. 84-93.
3. *Artificial intelligence: how AI is changing retail* [Electronic resource]. Mode of access: <https://masterokk.ru/iskusstvennyjintellekt/kak-iskusstvennyj-intellekt-menyaet-rozничnuyu-torgovlyu.html>. Date of access: 13.02.2026.
4. *AI Flying Off the Shelves: Restocking Robot Rolls Out to Hundreds of Japanese Convenience Stores*. Mode of access: <https://blogs.nvidia.com/blog/telexistence-convenience-store-robotics/>. Date of access: 26.01.2026.

THE «FILTER BUBBLE» EFFECT: HOW RECOMMENDATION ALGORITHMS SHAPE OUR WORLDVIEW AND LIMIT SERENDIPITY

Zinkovsky A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Perevyshko A.I. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article is devoted to the problem of the «filter bubble» effect in the Internet. Various definitions of this term are given. Special attention is given to the advantages and disadvantages of these recommendation systems. It is also pointed out the significance of using these recommendation algorithms in forming views of network users.

Keywords: recommendations, algorithms, social media.

Introduction. Today, few people doubt the effectiveness of recommendation systems in commerce, as they have become an integral part of the global digital economy and a major factor in attracting consumers. The Internet has provided users with access to a rich information environment, offering almost limitless possibilities for data consumption. However, a lot of controversy arises around the harm of recommendation systems for users and their potential long-term psychological impact. Many researchers claim that these algorithms contribute to selective perception of information and, as a result, the formation of an information bubble around the user, which limits their perspective. Given the ambiguity of this issue and its growing relevance in our daily lives, it is important to understand the facts and find out how recommendation algorithms actually affect the worldview of netizens in the long run to develop strategies for balanced information consumption.

Main part. The term «filter bubble» was first proposed by Elie Pariser in 2011 in his work of the same name. Originally, the term described how effectively personalized recommendations can restrict users from different points of view or content that is at odds with their preferences, effectively creating a customized reality. Recommendation systems based on algorithms determine which content the user prefers by analyzing their previous behavior, and based on this data, websites show him only the information that corresponds to his interests, while the rest of the information with an alternative point of view is not displayed to the user or is pushed to the periphery. In the course of further research, other definitions of this term have been proposed to better capture the complexity of the phenomenon. So, the «filter bubble» effect can be represented as a focused impact of content corresponding to user preferences, forming a sort of digital echo chamber. Researchers from the University of Michigan have proposed to define the filter bubble effect as a continuous process, and it increases when people with different preferences increasingly consume different types of content, leading to a gradual divergence in their understanding of the world [4]. In this article, we will focus on the initial definition of this term to maintain clarity in our analysis.

In his work, Elie Pariser considers recommendation algorithms as a factor that negatively affects not only an individual, but also society as a whole, creating a fragmented social landscape. In his opinion, the filter bubble can undermine civil discourse and create a threat to democracy by exposing people to various kinds of propaganda and manipulation, as users lose the ability to encounter and debate opposing views [3].

Many studies speak about the effectiveness of recommendation systems from a purely business and technical perspective, emphasizing their ability to optimize user experience. For example, Amazon claims that 35% of their sales were made thanks to recommendation algorithms, which demonstrates their immense commercial power and influence on purchase decisions. Netflix claims that 75% of their users use recommendations. Political scientist Tetlock found that ordinary people often make more accurate predictions than experienced political scientists. This is because experts who study one topic in depth often find themselves inside an information Bubble, becoming victims of their own specialized focus and narrow data sets [1].

These claims can be confirmed by various studies in the fields of psychology and sociology. First of all, this effect is explained by the theory of cognitive dissonance, which is fundamental to understanding human behavior. According to this theory, when conflicting beliefs collide, a person

has an internal conflict and, as a result, he experiences unpleasant emotions such as stress or anxiety. To reduce this unpleasant psychological state, people seeking information are motivated to seek information consistent with their beliefs and to avoid or discredit information that contradicts them, thus protecting their existing worldview [2]. Thus, even when opposing points of view are presented side by side, people still prefer to choose information that confirms their existing views rather than challenging them.

In addition to this factor, the degree of involvement in the subject of the study plays an important role in how the user perceives information. Research shows that people with low engagement in a topic tend to pay more attention to secondary factors, such as other people's consent or the source of information [2].

However, it should be noted that not all users blindly or without critical consideration follow the recommendations of the system. Research has shown that the importance of a topic, personal interest, confidence and conviction of the user, that is, the level of engagement in the topic, can greatly contribute to access to information that challenges attitudes [2]. In other words, this indicates that as people's interest and awareness of a topic increases, they may become more motivated to explore different opinions in order to form a more reliable and comprehensive understanding of reality. But this does not necessarily mean that it is easier for such users to recognize competing points of view objectively. On the contrary, people involved in a particular topic tend to analyze information more carefully and change their attitude only when they consider the arguments to be extremely and logically sound.

Although this perception of diverse information does help reduce polarization among people, high engagement makes their attitudes more stable. With information representing different points of view, people can more carefully argue their point of view, which makes it more stable and resistant to change. This is also supported by research that proves that although algorithms can introduce some diverse content, they preferentially reinforce pre-existing preferences, acting more as an amplifier than a neutral filter [4]. However, many researchers note that recommendation algorithms do not always harm users and can actually be beneficial in many contexts. For example, there are studies that have shown that recommendation algorithms introduce consumers to more diverse news than they could find on their own, through traditional browsing habits [4]. By breaking the usual search patterns, algorithms can sometimes offer unexpected information. Recommendation systems can also help users learn something new.

Conclusion. Thus, the «filter bubble» effect is not an exclusively negative phenomenon, but a complex interaction between technology and psychology. Information bubbles arise not so much because of recommendation systems, but due to the human psyche, which avoids contradictory information out of a natural desire for cognitive comfort. The filter bubble effect is not an independent cause of information isolation, but a reinforcing factor that accelerates existing tendencies. Recommendations can isolate users from alternative information and strengthen the bubble, especially when the user is passive. But with higher engagement, they provide access to new information and can serve as a tool for discovery. However, the issue remains controversial and requires further discussion both in the scientific community and among ordinary Internet users who interact with these systems daily.

References

1. Nguyen, T.T. *Exploring the filter bubble: the effect of using recommender systems on content diversity* / T.T. Nguyen [et al.] // *Proceedings of the 23rd international conference on World wide web*, Apr. 7–11, 2014. / Association for Computing Machinery ; ed. C.-W. Chung – New York, 2014. – P. 677–686.
2. Liao, Q.V. *Beyond the filter bubble: interactive effects of perceived threat and topic involvement on selective exposure to information* / Q.V. Liao, W.-T. Fu. // *CHI '13: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 27 Apr.–2 May, 2013 – Association for Computing Machinery ; ed. W.E. Mackay – New York, 2013. – P. 2359 – 2368.
3. *Breaking the filter bubble: democracy and design* [Electronic resource]. // Springer Nature Link. – Mode of access: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10676-015-9380-y#Abs1>. – Date of access: 18.12.2015.
4. Anwar, M.S. *Filter Bubble or Homogenization? Disentangling the Long-Term Effects of Recommendations on User Consumption Patterns* / M.S. Anwar, G. Schoenebeck, P.S. Dhillon. // *WWW '24: Proceedings of the ACM Web Conference 2024*, May 13–17, 2024 / Association for Computing Machinery ; ed. T.-S. Chua – New York, 2024. – P. 123 – 134.

THE INFLUENCE OF NEURAL NETWORKS ON THE CURRENT JOB MARKET

Solovey A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Lasarenko A.M. – Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages

Annotation. The article examines how neural networks and artificial intelligence influence the current job market. It considers job displacement, the creation of new roles, statistical forecasts, and the need for workers to develop skills that complement AI technologies.

Keywords: neural networks, artificial intelligence, job market, employment, automation

Introduction: A Double-Edged Sword

Over the course of the last couple of years, neural networks have become an undeniable part of our lives. Their capabilities are growing rapidly, leaving those who lack adaptive skills behind in terms of effectiveness across a wide variety of job fields. As artificial intelligence advances, it becomes increasingly evident that its existence in its current state has a profound impact on the job market. With all that being said, it is necessary to understand the true scale of this transformation.

However, before we begin our investigation, we must ask ourselves a fundamental question: is this a problem or an opportunity? We know that through the mastery of AI, many people have been let go, but that statement alone does not mean the state of the job market has worsened. AI has also created new professions and optimized numerous manual tasks that people previously disliked doing themselves. AI assists individuals in writing and applying for jobs, creating opportunities that were never available before. Some have used AI to generate income, while others have leveraged it not only to make money but to build companies—and those companies, in turn, have created demand for more jobs. For these reasons, I argue that the influence of artificial intelligence on the current job market is controversial yet debatable. Its advantages, in many ways, balance out its disadvantages.

Review of Statistical Data

To ground our analysis in empirical evidence, we review studies that demonstrate the actual effects of AI development on key metrics such as salary, number of job openings, and employment trends.

According to statistics from Challenger, Gray & Christmas, Inc.:

"In 2025, companies referenced AI for 54,836 announced layoff plans, 5% of total cuts during the year. Since 2023, when this reason was first tracked, AI has been cited in 91,753 job cut announcements, approximately 3% of all layoff plans announced in that period."

While these figures may seem concerning, it is equally important to acknowledge the positive aspects of this transformation. Additional data from the *World Economic Forum* (WEF) provides a broader perspective:

- 92 million jobs could be lost to AI by 2030.
- However, AI could create 170 million new jobs.
- AI could already replace 11.7% of the US workforce, equivalent to \$1.2 trillion in wage value.
- High earners are most concerned about AI taking their jobs.
- 47% of all US workers could see their roles come under threat from AI in the next decade.
- Automating half of current tasks worldwide could take another 20 years.
- 60% of jobs in advanced economies are at risk of being replaced by AI.
- Yet only 26% of jobs in low-income countries are similarly exposed.
- Only 3% of workers with less than a high school diploma are in work considered "most exposed" to AI job losses.
- Workers aged 18–24 are 129% more likely than workers aged over 65 to worry that AI will make their job obsolete.

- 15% of workers in the US would consider having an AI boss.

Analysis of Key Statistics

The implications of these statistics are examined below.

The projection of 92 million jobs lost represents approximately 8% of the global workforce. While this figure may initially seem discouraging, it is crucial to recognize that most of these "lost" jobs are likely to be concentrated in professions most vulnerable to automation via generative AI tools, such as clerical work, writing, photography, and software development.

Nevertheless, the World Economic Forum's 2025 Future of Jobs Report offers a more balanced outlook. It predicts that job losses due to AI and other labor market transformations over the next five years will be more than offset by job gains. The report forecasts 170 million new roles—equivalent to 14% of the current workforce—resulting in a net global increase of 78 million jobs. This data partially supports the view that AI represents an opportunity rather than a primary cause for concern.

Many of these statistics are derived from US workers. Given that their society often reflects trends that may emerge in other countries. These foreign studies are used as a reference, as more comprehensive research on this topic is currently available abroad. In our own professional context, AI adoption is still relatively limited, but we are increasingly moving toward more frequent use, mirroring global trends.

A Critical Perspective on Risk

The statistic stating that 60% of jobs in advanced economies are at risk of being replaced by AI warrants closer scrutiny. Upon thorough consideration, the percentage and its implications may be misleading.

In the majority of countries with advanced economies, the service sector constitutes approximately 50% or more of total employment. The primary driver of this sector is intellectual output rather than manual labor. This is precisely why many fear that AI is "smarter" than humans (Figure 1). However, the main strengths of the human mind remain creativity and critical thinking. AI remains highly dependent on human input, guidance, and oversight. If an individual possesses genuine expertise and creative problem-solving abilities, no AI can fully replace them.

Conclusion

In conclusion, the influence of neural networks on the job market is neither purely destructive nor entirely beneficial. It is a transformative force that redefines existing roles while simultaneously creating new opportunities. The evidence suggests that while certain jobs will inevitably be displaced, the net effect—when viewed through a global, long-term lens—may be positive. The challenge, therefore, lies not in resisting AI but in adapting to it, fostering skills that complement technological advancements, and ensuring that the workforce is prepared for the evolving demands of the future economy.

References

1. Challenger, Gray & Christmas, Inc. (2026) *2025 Year-End Challenger Report: Highest Q4 Layoffs Since 2008; Lowest YTD Hiring Since 2010* [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.challengergray.com/blog/2025-year-end-challenger-report-highest-q4-layoffs-since-2008-lowest-ytd-hiring-since-2010/>. Date of access: 15.05.2026.
2. Leopold T., Di Battista A., Játiva X., Sharma S., Li R., Grayling S. (2025) *The Future of Jobs Report 2025* [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/>. Date of access: 15.05.2026.

Научное электронное издание

Материалы 62-й научной конференции аспирантов,
магистрантов и студентов БГУИР

по направлению

ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

(Республика Беларусь, г. Минск, 13–17 апреля 2026 года)

В авторской редакции
Ответственный за выпуск *Г. А. Пискун*

Компьютерная верстка:

А. Д. Ларькин

А. А. Малец

К. О. Прохоревич

К. Н. Баранова

Системные требования: программа для просмотра PDF-файлов.

Дата подписания к использованию 04.06.2026.

URL: <https://www.bsuir.by/ru/fkp/sntk>.

URL: <https://libeldoc.bsuir.by/handle/>.

Объем издания: 66 Мбайт.

Производитель электронного издания: учреждение образования «Белорусский
государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск.

Сайт: www.bsuir.by

ФАКУЛЬТЕТ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Основной образовательной деятельностью факультета компьютерного проектирования (бывший конструкторско-технологический факультет) вот уже более 40 лет является подготовка по специальностям инженерного профиля, а также по востребованным, престижным и перспективным специальностям IT-области с учетом мировых тенденций развития науки, техники и технологий.

Наличие таких специалистов необходимо для деятельности различных компаний и предприятий электронной промышленности, способствует более эффективной работе субъектов малого и среднего бизнеса, а также обеспечивает высокий уровень конкурентоспособности национальной экономики страны на внутренних и внешних рынках.

