

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования**

**«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»**

**УПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ НАУЧНЫХ КАДРОВ  
ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ**

**СЕКТОР СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУКИ**

**59-я НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**АСПИРАНТОВ, МАГИСТРАНТОВ И СТУДЕНТОВ**

**РАДИОТЕХНИКА**

**И ЭЛЕКТРОНИКА**

**АПРЕЛЬ 2023 ГОДА**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ КОНФЕРЕНЦИИ**

**Минск БГУИР 2023**

### **Комиссия конференции «РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»:**

- Короткевич А. В. – декан ФРЭ, кандидат технических наук, доцент, председатель комиссии по организации и проведению конференции «Радиотехника и электроника»;
- Мигас Д. Б. – д-р физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой МНЭ;
- Листопад Н. И. – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой ИРТ;
- Сацук С. М. – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой электроники;
- Глецевич П. О. – старший преподаватель электроники;
- Кашкин А. Ю. – ассистент кафедры ИРТ;
- Степанов А. А. – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры МНЭ, ответственный за подготовку, выпуск программы и электронного сборника материалов конференции «Радиотехника и электроника».

### **Секция «Информационные радиотехнологии»:**

- Председатель Листопад Н. И. – д-р техн. наук, профессор, зав. каф. ИРТ;
- Члены жюри Козлов С. В. – д-р техн. наук, профессор;  
Давыдов И. Г. – канд. техн. наук, доцент;  
Козел В. М. – канд. техн. наук, доцент;
- Секретарь Кашкин А. Ю. – ассистент.

### **Секция «Микро- и нанoeлектроника»:**

- Председатель Мигас Д. Б. – д-р физ.-мат. наук, доцент, зав. кафедрой МНЭ;
- Члены жюри Борисенко В. Е. – д-р физ.-мат. наук, профессор,  
Котов Д. А. – канд. техн. наук, доцент;  
Степанов А. А. – канд. техн. наук, доцент;
- Секретарь Ловшенко И. Ю. – ст. преподаватель.

### **Секция «Электроника»:**

- Председатель Сацук С. М. – канд. техн. наук, доцент, зав. каф. электроники;
- Члены жюри Путилин В. Н. – канд. техн. наук, доцент;  
Русакович В. Н. – ст. преподаватель;
- Секретарь Глецевич П. О. – старший преподаватель.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Секция «Информационные радиотехнологии»</b> .....	<b>4</b>
<b>Секция «Микро- и нанoeлектроника»</b> .....	<b>108</b>
<b>Секция «Электроника»</b> .....	<b>188</b>

**Секция «Информационные радиотехнологии»**

<b>Совместное оценивание угловых координат и поляризационных параметров источника излучения в корреляционно-интерферометрическом пеленгаторе с ортогонально поляризованными приемными каналами .....</b>	<b>8</b>
<i>М. А. Башкова</i>	
<b>Компоненты коммуникативных навыков, необходимые будущему специалисту для деятельности в технической сфере .....</b>	<b>13</b>
<i>П. И. Бондаренко</i>	
<b>Автоматизированное обучающее средство по учебной практике для получения квалификации «Оператор электронно-вычислительных машин (персональных электронно-вычислительных машин).....</b>	<b>15</b>
<i>А. Н. Володчинко</i>	
<b>Использование ЭОР в организации самостоятельной работы студентов .....</b>	<b>17</b>
<i>Д. И. Винагин</i>	
<b>Исследование психологического аспекта здоровья обучающегося .</b>	<b>19</b>
<i>И. А. Габриневская</i>	
<b>Использование технологии радиочастотной идентификации для контроля параметров шин .....</b>	<b>21</b>
<i>М. И. Гаранинов</i>	
<b>Система контроля пробега автомобильных шин с использованием технологии радиочастотной идентификации .....</b>	<b>23</b>
<i>М. И. Гаранинов</i>	
<b>Лабораторная установка для исследования характеристик LoRaWAN сетей .....</b>	<b>24</b>
<i>В. Н. Горчаков</i>	
<b>Использование функций Уолша для сжатия графического материала.....</b>	<b>26</b>
<i>Т. Н. Дворникова, Е. А. Мисулин, Р. Ю. Снапко</i>	
<b>Алгоритм обеспечения кибербезопасности сети Интернета вещей .</b>	<b>27</b>
<i>А. С. Дорогина, Г. А. Земсков</i>	

<b>Влияние параметров контура грубой подстройки частоты на процесс коррекции частотного смещений при приеме фазоманипулированных сигналов .....</b>	<b>30</b>
<i>И. А. Зайцев</i>	
<b>Электронный образовательный ресурс для изучения дисциплины «Организационно-методические основы профессионального обучения» .....</b>	<b>33</b>
<i>В. А. Зимарева</i>	
<b>Способ реализации генератора альтернативного мнения .....</b>	<b>36</b>
<i>П. А. Купченя</i>	
<b>Онлайн-сервис на основе архитектурной модели Model-View-Controller по поиску и подбору с проверкой совместимости компьютерных комплектующих.....</b>	<b>37</b>
<i>А. Д. Кушнеревич</i>	
<b>Программное средство для проведения кураторами воспитательной работы по вопросам семейного воспитания.....</b>	<b>38</b>
<i>А. А. Лагутина</i>	
<b>Электронный образовательный ресурс как интерактивный метод обучения .....</b>	<b>40</b>
<i>А. А. Леонова</i>	
<b>Возможности и преимущества онлайн-платформы Canva для создания наглядных средств обучения.....</b>	<b>42</b>
<i>М. Н. Лось</i>	
<b>Разработка комплекса для программирования радиоэлектронных средств .....</b>	<b>44</b>
<i>А. А. Ляховский</i>	
<b>Исследование алгоритма формирования ансамбля ортогональных шумоподобных сигналов с ФМн .....</b>	<b>46</b>
<i>К. Д. Нгуен</i>	
<b>Влияние информационно-коммуникационных технологий на формирование личности.....</b>	<b>50</b>
<i>Д. А. Никитин</i>	

<b>Разработка клиент-серверной системы мониторинга курсов валют .....</b>	<b>52</b>
<i>Д. А. Никитин</i>	
<b>Словари как контейнер для хранения методов в языке C#.....</b>	<b>54</b>
<i>Д. А. Никитин</i>	
<b>Передачик мобильной радиостанции транкинговой радиосвязи ..</b>	<b>55</b>
<i>М. А. Новик</i>	
<b>Сравнительный анализ технологий идентификации товаров при цифровизации производственных процессов.....</b>	<b>57</b>
<i>А. А. Новикова</i>	
<b>Методика поверки оптического тестера ОТ-2-8 .....</b>	<b>59</b>
<i>А. К. Орехов, Д. В. Ковалев</i>	
<b>Уменьшение величины постоянного смещения последовательности с генератора случайных чисел при помощи алгоритмов постобработки .....</b>	<b>63</b>
<i>М. О. Пикуза</i>	
<b>Исследование технологий развития универсальных компетенций.</b>	<b>64</b>
<i>Д. Н. Почерняева</i>	
<b>Декорреляция сигнала от земной поверхности и изменчивость радиолокационных изображений при обнаружении движущихся объектов в высокоинформативном космическом радиолокаторе с синтезированием апертуры.....</b>	<b>66</b>
<i>В. В. Радионович</i>	
<b>Изменчивость радиолокационных изображений движущихся воздушных объектов в высокоинформативном космическом радиолокаторе с синтезированием апертуры.....</b>	<b>71</b>
<i>В.В. Радионович</i>	
<b>Веб-приложение для моделирования схем баз данных для специальности «Программное обеспечение информационных технологий» .....</b>	<b>76</b>
<i>А. С. Радкевич</i>	
<b>Использование видеоматериалов в обучении .....</b>	<b>78</b>
<i>К. А. Радкевич</i>	

<b>Автономные электронные часы, корректируемые радиосигналами точного времени .....</b>	<b>80</b>
<i>А. П. Рожко</i>	
<b>Математическая модель спектра ЧМ-сигнала на выходе трактов прохождения электрических сигналов с ограничителем-корректором .....</b>	<b>82</b>
<i>А. А. Ромаш</i>	
<b>Использование онлайн платформ для контроля знаний студентов .....</b>	<b>83</b>
<i>Н. С. Рябинин</i>	
<b>Использование технологий RFID для исследования электромагнитных полей вблизи дифракционных структур и рассеивающих объектов .....</b>	<b>85</b>
<i>Н. О. Скрабневский</i>	
<b>Исследование возможности применения на практике авторегрессионных методов спектрального оценивания при формировании радиолокационного глубинного портрета .....</b>	<b>87</b>
<i>П. С. Томашевская, А.В. Гринкевич</i>	
<b>Анализ корреляционной характеристики шумоподобных сигналов с ЧМн.....</b>	<b>89</b>
<i>К. Б. Фам</i>	
<b>Создание мобильных образовательных приложений для использования в процессе обучения не профессиональными программистами (на примере онлайн-сервиса «ADALO»).....</b>	<b>93</b>
<i>А. М. Федосов</i>	
<b>Приемник мобильной радиостанции транкинговой радиосвязи .....</b>	<b>95</b>
<i>П. В. Целуев</i>	
<b>Веб-приложение для ведения электронного журнала успеваемости и посещаемости занятий .....</b>	<b>97</b>
<i>В. В. Юркевич</i>	
<b>Радиационная обстановка Республики Беларусь, комбинированный прибор радиационного контроля .....</b>	<b>100</b>
<i>А. С. Яковлев, С.А. Рыбаков</i>	
<b>Роль эмоций человека в процессе социального познания.....</b>	<b>105</b>
<i>В. И. Яскевич</i>	

УДК 621.396

## СОВМЕСТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ И ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ В КОРРЕЛЯЦИОННО-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОМ ПЕЛЕНГАТОРЕ С ОРТОГОНАЛЬНО ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ ПРИЕМНЫМИ КАНАЛАМ

*Башкова М. А., студент гр.145201/магистрант*

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

*Козлов С. В. – доктор тех. наук, доцент*

**Аннотация.** Изложены основные положения методики для построения алгоритма совместного оценивания угловых координат и поляризационных параметров источника излучения для пеленгатора с ортогонально поляризованными приемными каналами, размещенными на криволинейной поверхности. Приведены результаты, иллюстрирующие работоспособность методики.

**Ключевые слова.** Пеленгатор, поляризация, поляризационные параметры радиосигналов, градиент, алгоритм оценивания, функция правдоподобия, адаптивный байесовский подход, радиопеленгация, поляризационно-чувствительный пеленгатор, угловые координаты источника радиоизлучения.

**Постановка задачи.** Актуальным в практике радиомониторинга становится совместное оценивание угловых координат и поляризационных параметров источника радиоизлучения при произвольной геометрии пеленгационной антенной системы [1-5]. В [1] приведен вариант геометрии антенной системы (АС) в виде множества ортогональных пар диполей или других антенных элементов с приближенно ортогональными поляризациями и выражение для функции правдоподобия. Оценка параметров сигналов для указанной ФП должна проводится по 6 параметрам: комплексной амплитуде принимаемого сигнала (амплитуде и фазе сигнала на выходе изотропной приемной антенны), двум угловым координатам и двум поляризационным параметрам методом полного перебора. Это не реализуемо в реальном масштабе времени. Цель статьи – получение алгоритма оценивания с уменьшенным числом вычислительных операций в рамках адаптивного байесовского подхода.

**Алгоритм пеленгования.** Для логарифма функции правдоподобия с учетом отбрасывания независимых от  $\boldsymbol{\eta}$  слагаемых запишем:

$$\begin{aligned} \ln \ell(A, \varphi, \boldsymbol{\eta}_a) &= -\mathbf{y}^+ \mathbf{y} + A e^{j\varphi} \mathbf{y}^+ \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_a) + A e^{-j\varphi} \mathbf{f}^+(\boldsymbol{\eta}_a) \mathbf{y} - A^2 \mathbf{f}^+(\boldsymbol{\eta}_a) \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_a) \\ &\square 2A \operatorname{Re}(e^{j\varphi} \mathbf{y}^+ \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_a)) - A^2 \mathbf{f}^+(\boldsymbol{\eta}_a) \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_a) = 2A \operatorname{Re}(e^{j\varphi} |F(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a)| e^{j\varphi(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a)} - A^2 |F(\boldsymbol{\eta}_a)|^2) = \\ &= 2A \cos(\varphi(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a) + \varphi) |F(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a)| - A^2 |F(\boldsymbol{\eta}_a)|^2 \end{aligned} \quad (1)$$

где  $|F(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a)| = |\mathbf{y}^+ \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_a)|$ ;  $\varphi(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a) = \arg(\mathbf{y}^+ \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_a))$  - модуль и фаза результата  $\mathbf{y}^+ \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_a)$  обработки (фокусировки) принимаемой реализации;  $|F(\boldsymbol{\eta}_a)|^2 = \mathbf{f}^+(\boldsymbol{\eta}_a) \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_a)$ ;  $\boldsymbol{\eta}_a = (\alpha, \beta, \gamma, \chi)^T$  - «антенная» составляющая вектора оцениваемых параметров. Величина  $|F(\boldsymbol{\eta}_a)|^2$  представляет собой квадрат нормы вектора ДН приемных каналов для заданного  $\boldsymbol{\eta}_a$ .

Будем использовать последовательное оценивание и адаптивный байесовский подход. Для заданного вектора  $\boldsymbol{\eta}_a$  вычислим составим систему уравнений правдоподобия для оценки неизвестных условных (при заданном  $\boldsymbol{\eta}_a$ ) амплитуды и фазы:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln \ell(A, \varphi, \boldsymbol{\eta}_a)}{\partial \varphi} &= -2A \sin(\varphi(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a) + \varphi) |F(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a)| = 0 \Rightarrow \hat{\varphi} = -\varphi(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a) \\ \frac{\partial \ln \ell(A, \varphi, \boldsymbol{\eta}_a)}{\partial A} &= 2 \cos(\varphi(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a) + \varphi) |F(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a)| - 2A |F(\boldsymbol{\eta}_a)|^2 = 0 \Rightarrow \hat{A} = \frac{|F(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a)|}{|F(\boldsymbol{\eta}_a)|^2} \end{aligned} \quad (2)$$

Подставив оценки амплитуды и фазы в логарифм функции правдоподобия, получим:

$$\begin{aligned} \ln \ell(\boldsymbol{\eta}_a) &= 2A \cos(\underbrace{\varphi(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a) + \varphi}_{=0}) |F(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a)| - A^2 |F(\boldsymbol{\eta}_a)|^2 = \\ &= 2 \frac{|F(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a)|}{|F(\boldsymbol{\eta}_a)|^2} |F(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a)| - \frac{|F(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a)|^2}{|F(\boldsymbol{\eta}_a)|^4} |F(\boldsymbol{\eta}_a)|^2 = 2 \frac{|F(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a)|}{|F(\boldsymbol{\eta}_a)|} - \frac{|F(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a)|^2}{|F(\boldsymbol{\eta}_a)|^2} = 2x - x^2, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $x = \frac{|F(\mathbf{y}, \boldsymbol{\eta}_a)|}{|F(\boldsymbol{\eta}_a)|}$ .

При  $\mathbf{y} = A_c e^{j\varphi_c} \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_{ac})$ ,  $\boldsymbol{\eta}_a = \boldsymbol{\eta}_{ac}$  получим:

$$\ln \ell(\boldsymbol{\eta}_{ac}) = 2 \frac{|A_c e^{-j\varphi_c} \mathbf{f}^+(\boldsymbol{\eta}_{ac}) \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_{ac})|}{|\mathbf{f}^+(\boldsymbol{\eta}_{ac}) \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_{ac})|} - \frac{|A_c e^{-j\varphi_c} \mathbf{f}^+(\boldsymbol{\eta}_{ac}) \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_{ac})|^2}{|\mathbf{f}^+(\boldsymbol{\eta}_{ac}) \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_{ac})|^2} = 2A_c - A_c^2$$

При  $\mathbf{y} = A_c e^{j\varphi_c} \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_a)$ ,  $\boldsymbol{\eta}_a \neq \boldsymbol{\eta}_{ac}$  получим:

$$\begin{aligned} \ln \ell(\boldsymbol{\eta}_a \neq \boldsymbol{\eta}_{ac}) &= 2 \frac{|A_c e^{-j\varphi_c} \mathbf{f}^+(\boldsymbol{\eta}_{ac}) \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_a)|}{|\mathbf{f}^+(\boldsymbol{\eta}_a) \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_a)|} - \frac{|A_c e^{-j\varphi_c} \mathbf{f}^+(\boldsymbol{\eta}_{ac}) \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_a)|^2}{|\mathbf{f}^+(\boldsymbol{\eta}_a) \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_a)|^2} = \\ &= 2A_c \frac{|\mathbf{f}^+(\boldsymbol{\eta}_{ac}) \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_a)|}{|\mathbf{f}^+(\boldsymbol{\eta}_a) \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_a)|} - A_c^2 \frac{|\mathbf{f}^+(\boldsymbol{\eta}_{ac}) \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_a)|^2}{|\mathbf{f}^+(\boldsymbol{\eta}_a) \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_a)|^2} \end{aligned}$$

При этом в отсутствии шумов  $\ln \ell(\boldsymbol{\eta}_a \neq \boldsymbol{\eta}_{ac}) < \ln \ell(\boldsymbol{\eta}_a = \boldsymbol{\eta}_{ac})$

Таким образом, за счет вычисления (2) условных оценок амплитуды и фазы принимаемого сигнала на выходе изотропной приемной антенны с согласованной поляризацией удалось исключить эти параметры из процедуры максимизации ФП. Для получения оценок угловых координат и поляризационных параметров необходимо максимизировать условную ФП (3).

Для нахождения и упрощения поиска экстремума ФП при переборе по четырем параметрам находим номер  $i_{оп}$  опорного канала (пары диполей - турникета), для которого амплитуда сигналов в канале на обоих поляризациях максимальна. Грубо измеряем угловые координаты и поляризацию ИРИ с использованием направленных свойств этих антенн. Находим начальное приближение для получения точных оценок угловых координат и поляризационных параметров. На рисунке 1 приведена блок-схема алгоритма.

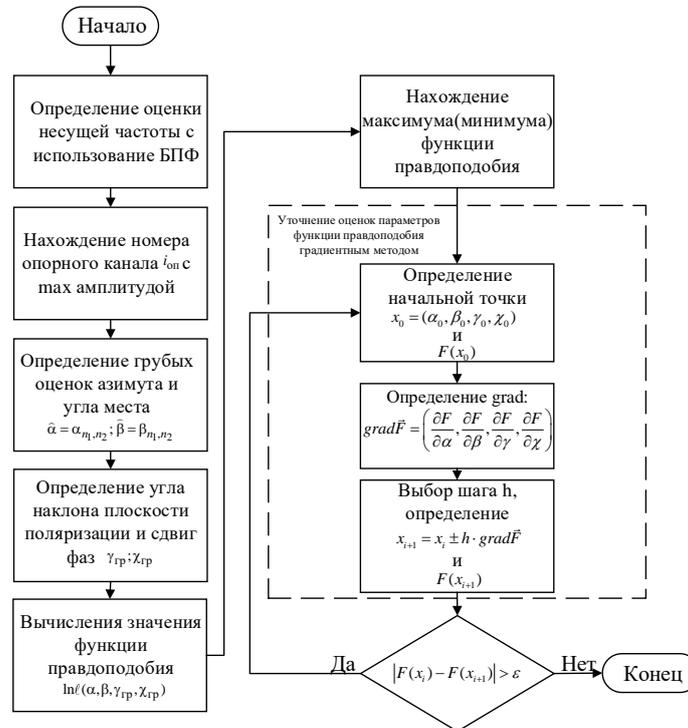


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма оценивания информационных параметров

Сам алгоритм включает следующие этапы:

- 1) нахождение оценки несущей частоты с использованием БПФ по короткой реализации сигналов на выходе этого приемного канала, с целью извлечения для каждой частоты (длины волны) значений ДН  $f(\eta_a)$ .
- 2) нахождение номера  $i_{\text{оп}}$  опорного канала (турникета), для которого амплитуда сигнала в канале на обоих поляризациях максимальна:

$$i_{\text{оп}} = \arg \max_i \sqrt{|\dot{Y}_{2i}|^2 + |\dot{Y}_{2i+1}|^2} \quad (4)$$

где  $n_1, n_2$  соответствующие индексы номера по азимуту и номера яруса.

- 3) определение грубых оценок азимута и угла места источника излучения  $\hat{\alpha} = \alpha_{\text{ГР}} = \alpha_{n_1, n_2}; \hat{\beta} = \beta_{\text{ГР}} = \beta_{n_1, n_2}$ .

4) грубое определение угла наклона плоскости поляризации и сдвиг фаз ортогонально ориентированных компонентов по сигналу в этом приемном канале:

$$\gamma_{\text{ГР}} = \arctan \frac{|\dot{Y}_{2i_{\text{оп}}+1}|}{|\dot{Y}_{2i_{\text{оп}}}|}, \quad (5)$$

$$\chi_{\text{ГР}} = \arg(\dot{Y}_{2i_{\text{оп}}+1}) - \arg(\dot{Y}_{2i_{\text{оп}}}); \quad (6)$$

5) уточнение оценок  $\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\gamma}, \hat{\chi}$  и определение экстремума функции правдоподобия с помощью метода градиентного спуска с шагом  $\delta\alpha$  и  $\delta\beta$  в диапазоне  $\alpha_{\text{ГР}} \pm \Delta\alpha$  и  $\beta_{\text{ГР}} \pm \Delta\beta$  для угловых координат и с шагом  $\delta\gamma, \delta\chi$  в диапазоне  $\gamma_{\text{ГР}} \pm \Delta\gamma$  и  $\chi_{\text{ГР}} \pm \Delta\chi$ .

6) нахождение максимума функции правдоподобия из рассчитанных значений и его аргументы.

При необходимости точной оценки всех параметров п. 3 и п.4 повторяются до тех пор, пока результаты оценки не перестают изменяться.

После нахождения грубых оценок информационных параметров с помощью вычисляются значения функции правдоподобия  $\ln \ell(\alpha_{\text{ГР}}, \beta_{\text{ГР}}, \gamma_{\text{ГР}}, \chi_{\text{ГР}})$  по всем четырем параметрам сигнала идет уточнение оценок. Для этого необходимо найти вблизи грубой оценки еще несколько значений для получения точных оценок угловых координат и поляризационных параметров.

Для сокращения числа переборов по каждому из параметров для упрощения поиска экстремума и для получения точных оценок применим метод градиентного спуска в окрестности найденного максимума(минимума).

В качестве начальной точки для градиентного метода используются найденные грубые оценки по всем антенным параметрам  $x_0 = (\alpha_{\text{ГР}}, \beta_{\text{ГР}}, \gamma_{\text{ГР}}, \chi_{\text{ГР}})$ . После нахождения значения функции в этой точке определяем  $\text{grad}\mathbf{F}(x_0)$ . Под градиентом здесь понимается определение направления наибольшей крутизны спуска (подъема). Для нашего случая градиент от  $\mathbf{F}(x_0)$  имеет вид:

$$\text{grad}\mathbf{F}(x_0) = \left( \frac{\partial F}{\partial \alpha}, \frac{\partial F}{\partial \beta}, \frac{\partial F}{\partial \gamma}, \frac{\partial F}{\partial \chi} \right), \quad (7)$$

$$\text{где } \frac{\partial F}{\partial \alpha} = \frac{F(\alpha_0 + \Delta\alpha, \beta_0, \gamma_0, \chi_0) - F(\bar{x}_0)}{\Delta\alpha}, \dots, \frac{\partial F}{\partial \chi} = \frac{F(\alpha_0, \beta_0, \gamma_0, \chi_0 + \Delta\chi) - F(\bar{x}_0)}{\Delta\chi}.$$

По данной формуле определяем направление наибольшей крутизны спуска (подъема) и перемещаемся в выбранном направлении на некоторый шаг.

После определения следующей точки по формуле  $x_{i+1} = x_i \pm h \cdot \text{grad}\mathbf{F}(x_i)$  и прохождения цикла с заданным числом итераций находим уточненные оценки интересующих нас параметров.

Алгоритм градиентного спуска по четырем параметрам:

- 1) Определение  $x_0 = (\alpha_0, \beta_0, \gamma_0, \chi_0)$  принадлежащей допустимой области и  $F(x_0)$ ;
- 2) Определение  $\text{grad}\mathbf{F}(x_0)$  или  $-\text{grad}\mathbf{F}(x_0)$ ;
- 3) Выбор шага  $h$ ;
- 4) Определение следующей точки по формуле  $x_{i+1} = x_i \pm h \cdot \text{grad}\mathbf{F}(x_i)$  «+» – если  $\max$ , «-» – если  $\min$ ;

5) Определение  $F(x_{i+1})$  и:

– если  $|F(x_i) - F(x_{i+1})| < \varepsilon$ , решение найдено;

– если нет, то переход к п. 2.

В результате выполнения алгоритма оценивания информационных параметров с применением градиентного метода находятся точные оценки поляризационных параметров и угловых координат с уменьшенным числом вычислительных операций в рамках адаптивного байесовского подхода.

Результаты апробации методики. Апробация методики проводилась с использованием математической модели выходных сигналов корреляционно-интерферометрического пеленгатора, приведенной в [1]. При вычислении использовались рассчитываемые в модели векторы  $f(\eta_a)$  значений диаграмм направленности приемных элементов при заданных параметрах сигнала  $\eta_a$ .

Принимались следующие исходные данные: ортогональные пары вибраторов с длиной плеча 0,2 м были размещены в 6 рядов по азимуту (с равным шагом) и 3 ряда по углу места по касательной к поверхности полусферы радиусом 1 м; первый ярус приемных элементов размещался под углом места  $10^\circ$ , последующие – с шагом  $20^\circ$ ; длина волны источника излучения составляла 1 м;

На рисунке 2 приведен вид логарифма функции правдоподобия, полученный при  $A/\sigma_{ш}=100$ ,  $\alpha_c = 145^\circ, \beta_c = 40^\circ$ , при изменении каждого их четырех «антенных» параметров. Рисунок 2 а) соответствует линейной наклонной поляризации ( $\gamma_c = \pi/4, \chi_c = 0$ ), рисунок 2 б) – эллиптической поляризации ( $\gamma_c = \pi/4, \chi_c = \pi/3$ ).

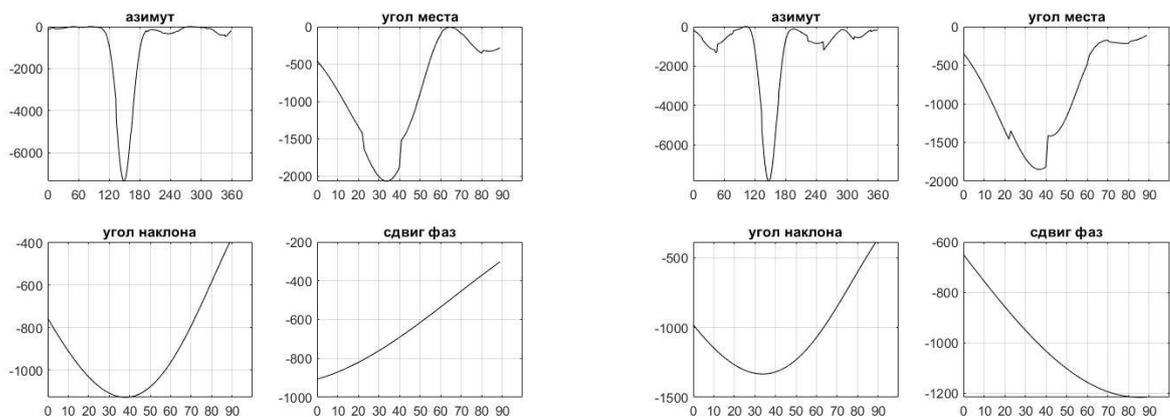


Рисунок 2 – Вид логарифма функции правдоподобия при линейной наклонной поляризации (а) и при эллиптической поляризации (б) принимаемого сигнала

По полученным графикам видим, что минимумы решающей статистики соответствуют приближенным истинным значениям угловых координат и поляризационных параметров. На полученных зависимостях решающей статистики от азимута (в большей степени) и угла места (в меньшей степени) наблюдаются также локальные экстремумы, как и при построении функции правдоподобия оптимального алгоритма по шести информационным параметрам. Зависимость решающей статистики от азимута многоэкстремальная, но с выраженным глобальным минимумом. Зависимости от поляризационных параметров имеют один экстремум. Все эти особенности позволяют использовать градиентный метод для нахождения совместной оценки всех информационных параметров при условии, что начальное приближение для градиентного метода («грубая» оценка) по азимуту достаточно точное и находится в пределах локальных максимумов, между которыми расположен глобальный минимум.

Заключение. Разработанная методика совместно с моделью принимаемого сигнала [1] может быть использована при оптимизации технических решений по построению поляризационно-чувствительных пеленгаторов и исследованию их эффективности. Данный алгоритм полностью проверяется имитационно и проводится сравнение со статистически оптимальным (матрица Фишера)[2].

**Список использованных источников:**

1. Башкова М. А., Козлов С. В. Математическая модель входной реализации для корреляционно-интерферометрического пеленгатора с ортогонально поляризованными приемными каналами, размещенными на криволинейной поверхности / Информационные радиосистемы и радиотехнологии 2022 : материалы научно-технической конференции, Минск, 29–30 ноября 2022 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богущ [и др.]. – Минск : БГУИР, 2022. – с. 94–100

2. Башкова М. А., Козлов С. В. Методика оценки потенциальной точности корреляционно-интерферометрического пеленгатора с ортогонально поляризованными приемными каналами / Информационные радиосистемы и радиотехнологии 2022 : материалы научно-технической конференции, Минск, 29–30 ноября 2022 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск : БГУИР, 2022. – с. 101–105.
3. Хэмминг Р.В. Численные методы для научных работников и инженеров. – М.: Сов. радио, 1972. – 399 с.
4. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства. Под редакцией А.М. Рембовского. – М.: ГОРЯЧАЯ ЛИНИЯ - ТЕЛЕКОМ, 2010. – 624 с.
5. Гулько В. Л., Мещеряков А. А. Поляризационно-модуляционный метод измерения пеленга и угла крена подвижного объекта с использованием радиомаяка // Доклады ТУСУР. 2016. Т. 19, № 1. С. 5-8.
6. Павлов В. С., Турнецкая Е. Л. Потенциальная точность пеленгации на основе кольцевой антенной решетки из линейно поляризованных элементов // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2012. № 4. С. 86–90.
7. Павлов В. С. Синтез пространственно-кольцевого пеленгатора источника поляризованного излучения / В. С. Павлов, Е. Л. Турнецкая // Информационно-управляющие системы, № 6, 2014. – С. 6-12.
8. Поздняк С. И., Мелитицкий В. А. Введение в статистическую теорию поляризации радиоволн. — М.: Сов. радио, 1974. — 480 с.

UDC 621.396

## JOINT ESTIMATION OF THE ANGULAR COORDINATES AND POLARIZATION PARAMETERS OF A RADIATION SOURCE IN A CORRELATION-INTERFEROMETRIC DIRECTION FINDER WITH ORTHOGONALLY POLARIZED RECEIVING CHANNELS

*Bashkova M. A.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics<sup>1</sup>, Minsk, Republic of Belarus*

*Kozlov S. V. – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor*

**Annotation.** The main provisions of the methodology for constructing an algorithm for the joint estimation of angular coordinates and polarization parameters of a radiation source for a direction finder with orthogonally polarized receiving channels placed on a curved surface are described. The results illustrating the efficiency of the technique are presented.

**Keywords.** Direction finder, polarization, polarization parameters of radio signals, gradient, estimation algorithm, likelihood function, adaptive Bayesian approach, radio direction finding, polarization-sensitive direction finder, angular coordinates of a radio emission source.

# КОМПОНЕНТЫ КОММУНИКАТИВНЫХ НАВЫКОВ, НЕОБХОДИМЫЕ БУДУЩЕМУ СПЕЦИАЛИСТУ ДЛЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЕ

*Бондаренко П. И.*

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

*Парафиянович Т. А. – доцент кафедры ИРТ, канд. пед. наук, доцент*

Аннотация. В тезисах раскрывается актуальная проблема развития компонентов коммуникативных навыков, дано определение понятиям «деятельность в технической сфере», «коммуникация», «коммуникативные навыки»; представлен анализ и иллюстрация результатов по теме исследования, которые позволили определить компоненты коммуникативных навыков, необходимые для деятельности в технической сфере, роль и важность эмоционального интеллекта, как компонента коммуникативных навыков, проблемы, связанные с коммуникацией и проблемы, возникающие в процессе деятельности специалиста технической сферы, способы решения данных проблем.

В современном мире, где техническая сфера деятельности играет важную роль, эффективная коммуникация становится ключевым фактором успеха для профессионалов в этой области. Коммуникативные навыки, включая письменную и устную коммуникацию, визуальную коммуникацию, межкультурную коммуникацию и умение использовать современные коммуникационные технологии, становятся неотъемлемой частью профессионального репертуара технических специалистов. Деятельность в технической сфере – это деятельность, включающая в себя разработку, проектирование, производство, эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт технических систем, устройств, механизмов и оборудования [1]. Коммуникативные навыки, при деятельности в технической сфере, могут включать умение общаться с коллегами, клиентами, заказчиками, проводить презентации, составлять технические отчеты и документацию, а также эффективно работать в команде. Коммуникация – это связь в живой и неживой природе, в ходе которой происходит обмен информацией; в деятельности человека всегда имеют место процессы различных коммуникаций, являющиеся механизмами межличностных связей между людьми [2].

Коммуникативные навыки являются ключевыми компетенциями во многих сферах деятельности, включая бизнес, образование, медицину, право и технические науки. Люди, которые обладают хорошо развитыми коммуникативными навыками, часто более успешны в своей деятельности и карьере, поскольку они легче находят общий язык с другими людьми, могут эффективнее решать проблемы и убеждать в своих идеях.

Обладание коммуникативными навыками включает способности к: разработке проектов и технических документов, работе в команде, обучению и обмену знаниями в области развивающихся технологий [3].

Однако, несмотря на их важность, коммуникативные навыки в технической сфере зачастую остаются недооцененными и недостаточно исследованными.

Приведенное ниже исследование поможет понять, какие компоненты коммуникативных навыков наиболее необходимы будущему специалисту для деятельности в технической сфере. В качестве основного метода исследования данной проблемы был определен метод анкетирования. Анкетирование – это метод сбора информации об изучаемом объекте во время непосредственного (интервью) или опосредованного (анкетирование) общения путем регистрации ответов респондентов на сформулированные вопросы, вытекающие из целей и задач исследования [4]. Целью исследования является определение компонентов коммуникативных навыков, которые наиболее важны в технических сферах деятельности.

Разработанная анкета включает следующие основные вопросы:

1. «Имеете ли вы опыт работы в технической сфере?»;
2. «Какие компоненты коммуникативных навыков считаете важными для работы в технической сфере?»;
3. «Какие трудности вы испытываете при общении с коллегами или клиентами в технической сфере?»
4. «Как вы преодолеваете трудности, возникающие в общении?»
5. «Как вы оцениваете важность эмоционального интеллекта в коммуникации в технической сфере?»

Опрос был проведен в онлайн формате при помощи платформы «Google forms». По окончании исследования были сделаны следующие выводы: всего 5,9% опрошенных не имеет опыта деятельности в технической сфере, 47,1% имеют опыт работы менее двух лет и 47,1% работают в технической сфере более двух лет. Шкала с частотой выбора важных для деятельности в технической сфере компонентов коммуникативных навыков представлена на рисунке 1.

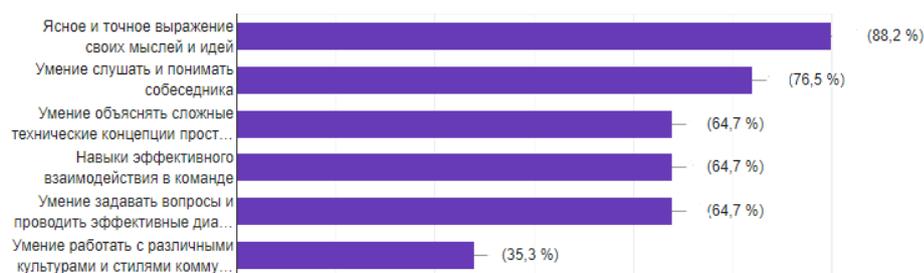


Рисунок 1 – Результаты ответа на вопрос №2

Опираясь на результаты ответов респондентов на вопрос «Какие компоненты коммуникативных навыков считаете важными для работы в технической сфере?», можно сделать вывод, что компонент коммуникативных навыков «Ясное и точное выражение своих мыслей и идей» является наиболее важным для будущего специалиста при деятельности в технической сфере.

В ходе исследования было установлено, что большая часть респондентов при общении с коллегами или клиентами в процессе деятельности в технической сфере сталкивается со следующими трудностями: сложностью объяснения технических концепций неспециалистам; сложностью управления конфликтами или несогласиями в технически сложных ситуациях, где мнения расходятся, и требуется навык урегулирования споров; сложностью эффективного управления временем и приоритетами в коммуникации в условиях высокой загруженности и ограниченных сроков выполнения проектов. Для преодоления данных трудностей 64,7% респондентов стараются использовать ясный и простой язык при объяснении сложных технических концепций, избегая технических терминов или используя аналогии; 58,8% респондентов развивают навыки урегулирования конфликтов, используя техники активного слушания, поиска компромиссов и сотрудничества; 52,9% респондентов стараются адаптировать стиль коммуникации в соответствии с уровнем технической подготовки собеседника.

При ответе на вопрос №5 «Как вы оцениваете важность эмоционального интеллекта в коммуникации в технической сфере» вариант ответа «Очень важно, так как эмоциональный интеллект помогает устанавливать эффективное взаимодействие с коллегами и клиентами, разрешать конфликты и создавать долгосрочные отношения» определило 41,2% респондентов, 29,4% считает, что эмоциональный интеллект при коммуникации в процессе деятельности в технической сфере умеренно важен, так как эмоциональный интеллект может помочь в определенных ситуациях, но не является ключевым аспектом в технической сфере, 23,5% опрошенных не считают эмоциональный интеллект важным, так как технические навыки и знания являются приоритетными в работе в технической сфере; 5,9% отмечают, что эмоциональный интеллект не важен при деятельности в технической сфере, так как в данной сфере коммуникация основана на фактах и технических данных. Исходя из этих данных следует, что эмоциональный интеллект является важной составляющей коммуникативных навыков для деятельности в технической сфере.

В ходе исследования было выявлено, что основными компонентами коммуникативных навыков для деятельности в технической сфере являются: умение ясно выражать свои мысли и идеи, слушать и понимать других, объяснять сложные технические концепции простым языком. Однако, респонденты выделили ряд препятствий, затрудняющих коммуникацию на рабочем месте, таких как: сложность объяснения технической концепции неспециалистам, сложность управления коммуникацией с людьми, имеющими разный уровень технической подготовки, сложность эффективного управления временем и приоритетами в коммуникации, что может указывать на потенциальные области для улучшения коммуникативных навыков.

**Список использованных источников:**

1. Шевченко, О. П. «Технические науки: учебник для вузов» / под ред. Грудинин М.Ф. – М.: Издательство Юрайт, 2019 – 387 с.
2. Парафиянович, Т. А. Электронный образовательный ресурс по учебной дисциплине «Психология. Часть 2» для направления специальности: 1-08 01 01-07 «Профессиональное обучение (информатика)»/ Парафиянович Т.А. // Минск, БГУИР, 2022 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lms.bsuir.by/course/view.php?id=3846>
3. Практикум по развитию коммуникации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.brsu.by/sites/default/files/englang/Distance/n\\_s\\_abolina\\_-\\_praktikum\\_po\\_razvitiyu\\_kommunikatsii.pdf](https://www.brsu.by/sites/default/files/englang/Distance/n_s_abolina_-_praktikum_po_razvitiyu_kommunikatsii.pdf)
4. Ядов, В. А. Социологическое исследование — методология, программа, методы / В. А. Ядов. – М.: Издательство «Самарский университет», 2015. – 242 с.

# **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОБУЧАЮЩЕЕ СРЕДСТВО ПО УЧЕБНОЙ ПРАКТИКЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ «ОПЕРАТОР ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН (ПЕРСОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН)»**

*Валодчинко А. Н.*

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

*Славинская О.В. – канд. пед. наук, доцент*

**Аннотация.** Работа посвящена вопросам эффективности практического применения автоматизированного обучающегося средства по учебной практике для получения квалификации «Оператор электронно-вычислительных машин (персональных электронно-вычислительных машин)» в процессе обучения учащихся специальности 2-40 01 01 «Программное обеспечение информационных технологий».

На сегодняшний день цифровые технологии основательно закрепились во всех сферах жизнедеятельности общества и применяются повсеместно. Исключением не стала и сфера образования, которая проходит цифровую трансформацию.

Традиционные методы преподавания перестают существовать и освобождают дорогу для введения современных методик. В процесс обучения внедряются инструменты современных цифровых технологий, что позволяет улучшить качество обучения, мотивируя процессы восприятия информации, получения и проверки знаний. Невозможно представить будни учащихся и педагогов без смартфонов, компьютеров и планшетов, с помощью которых они узнают большую часть информации, получив доступ к различным информационным ресурсам. [1, 2]

Одним из таких инструментов современных цифровых технологий являются чат-боты, позволяющие упростить и ускорить процесс получения необходимой информации. Сегодня они установлены фактически в каждом мессенджере, доступны на любых мобильных устройствах и компьютерах.

Чат-боты являются программируемые модулями, которые взаимодействуют с пользователем в режиме реального времени. Их основная функция – дать быстрый и четкий ответ на ряд вопросов, информацией по которым бот владеет.

Для взаимодействия с чат-ботами не требуется отдельная установка, достаточно поделиться ссылкой в социальных сетях или мессенджерах. Их интерфейс является интуитивно понятным, так как представляет собой простую переписку в удобно реализованной программной оболочке.

Поэтому нами разработано автоматизированное обучающее средство (АОС), представляющее собой Telegram-бота для использования при проведении учебной практики в системе среднего специального образования для получения квалификации рабочего «Оператор электронно-вычислительных машин (персональных электронно-вычислительных машин)». Заказчиком такого программного обучающего ресурса выступило учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» филиал «Минский радиотехнический колледж».

Telegram – приложение для мгновенного обмена сообщениями (аудио- и видеосообщениями, изображениями, GIF, стикерами, документами), с возможностью создания групповых чатов, каналов, автоматизированных ботов.

Главные преимущества мессенджера Telegram перед другими мессенджерами, это его высокая скорость работы, бесплатность, высокий уровень безопасности и защищенности, хранение данных в облаке (сервер удаленного доступа). Облаком для хранения данных в разработанном чат-боте Telegram является Yandex Object Storage.

Сервис Yandex Object Storage представляет собой масштабируемое облачное хранилище, с помощью которого можно создавать архивы данных, размещать файлы проектов и настраивать совместный доступ к данным или проекту.

Telegram-бот реализован на языке программирования JavaScript, являющимся кроссплатформенным объектно-ориентированным языком сценариев, используемый для создания интерактивных веб-страниц.

Разработанное АОС является помощником при проведения учебной практики для получения квалификации рабочего. Telegram-бот рассчитан на учащихся и преподавателей, также воспользоваться им могут все пользователи мессенджера Telegram.

Практика учащихся является составной частью образовательного процесса.

Цель практического обучения – закрепление и углубление знаний, полученных учащимися в процессе обучения, формирование у них профессиональных практических навыков и умений.

Задачи учебной практики для получения квалификации рабочего:

– закрепление знаний в области аппаратного и программного обеспечения ПЭВМ;

– получение квалификационного разряда рабочего;  
– формирование навыков сборки узлов и блоков персональных электронно-вычислительных машин, скоростного набора текста, установки и настройки операционной системы, использования офисного программного обеспечения, работы с архивами, компьютерной верстки публикаций.

Учащийся в чат-боте может ознакомиться с документацией по практике, материалом практических занятий в соответствующем разделе, закрепить полученные знания и навыки, пройдя тест по разделу. После прохождения теста учащийся получит сведения о количестве правильных ответов, времени прохождения теста, занимаемом месте в рейтинге всех обучающихся на данный момент. Тест можно проходить заново, но последующие результаты не повлияют на место в общем рейтинге. Также учащийся может ознакомиться со списком вопросов к экзамену, словарем терминов и закрепить знания терминов в игровом формате, выбрав кнопку «Листай и запоминай!».

Содержание АОС соответствует действующий учебной программе по учебной практике для получения квалификации рабочего специальности 2-40 01 01 «Программное обеспечение информационных технологий» (по новому ОКРБ 011-2022 [3] – 5-04-0612-02 «Разработка и сопровождение программного обеспечения информационных систем»). Поэтому в процессе его разработки как структурные компоненты были внесены практические занятия по 13 разделам практики:

1. Обзор компонентов базовой персональной компьютерной системы.
2. Сборка компьютера.
3. Профилактическое обслуживание персональных компьютеров.
4. Операционные системы.
5. Мобильные устройства.
6. Безопасность.
7. Виды и принципы работы оргтехники.
8. Резервирование и восстановление данных.
9. Обработка почтовой корреспонденции.
10. Машинопись.
11. Программы офисного назначения.
12. Компьютерная верстка. Создание публикаций.
13. Пакеты прикладных программ в соответствии со специализацией.

Результаты учебной деятельности в обучающем средстве диагностируются, благодаря тестам, по каждому разделу практики и итоговому тестированию.

Преподаватель (администратор средства) может добавить либо удалить все разделы, документацию, инструкции по выполнению практических занятий, список вопросов к экзамену, тестовые задания, словарь терминов. Пользователь может только просматривать информацию, изучить материал и осуществить самоконтроль знаний.

Преимущество разработки данного Telegram-бота состоит в том, что у него нет аналогов на платформе Telegram, которые обеспечивали бы полное информирование пользователей по учебной практике для получения квалификации «Оператор электронно-вычислительных машин (персональных электронно-вычислительных машин)».

АОС может быть использован на любом этапе занятия, а также для самостоятельного прохождения учебной практики. Из этого следует, что созданное АОС по учебной практике для получения квалификации «Оператор электронно-вычислительных машин (персональных электронно-вычислительных машин)» эффективно осуществлять процесс обучения и контроль знаний учащихся специальности 2-40 01 01 «Программное обеспечение информационных технологий» (по новому ОКРБ 011-2022 [3] – 5-04-0612-02 «Разработка и сопровождение программного обеспечения информационных систем»), а также сделает процесс обучения насыщенным информацией, интерактивным и практически значимым для учащихся.

**Список использованных источников:**

1. Славинская, О. В. Осмысление технологий медиадидактики «цифровыми мигрантами» / О. В. Славинская, М. Н. Демидко // Вестник МГИРО. – 2018. – № 2 (34). – С. 82-88.

2. Славинская, О. В. К вопросу о современном состоянии и перспективах развития учебных изданий = To the question of the current state and prospects development of educational publications / О. В. Славинская, А. Н. Валодчинко, А. С. Платоненко // Высшее техническое образование : проблемы и пути развития = Engineering education: challenges and developments : материалы XI Международной научно-методической конференции, Минск, 24 ноября 2022 года / Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2022. – С. 160–163.

3. Общегосударственный классификатор Республики Беларусь ОКРБ 011-2022 «Специальности и квалификации»: [утв. постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 24.03.2022 № 54 // Сайт Учреждения образования «Республиканский институт профессионального образования» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://ripo.by/assets/ripo\\_new/files\\_2022/9/%D0%BD%D0%BF%D0%B0%D0%9E%D0%9A%D0%A0%D0%91%20011-2022%20%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%84%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8%20\(%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%20%D0%9C%D0%9E%D0%A0%D0%91%2054%20%D0%BE%D1%82%2024\\_03\\_2022\).pdf](https://ripo.by/assets/ripo_new/files_2022/9/%D0%BD%D0%BF%D0%B0%D0%9E%D0%9A%D0%A0%D0%91%20011-2022%20%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%84%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8%20(%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%20%D0%9C%D0%9E%D0%A0%D0%91%2054%20%D0%BE%D1%82%2024_03_2022).pdf)

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭОР В ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

*Винагин Д.И.<sup>1</sup>, студент группы 244691*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники<sup>1</sup>  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Парафиянович Т.А. – доцент кафедры ИРТ, канд.пед.наук, доцент*

**Аннотация.** В тезисах рассматривается организация самостоятельной работы студентов, представлены результаты исследования влияния электронных образовательных ресурсов (ЭОР) на самостоятельную работу студентов, представлены преимущества использования ЭОР, включающие повышение доступности и качества обучения, партнерское взаимодействие преподавателя и студента, применение интерактивных элементов, заданий и тестов.

**Ключевые слова.** ЭОР, самостоятельная работа студентов, обучение, исследование.

Современные информационные технологии в образовании позволяют значительно расширить возможности организации учебного процесса и повысить качество образования. В частности, использование электронных образовательных ресурсов (ЭОР) может значительно упростить процесс получения знаний, особенно при организации самостоятельной работы студентов. Сегодня электронные образовательные ресурсы, элементы дистанционного обучения широко включены в очную систему образования, при этом организация образовательного процесса, базируется на принципе самостоятельного обучения, стимулировании учебной и исследовательской деятельности обучающихся. Электронные образовательные ресурсы (ЭОР) – это специально созданные цифровые материалы, которые используются в учебном процессе для облегчения процесса обучения и самостоятельной работы студентов [1]. Они могут включать в себя различные электронные материалы, такие как учебные пособия, лекции, тесты, задания, что значительно повышает качество и доступность обучения. Одним из главных преимуществ использования ЭОР является возможность самостоятельно работать с материалами в удобное время и в необходимом темпе, также самостоятельно выбирать материалы, которые соответствуют уровню знаний и потребностям [1].

В настоящее время БГУИР является одним из ведущих университетов в IT-области и использовании ЭОР в учебном процессе. Самостоятельная работа – это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Развитию навыков самостоятельной работы обучающихся способствует взаимодействие преподавателя и студента, осуществляющих совместную деятельность в диалоговом общении, которое носит равноправный, партнерский характер и содействует развитию навыков аргументированного доказательства, самопрезентации собственных идей [2, с.119]. Самостоятельная работа студентов не только формирует познавательные и аналитические способности, развивает личностные качества такие как организованность, ответственность, самоконтроль, умение планировать, но и расширяет умения и навыки работы с различными источниками информации. В образовательном процессе предусматриваются различные формы самостоятельной работы студентов такие как: подготовка и защита рефератов, докладов, разработка индивидуальных и групповых проектов, курсовые работы, подбор материалов к практическим занятиям, дискуссиям, деловым играм, выполнение исследовательских заданий, индивидуальных заданий при прохождении педагогической практики и др.

С целью изучения эффективности использования электронных образовательных ресурсов было проведено исследование. Методика исследования включала опрос студентов с помощью стандартных анкетных вопросов. В опросе были заданы следующие вопросы с представленными вариантами ответов: какие ЭОР используются на вашем курсе; какие виды самостоятельной работы вы выполняете с помощью ЭОР; считаете ли вы, что использование ЭОР увеличивает вашу мотивацию к выполнению самостоятельной работы; как часто вы используете ЭОР в рамках выполнения самостоятельной работы; каково ваше мнение о том, как эффективно используются ЭОР в организации самостоятельной работы студентов; какие проблемы вы испытываете при использовании ЭОР в организации самостоятельной работы; считаете ли вы, что использование ЭОР в учебном процессе помогает вам лучше организовывать свою самостоятельную работу?

В опросе приняли участие 40 респондентов из числа студентов БГУИР. Результаты опроса показали, что электронные образовательные ресурсы имеют широкое применение в самостоятельной

работе студентов - 90% респондентов используют электронные образовательные ресурсы в своей учебной деятельности. Кроме того, 57.5% респондентов просматривают учебные видео, а 55% читают электронные научные статьи. Около 52.5% респондентов выполняют интерактивные задания, 40% - проходят онлайн-курсы; примерно 47.5% респондентов используют электронную библиотеку для получения дополнительных материалов.

Из результатов опроса следует, что 50% респондентов считают, что использование электронных образовательных ресурсов повышает их мотивацию к выполнению самостоятельной работы. Только 30% затруднились ответить на этот вопрос. Около 25% студентов используют электронные образовательные ресурсы несколько раз в неделю, в то время как 20% студентов используют их ежедневно. Согласно опросу, 40% студентов считают, что использование электронных образовательных ресурсов способствует повышению эффективности образовательного процесса и организации самостоятельной работы студентов. Однако, 15% студентов испытывают проблемы с доступом к материалам, у 12.5% возникают технические проблемы при использовании электронных образовательных ресурсов. Кроме того, 10% студентов отметили проблему ограниченного выбора материалов, 7.5% считают, что интерфейс электронных образовательных ресурсов не достаточно удобен. Вместе с тем, несмотря на некоторые проблемы с доступом, техническими вопросами, абсолютное большинство респондентов считают, что использование электронных образовательных ресурсов в учебном процессе помогает им лучше организовывать свою самостоятельную работу. Результаты исследования представлены на рисунке №1 в виде соответствующей диаграммы:

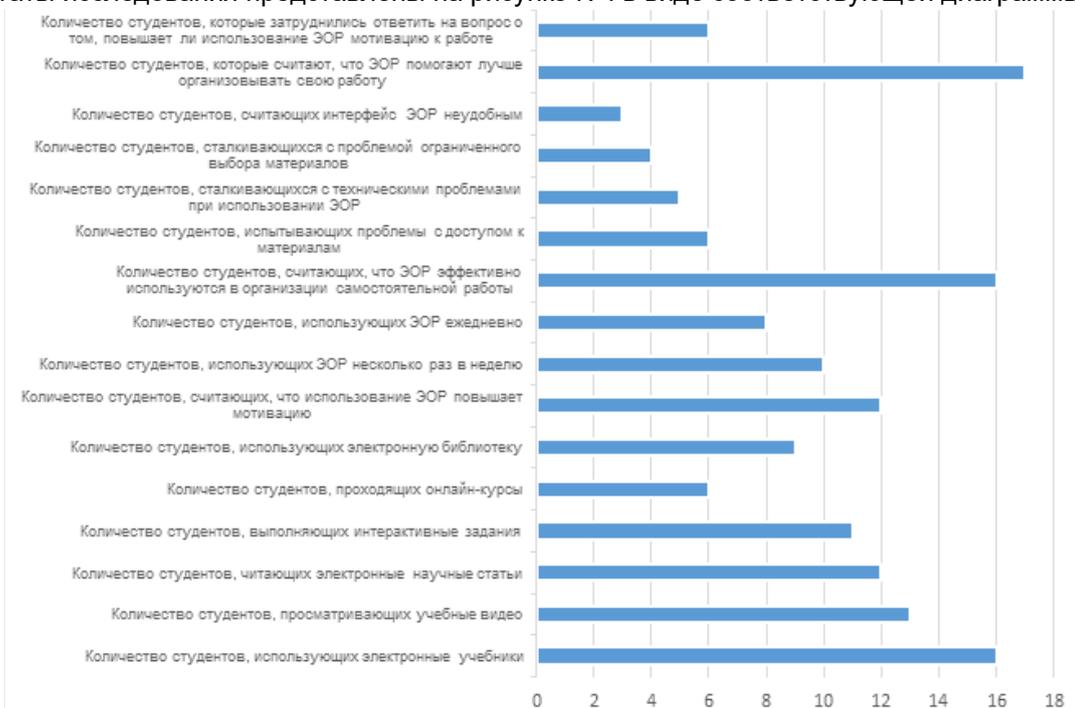


Рисунок 1 – Диаграмма, отражающая статистику по вопросам заданным на опросе

В целом, результаты исследования показывают, что использование ЭОР в учебном процессе может иметь положительный эффект на организацию самостоятельной работы студентов, хотя возможны технические проблемы, и проблемы, связанные с доступом к ресурсу, а также ограничения в выборе материалов.

#### Список использованных источников:

1. Самойленко, Н. В. Опыт использования электронных образовательных ресурсов на кафедре информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники / Н. В. Самойленко // Новые информационные технологии в образовании : материалы X Международной научно-методической конференции. – Минск, 2017. – С. 154-157.

2. Парафиянович, Т. А. Использование информационно-коммуникационных технологий в развитии личности будущего педагога-программиста / Т. А. Парафиянович, З. Н. Мурашкина // Проблемы повышения эффективности образовательного процесса на базе информационных технологий = Problems of improving the efficiency of the educational process based on information technology: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 25 апреля 2019 года) / редкол.: Ю. Е. Кулешов [и др.]. - Минск : БГУИР, 2019. – С. 116 – 119. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://libeloc.bsuir.by/bitstream/123456789/35218>

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО АСПЕКТА ЗДОРОВЬЯ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

*Габриневская И.А.*

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

*Парафиянович Т.А. – научный руководитель, канд.пед.наук, доцент*

**Аннотация.** В статье дана оценка процессу социализации обучающихся, сделан анализ факторов, вызывающих нарушение внутренней согласованности личности и негативно влияющих на состояние психологического здоровья; сформулированы критерии психологического здоровья; представлено исследование уровня психологического здоровья обучающихся, выполненное путем использования анонимного онлайн-опроса, уточняющего ментальное состояние личности; представлены рекомендации по сохранению психологического здоровья.

Согласно Всемирной организации здравоохранения здоровье – это не только отсутствие болезней и физических дефектов. Здоровье является состоянием полного физического, социального и психологического благополучия. Таким образом, психологическое благополучие так же важно, как и физическое, это основа удовлетворенности жизнью.

На данный момент обучающиеся относятся к группе повышенного риска развития психологических отклонений. Это связано с тем, что в период обучения на студентов воздействует целый ряд факторов, негативно влияющих на состояние психологического благополучия. К таким факторам можно отнести:

- психоэмоциональное напряжение, возникающее в связи с неопределенностью дальнейшего трудоустройства;
- отсутствие режима сна и отдыха;
- неправильное питание;
- при материальном неблагополучии вынужденная мера совмещать учебу и работу [1].

На сегодняшний день вопрос о психологическом здоровье обучающихся наиболее актуален в процессе получения образования, поскольку процесс социализации современной молодежи протекает в условиях кризисов, перестройки системы ценностей, низкого качества жизни, игнорирования традиционных жизненных ценностей, низкого уровня ценностного отношения к своему здоровью, нестабильности идеологии общества, распространения вредных привычек, обесценивания роли образования и многое другое.[2] В результате негативного воздействия всех этих условий на организм человека происходит нарушение внутренней согласованности личности, что в свою очередь приводит к возникновению проблем психологического здоровья.

Цель проводимого исследования – выявить уровень психологического здоровья обучающихся.

К главным критериям психологического здоровья можно отнести:

- адекватность понимания общества;
- осознание поступков;
- работоспособность и активность;
- стремление к новым целям;
- способность планировать собственную жизнедеятельность и реализовывать эти планы;
- способность изменять свои действия и нормы поведения в зависимости от смены жизненных ситуаций и обстоятельств;
- умение находить контакты и др.

Проводимое исследование представляет собой проведение онлайн-опроса среди студентов, главной целью которого является оценка уровня психологического здоровья. Тесты на психологическое здоровье помогают уточнить ментальное состояние личности. Онлайн опросники проводят проверку по различным направлениям. Данный тест нацелен на оценку таких критериев, как спонтанность, адекватное восприятие неудач, автономность, способность к близким отношениям, конформность.

Для проведения эксперимента было подготовлено 29 тестовых вопросов. Было принято решение сделать тест анонимным, поскольку есть вероятность, что при указании личных данных, обучающиеся не будут до конца честны при ответе на вопросы, что в свою очередь повлияет на чистоту эксперимента.

В качестве опрашиваемых были выбраны студенты одной группы, с целью исключить возможность наличия неравных условий обучающихся. В эксперименте приняли участие 21 человек. По результатам опроса выявлено, что у 19,7% респондентов не возникает проблем по части психологического здоровья, 66,0% респондентов испытывают некоторые трудности, и при отсутствии своевременного устранения их, могут произойти серьезные последствия со здоровьем. 14,3%

респондентов отмечают у себя серьезные проблемы по части психологического здоровья. Результаты опроса представляем в виде диаграммы на рисунке 1.

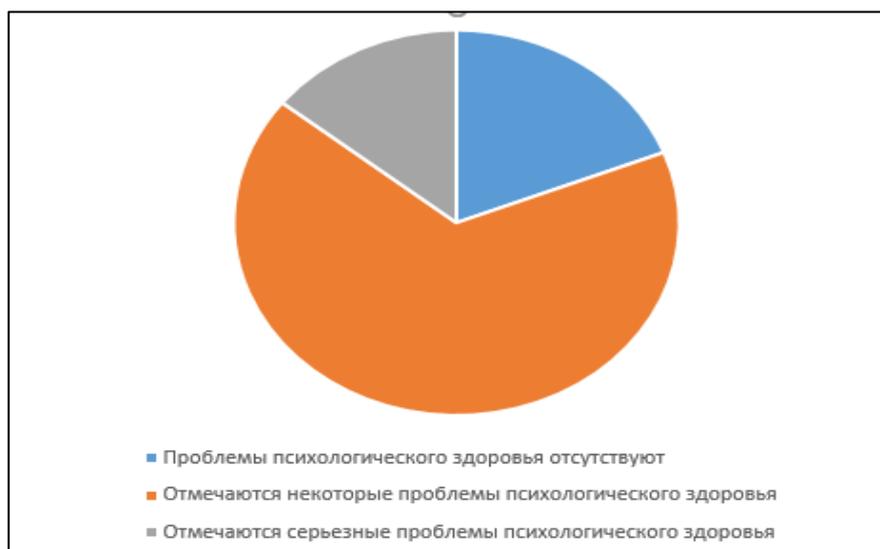


Рисунок 1 – Результаты проведенного исследования

Статистика показывает, что из опрошенных респондентов у 30% отмечается наличие некоторых проблем с психологическим здоровьем.

Темп современной жизни и условия во многих сферах занятости постоянно подвергают человека стрессам. Если не уметь с ними справляться и возрастает вероятность возникновения депрессии, чувства тревоги и беспокойства, что в свою очередь, чревато более серьезными психологическими расстройствами.

Существует множество техник и методик по сохранению и поддержанию психологического здоровья. Однако стоит отметить, если человек чувствует, что не в состоянии самостоятельно справиться с проблемами в жизни, обязательно стоит обратиться за профессиональной помощью.

На сегодняшний день можно выделить основные шаги на пути к психологическому здоровью:

- соблюдение режима дня;
- правильное сбалансированное питание;
- следите за своим здоровьем.;
- необходимо учиться контролировать свои эмоции;
- занятия спортом;
- больше положительных эмоций;
- минимизирование негативных воздействий;
- расслабляйтесь перед сном;
- необходимо мыслить позитивно и во всём видеть хорошее;
- ищите поддержку и помощь.

Таким образом, можно сказать, что психологическое здоровье напрямую зависит от физического здоровья. Ведь как сказал древнеримский поэт Ювенал – «надо ..., чтобы ум был здоровым в теле здоровом». Крепкое психическое здоровье – это залог полноценной и счастливой жизни!

#### **Список использованных источников:**

1. Психологическое здоровье человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://uzggb2.by/index.php/ru/novosty/item/157-psikhologicheskoe-zdorove-cheloveka>.
2. В ладу с собой и миром: 7 критериев психического здоровья [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://theoryandpractice.ru/posts/19026-v-ladu-s-soboy-i-mirom-7-kriteriev-psikhicheskogo-zdorovya>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ШИН

Гаранинов М.И.

Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь

Кирильчук В.Б. – кандидат технических наук

**Аннотация.** Целью данной работы является создание системы радиочастотной идентификации, предназначенной для контроля параметров автомобильных шин, таких как давление, влажность, температура, во время эксплуатации автомобиля.

Существует большое количество проблем в области использования систем радиочастотной идентификации в автомобилях, такие как наличие паразитных характеристик из-за близости интегральной схемы, расположение меток, нахождение недорогого и легкого материала с низкими потерями, проблемы отражения радиоволн. Однако уже сегодня ведутся разработки по разработке систем, предназначенных для встраивания в шины автомобилей. Энергия, необходимая для возбуждения и активации метки, берется из электромагнитного поля, создаваемого антенной считывающего устройства. В интегральной схеме транспондера хранится уникальный идентификатор, который может быть связан с идентификационным номером транспортного средства. Чип также может хранить информацию о том, когда и где была произведена шина, ее максимальное давление, размер и другие характеристики.

В метке используется недорогой процесс сборки схемы на основе выводной рамки, а миниатюрная антенна встроена в рамку.

Одним из улучшений систем штрих-кодов с помощью *RFID* является возможность читать и писать на несущем информацию элементе на предмете. Метка может нести несколько килобайт данных, которые могут быть прочитаны выборочно. Также могут быть добавлены новые элементы данных и изменены, то есть стерты и перезаписаны. Эти функции зависят от типа используемой метки. Метка может иметь собственный процессор, способный выполнять сложные задачи с данными, хранящимися в его памяти. Другой важной особенностью является способность считывателя *RFID* взаимодействовать с меткой без прямой видимости, поскольку метка размещается внутри шины. Если метка находится в области, доступной для считывателя, ее можно обнаружить и с ней связаться. Таким образом, идентификация предметов может осуществляться без их распаковки. Это увеличивает долговечность бирки, а также упрощает чтение каждого предмета, поскольку он не должен находиться вне упаковки, защищающей его.

*RFID*-метка диапазона *UHF* использует излучение в дальней зоне с реальной мощностью, содержащейся в распространяющихся в свободном пространстве электромагнитных плоских волнах из-за его более короткой длины волны, в то время как высокочастотные метки (13,56 МГц) используют индуктивную связь в ближней зоне, поскольку длина волны намного длиннее. Основное отличие состоит в том, что в *УВЧ*-системах резистивная часть излучаемой мощности используется для связи с пассивной меткой, тогда как в *ВЧ*-системах используется реактивная часть излучающей мощности.

Стремление к повышению безопасности и эффективности автомобильной транспортной системы побуждает автопроизводителей интегрировать системы беспроводной связи в автомобили. В то время как системы связи между транспортными средствами и транспортными средствами с инфраструктурой привлекают большое внимание, первая беспроводная сеть, устанавливаемая в каждом новом транспортном средстве, на самом деле является сенсорной сетью внутри транспортного средства: системой контроля давления в шинах (*TPMS*).

Будущие автомобильные датчики будут способствовать дальнейшему повышению активных и пассивных систем безопасности легковых и грузовых автомобилей. Одна особенно многообещающая цель – собирать данные о шинах, такие как температура, вибрация, ускорение и давление в шинах, путем установки датчиков в шинах.

В то время как давление в шинах уже контролируется во многих транспортных средствах с помощью датчиков, установленных на ободе, другие упомянутые параметры можно получить только с помощью датчика, установленного на шине.

Для контроля параметров шин с помощью радиочастотной идентификации выгодно использовать пассивные системы. Это значит, что эти *RFID* метки не имеют источника питания. Вместо

этого они питаются электромагнитным полем считывателя. Это помогает создать очень недорогие метки, состоящие только из интегральной схемы и антенны, собранной на подложке.

Перспективной идеей является использование технологии RFID для создания экономичных беспроводных систем. Наиболее простой метод - использовать часть банка памяти метки для хранения цифровой кодированной информации. Затем данные датчика извлекаются путем считывания данных из выделенной области памяти с использованием стандартного протокола *RFID*, например *EPCglobal*. Таким образом, можно получить данные датчика с помощью любого стандартного считывающего устройства *RFID*. Этот метод кодирования дополнительной информации в памяти метки уже коммерчески доступен, например метки *UCODE7* используют область памяти, которая содержит информацию о настройке конденсаторной батареи, используемой для согласования импеданса антенны метки с импедансом микросхемы. Хотя большая часть этой технологии может применяться к любым датчикам на основе *RFID*, основное внимание уделяется автомобильным усовершенствованным системам контроля параметров шин. Эта система является усовершенствованием современной системы контроля давления в шинах (*TPMS*). Дополнительные функции датчика активируются путем размещения датчика *ATMS* непосредственно на шине. Это монтажное положение запрещает вставку батарей для питания меток в шину по механическим причинам. Данный метод может быть использован для кодирования данных датчика, которые включают давление, температуру и вибрацию.

Кроме того, информация, хранящаяся в стандартных банках памяти *RFID* меток *ATMS*, содержит ценную информацию о производителе шины, типе, индексе скорости и возрасте шины, что само по себе позволяет улучшить стандартную безопасность транспортных средств.

Стандартные системы радиочастотной идентификации в дальней зоне присутствуют на рынке уже несколько лет и применяются в различных областях. Применение технологии *RFID* для беспроводных датчиков не так хорошо развито, как применение в управлении цепочками поставок, логистике и розничной торговле, но все же больше не считается новым. Однако в обеих сферах применения *RFID* не смог стать такой популярной технологией, как штрих-код или *Wi-Fi*. Причин много, но они сводятся к недостаточной надежности, вызванной ухудшением характеристик антенн меток из-за монтажа, отсутствием усовершенствованной обработки сигналов во многих считывателях *RFID*, недостаточной изоляцией передачи для приема в считывателях и ограниченной чувствительностью меток. В то время как случаи с большим количеством меток и умеренными потерями каналов ограничены возможностями считывателя различать метки и решать конфликты, системы с небольшим количеством тегов или высокими потерями каналов ограничиваются размером каналов. Ограничение возможностей линии связи возникает либо в прямой линии связи при питании метки, либо в обратной линии связи, когда полученное отношение сигнал/шум (*SNR*) является недостаточным.

Дальнейшее развитие в сфере использования технологии радиочастотной идентификации для усовершенствования продвинутых систем контроля параметров шин в основном заключается в проектировании микросхем, интеграции маломощных датчиков давления и вибрации, также как и *RFID* метки на одном кремниевом кристалле. Электроника датчика может получать питание посредством сбора внешней энергии.

Всё это позволяет выделить следующие необходимые задачи разработки системы контроля параметров шин:

- выбрать зону действия метки;
- выбрать тип антенн считывателя и меток;
- решить задачу проникновения электромагнитного поля в шину;
- создать алгоритм работы системы,
- подобрать компоненты системы по найденным параметрам.

Таким образом, исследуемая тема является актуальной. В качестве разрабатываемой системы выступает устройство контроля параметров пассивных радиочастотных меток, с использованием расположенного на расстоянии считывателя, подключенного к управляющему компьютеру.

**Список используемых источников:**

1. Федоров, М. Стандарты и тенденции развития RFID-технологий / М. Федоров // Компоненты и технологии. – 2006.
2. Гуреева, О. Новый протокол Gen2 для систем радиочастотной идентификации / О. Гуреева // Компоненты и технологии. – 2006. – №1.

# СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПРОБЕГА АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

*Гаранинов М.И.*

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь*

*Кирильчук В.Б. – кандидат технических наук*

**Аннотация.** Целью данной работы является создание системы радиочастотной идентификации, предназначенной для контроля пробега автомобильных шин.

Так как стоит задача разработки системы контроля пробега шин на основе *RFID* технологии, у базовой *RFID* системы есть набор устройств для ее работы. Этими устройствами являются метка, считыватель, блок управления. Первоначально необходимо создать алгоритм работы системы, подходящий для поставленной задачи.

Создание системы контроля пробега на основетехнологии радиочастотной идентификации подразумевает решение нескольких задач, таких как: выбрать зону действия метки, выбрать тип антенн считывателя и меток, решить задачу проникновения электромагнитного поля в шину, создать алгоритм работы системы, подобрать компоненты системы по найденным параметрам, собрать систему, протестировать качество ее работы и погрешность.

Первой задачей является определение мест установки устройства в автомобиле. Так как радиочастотные метки системы должны быть встроены в шину, необходимо определить наиболее выгодное место установки. Для этого необходимо изучить строение колеса, структуру шины, ее электромагнитные свойства. После этого станет понятна дальность расположения меток относительно считывателя, и возможно будет производить другие расчеты.

Так как металл наиболее отрицательно влияет на мощность электромагнитного поля, проходящего через него, необходимо расположить метки в месте, где металлический корд либо очень тонкий, либо совсем отсутствует, и влияние на мощность электромагнитного поля будет иметь только слой резины. Так как отрицательное влияние многослойного металлического корда на протекторе шины слишком велико, самое выгодное расположение электромагнитных меток в шине находится на боковине шины.

При вращении колеса установленная в шине метка, попадая в зону действия поля антенны считывателя, активируется, выполняя цикл передачи информации. В это время считыватель начинает считать число оборотов колеса, равных числу активаций метки, попадающей в зону действия поля антенны считывателя. После, по мере вращения колеса, метка выходит из зоны чтения, и считыватель больше ее не видит, пока колесо не сделает полный оборот и метка не начнет читаться снова. Соответственно, если в шине установлена одна метка, при каждом обороте колеса метка входит в зону считывания один раз и каждая активация метки расценивается как дополнительный оборот колеса. При движении автомобиля считыватель, суммирует число активации метки. Затем, после полной остановки автомобиля, когда поездка закончена, и выключения зажигания, считыватель снова создает электромагнитное поле, и записывает в память метки, установленной на шине, число, равное числу оборотов колеса за пройденный путь. Далее это число храниться в метке до конца следующего передвижения, после чего считыватель суммирует число оборотов, записанное в метке, с числом оборотов, насчитанным за последнее передвижение, и записывает новое число оборотов вместо старого. Затем, когда это необходимо, с помощью специального считывающего устройства, можно получить число оборотов из метки и, зная параметры шины, записанные либо на самой шине в виде маркировки, либо в памяти метки, произвести расчет пробега шины либо ручным методом, либо с помощью специально созданной программы.

По итогу произведенных расчетов можно с уверенностью сказать, что при скоростях движения до 200 километров в час, система с 4 метками на колесо будет успевать регистрировать каждый оборот колеса, соответственно основная задача системы, а именно чтение количества оборотов колеса, может быть выполнена.

#### **Список используемых источников:**

1. Федоров, М. Стандарты и тенденции развития RFID-технологий / М. Федоров // Компоненты и технологии. – 2006.
2. Geber E. A., Ballato A. Percision Frequency Control / Volume 2 "Oscillators and Standarts". – Orlando : Academic Press

## ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК LORAWAN СЕТЕЙ

Горчаков В.Н.

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

Каленкович Е.Н. – ст. преподаватель

В работе рассматриваются особенности программной и аппаратной реализации узлов LoRaWAN сетей.

В настоящее время происходит активное развитие технологии «Интернет вещей» (IoT), где важной особенностью является взаимодействие между разными устройствами через различные сети связи. Одним из примеров передачи данных по радиоканалу является технология LoRa и сетей передачи данных на её основе LoRaWAN, которые имеют преимущества перед сотовыми сетями и Wi-Fi в большом радиусе действия и минимальном потреблении энергии. Также данная технология является гибкой и может быть применена для различных задач, как сбора данных с датчиков и сенсоров, так и для управления процессами в системах автоматизации. Однако, важно исследовать работу данной технологии в реальных электромагнитных условиях для обеспечения качества передачи данных между устройствами. Для проведения дальнейших исследований необходимо разработать лабораторную установку, особенности реализации которой и рассматриваются в данной работе.

Сеть LoRaWAN состоит из следующих элементов: конечные устройства (end nodes), шлюзы (gateways), сетевой сервер (network server) и сервер приложений (application server).

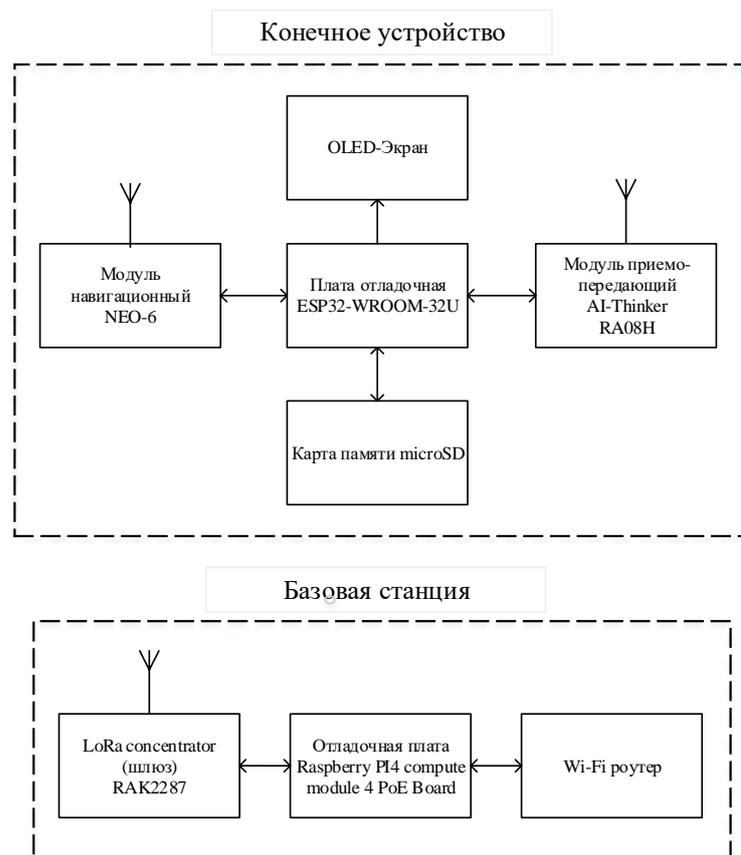


Рисунок 1 – Упрощенная структурная схема лабораторной установки

Конечное устройство – может быть сенсором или актуатором. Сенсор используется для измерения определённых параметров. Актуатор необходим для реализации управляющих функций. Данные устройства отправляют LoRa-модулированные сообщения по беспроводному каналу на шлюзы или получают сообщения от шлюзов.

Базовая станция (шлюз) – устройство, принимающее сообщения от конечных устройств с помощью радиоканала и передающее их в транзитную сеть. В качестве транзитной сети могут выступать Ethernet, WiFi, мобильны сети разного поколения. Шлюз и конечные устройства образуют сеть, построенную по топологии звезда. Сетевой сервер - предназначен для управления сетью: заданием расписания, адаптацией скорости, хранением и обработкой принимаемых данных.

Сервер приложений - может удаленно контролировать работу конечных устройств и собирать с них необходимые данные. Часто имеет облачную реализацию.

Полномасштабная LoRaWAN сеть имеет топологию звезда из звёзд, конечные устройства которой через шлюзы взаимодействуют сетевыми сервисами.

Структурная схема лабораторной установки, приведенной на рисунке 1, состоит из конечного устройства и базовой станции LoRaWAN.

Оконечное устройство включает в себя такие аппаратные узлы, как отладочная плата на основе SoC ESP32-WROOM-32U, навигационный модуль NEO-6, OLED-дисплей SSD1306, карта памяти формата microSD, приемо-передающий модуль Ai-Thinker RA08H, антенна.

Отладочная плата на основе двухъядерного микроконтроллера Xtensa® 32-bit LX6 является главным компонентом оконечного устройства и выполняет такие функции, как создание тестовых пакетов и отправка их на устройство приема-передачи RA08H с указанными параметрами модуляции, прием информации о текущих координатах и времени от навигационного модуля, прием ответных пакетов от устройства приема-передачи, отображение полученной информации на OLED-дисплее, сохранение результатов на карту памяти microSD.

Навигационный модуль NEO-6 служит для приема сигналов GPS и определения текущих координат и времени.

Устройство приема-передачи Ai-Thinker RA08H работает на основе модуляции LoRa в различных диапазонах и используется для передачи и приема информационных пакетов. Региональные параметры для работы в LoRaWAN сетях задаются при прошивке устройства. В данной работе исследуется стандарт EU868.

OLED-дисплей используется для отображения параметров модуляции, текущих координат и времени.

Базовая станция включает в себя такие аппаратные узлы, как LoRa concentrator RAK2287, отладочная плата compute module 4 PoE Board на основе одноплатного компьютера Raspberry Pi 4, Wi-Fi роутер, подключенный в сеть Ethernet, антенна.

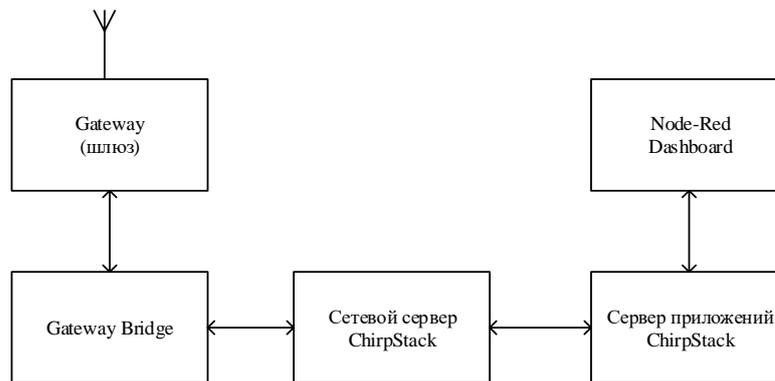


Рис. 2. Упрощённая структурная схема серверной части LoRaWAN стека

Упрощённая структурная схема серверной части LoRaWAN стека представлена на рисунке 2. Gateway Bridge (мост) преобразует LoRa фреймы в сетевые пакеты с последующей отправкой на сервер ChirpStack. Сервер приложений управляет настройками конечных устройств и позволяет производить регистрацию и присоединение конечных устройств. Для отображения служебной информации и полезной нагрузки, построения графиков используется приборная веб-панель Node-Red Dashboard.

**Список использованных источников:**

1. LoRaWAN® | The Things Network [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/>.
2. Передающий модуль RA08H [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://docs.ai-thinker.com/\\_media/lora/docs/ra-08h\\_v1.1.0\\_specification.pdf](https://docs.ai-thinker.com/_media/lora/docs/ra-08h_v1.1.0_specification.pdf)
3. What are LoRa and LoRaWAN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.semtech.com/uploads/documents/an1200.22.pdf>.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИЙ УОЛША ДЛЯ СЖАТИЯ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Дворникова Т.Н., Мисулин Е.А., Снапко Р.Ю.

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

Дворникова Т.Н. – Магистр технических наук

**Аннотация.** В настоящее время для передачи и хранения изображений необходимо их сжатие. В статье предлагается алгоритм гибридного сжатия, использующийся как для цветных, так и для черно-белых изображений. Он включает в себя дискретное вейвлет-преобразование и преобразование Уолша, которое используется для квантования. Коэффициенты преобразования Уолша квантуются и подвергаются арифметическому кодированию. На выходе объединенные данные находятся в сжатой форме и могут храниться на любом устройстве либо быть переданы через любую доступную сеть за самое короткое время. Сжатое изображение декодируется, и происходит декомпрессия исходного изображения с помощью операции обратного преобразования.

Для человека потребность в получении информации является постоянной. Например, в доисторическом периоде знания о ядовитых растениях, опасных зверях и т.п. являлись залогом выживания для отдельного человека. Информация о том, как добывать себе еду, воду, обустроить свое жилище и т.д. – является жизненно важной. Без изобретения способов передачи и обмена информацией человечество было бы обречено на вымирание. В современном мире человечество располагает богатыми возможностями для создания, хранения и передачи информации. Понятие, виды, свойства информации и объем информационных ресурсов в любой области деятельности человека растут огромными темпами. Массивы передаваемой информации увеличиваются непрерывно: начиная от бытовых разговоров, заканчивая информационным потоком в интернете. Рост объема информации обусловлен усложнением всех сфер жизнедеятельности современного общества, определяющим фактором является развитие технологий и научный прогресс.

Для сжатия изображений используются вейвлет преобразования, функции Уолша и арифметическое кодирование.

Вейвлет-преобразование - преобразование, похожее на преобразование Фурье с совершенно иной оценочной функцией. Основное различие лежит в следующем: преобразование Фурье раскладывает сигнал на составляющие в виде синусов и косинусов, т.е. функций, локализованных в Фурье-пространстве; напротив, вейвлет-преобразование использует функции, локализованные как в реальном, так и в Фурье-пространстве. В общем, вейвлет-преобразование может быть выражено следующим уравнением:

$$F(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\psi_{(a,b)}^*(x)dx \quad (1),$$

где \* - символ комплексной сопряженности и функция  $\psi$  - некоторая функция. Функция может быть выбрана произвольным образом, но она должна удовлетворять определенным правилам.

Функциями Уолша называется семейство функций, образующих ортогональную систему и принимающих значения только +1 и -1 на всей области определения. Эти функции образованы из функций Радемахера.

Простота обработки – одно из основных достоинств преобразований в базисе Уолша, однако для формирования таких функций нужны специальные генераторы. Сейчас существует большое количество схем генераторов функций Уолша.

В наше время передача изображений является неотъемлемой частью любой сферы деятельности. Не всегда доступна хорошая сеть для передачи современных изображений с достаточной скоростью. Поэтому сейчас, как никогда актуальны алгоритмы сжатия изображений без потерь качества.

Сжатие изображений — это наука, которая занимается уменьшением количества бит, необходимых для хранения, передачи и восстановления изображений без потери информации. Техника сжатия без потерь используется для сжатия и распаковки изображения. Сжатое изображение может быть передано через облачную сеть на стороне получателя, и изображение может быть реконструировано.

В данной работе для изображений предложен гибридный алгоритм сжатия. Вейвлет-преобразование, преобразование Уолша и арифметическое кодирование используются в совокупности для получения наилучших результатов, таких как: сжатие не менее чем в 39 раз, без потерь качества при декодировании.

**Список использованных источников:**

1. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы / И. С. Гоноровский. М.: Радио и связь, 1986.
2. Лосев В.В., Бродская Е.Б., Коржик В.И. Поиск и декодирование сложных дискретных сигналов. М.: Радио и связь, 1988.
3. Радиотехнические цепи и сигналы / Гоноровский И.С. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.

## АЛГОРИТМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ СЕТИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

*Дорогина А.С., студент гр. 940401, Земсков Г.А., студент гр. 940401*

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

*Половения С.И. – канд. техн. наук, доцент*

**Аннотация.** В тезисе рассматривается алгоритм обеспечения кибербезопасности сети интернета вещей.

Интернет вещей (далее ИВ) – это сеть устройств, которые обмениваются данными и информацией между собой без участия человека, используя различные технологии связи, такие как Wi-Fi, Bluetooth, NFC и др. ИВ могут быть оснащены разнообразными устройствами, такими как датчики и исполнительные устройства, для сбора, передачи и анализа данных, а также управления другими устройствами. ИВ применяется во многих областях, включая умный дом, здравоохранение, медицина, транспорт и промышленность, и является важным элементом концепции "Умного города".

Кибербезопасность ИВ является критически важной задачей, так как устройства ИВ могут быть подвержены различным видам кибератак. Например, злоумышленники могут захватывать ИВ-устройства для использования их в качестве ботнетов для DDoS-атак, украсть личные данные пользователей, перехватить данные, передаваемые между устройствами ИВ, и многое другое. Поэтому важно разработать алгоритмы обеспечения кибербезопасности ИВ, которые будут гарантировать безопасность и конфиденциальность передаваемых данных, защищать устройства от несанкционированного доступа и обеспечивать целостность системы в целом.

Общая структурная схема обнаружения уязвимости сети ИВ [2] приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурная схема обнаружения уязвимости сети ИВ

**Обучение данных:** в этом шаге мы собираем данные из устройств ИВ и подготавливаем их для обучения модели (предобработка данных, т.е. очистка, преобразование и масштабирование).

**Модель гиперпараметров:** здесь мы выбираем модель машинного обучения и определяем ее гиперпараметры.

**Обучение модели:** в этом шаге мы обучаем модель на подготовленных данных (использование методов обучения, таких как классификация, регрессия или кластеризация).

**Тестирование данных:** после обучения модели мы тестируем ее на независимых данных, чтобы оценить ее производительность и обнаружить возможные проблемы.

**Оценка модели и ее показателей:** в этом шаге мы оцениваем производительность модели, используя различные метрики, такие как точность, полнота и другие.

**Выбор модели:** на основе результатов оценки мы выбираем модель, которая дает наилучшую производительность на тестовых данных, и применяем ее для обнаружения уязвимостей в сети ИВ.

Кибератаки могут представлять серьезную угрозу для безопасности сетей ИВ. Для предотвращения таких атак существуют различные методы защиты. Однако, поскольку существует множество типов кибератак, необходимо использовать различные меры защиты в зависимости от типа атаки.

Алгоритм обеспечения кибербезопасности сети ИВ изображен на рисунке 2. Алгоритм описывает процесс обеспечения кибербезопасности сети ИВ, начиная с настройки системы обнаружения вторжений и добавления устройств. Затем происходит определение уязвимости для каждого устройства по его IP-адресу. Если обнаруживается кибератака, система определяет тип атаки и пытается устранить ее. В остальных случаях система продолжает работать в нормальном режиме, обеспечивая безопасность сети.

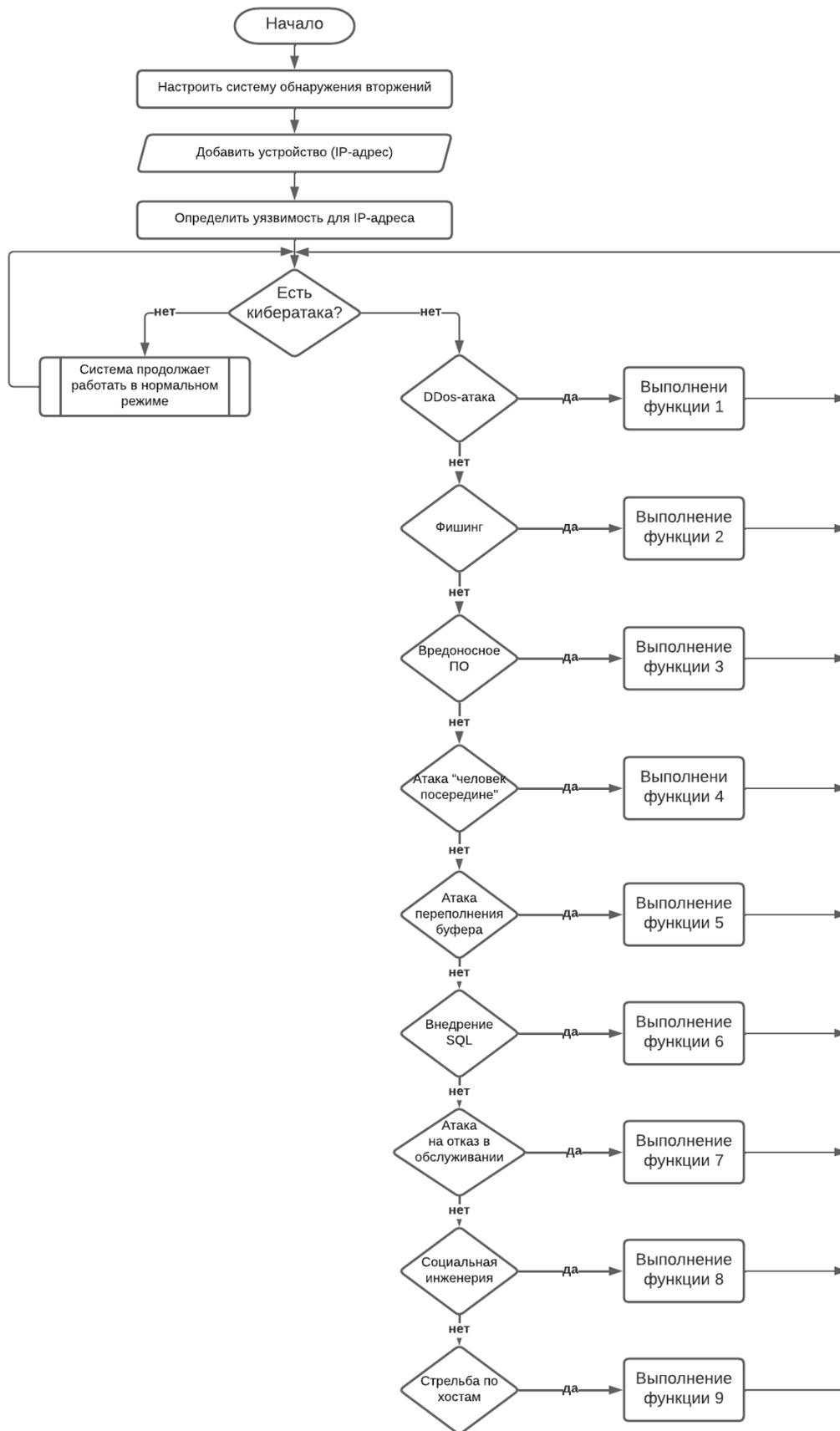


Рисунок 1 – Алгоритм обеспечения кибербезопасности сети ИВ

Борьба с различными типами кибератак может варьироваться в зависимости от конкретного типа атаки и используемых средств защиты.

Например, для борьбы с фишингом необходимо обучать пользователей распознавать подозрительные письма и ссылки, а также использовать проверенные источники для ввода своих личных данных. Для борьбы с вредоносным ПО, следует использовать антивирусное ПО и избегать загрузки программ из ненадежных источников. Для защиты от DDoS-атак, необходимо использовать специальное ПО, которое блокирует потоки нежелательного трафика. Для борьбы с SQL-инъекциями, следует использовать проверку вводимых пользователем данных и форматирование SQL-запросов. Для защиты от кражи учетных данных, следует использовать сложные пароли и двухфакторную аутентификацию.

Результаты исследования алгоритма кибербезопасности сети интернета вещей могут привести к повышению безопасности сети Интернета вещей в целом. Благодаря исследованию можно выявить уязвимости в существующих алгоритмах и предложить улучшения и дополнения, которые помогут защитить сеть от кибератак. Кроме того, результаты исследования могут использоваться для обучения персонала, занимающегося кибербезопасностью, а также для разработки новых продуктов и услуг, связанных с Интернетом вещей.

**Список использованных источников:**

1. Ли П. *Архитектура интернета вещей* / пер. с англ. М.А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс. – 2019. – 454 с.
2. *Кибербезопасность ИВ с помощью машинного обучения* [Электронный ресурс]. – Режим доступа [https://github.com/harshilpatel1799/lot-Cyber-Security-with-Machine-Learning-Research-Project/blob/master/Project\\_Part\\_1.pdf](https://github.com/harshilpatel1799/lot-Cyber-Security-with-Machine-Learning-Research-Project/blob/master/Project_Part_1.pdf). – Дата доступа: 11.04.2023

# **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТУРА ГРУБОЙ ПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ НА ПРОЦЕСС КОРРЕКЦИИ ЧАСТОТНОГО СМЕЩЕНИЙ ПРИ ПРИМЕ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ**

*Зайцев И. А., магистрант гр.145201*

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

*Козел В. М. – канд. тех. наук, доцент*

Работа посвящена установлению закономерностей влияния параметров метода синхронизации на время и качество коррекции частотного смещения.

Современные системы связи требуют большого расстояния связи, большой пропускной способности связи, хорошего качества.

Наибольшая энергетическая и спектральная эффективность передачи дискретной информации достигается при использовании методов фазовой манипуляции (M-PSK).

Технология M-PSK широко используется в цифровых системах связи, таких как системы микроволновой связи, системы спутниковой связи с широкополосным доступом, системы мобильной связи, кабельное телевидение и т. д.

В цифровых системах связи для обеспечения согласованной работы любая группа устройств нуждается в синхронизации определенных параметров. Синхронизация является важным аспектом в различных областях техники, включая системы связи, компьютерные сети, автоматизацию и др. Поскольку ошибки в синхронизации могут привести к сбоям в передаче данных и потере информации.

Для корректной демодуляции фазоманипулированных сигналов требуется обеспечить синхронизацию принятого сигнала по частоте и фазе с локально генерируемым колебанием (синхронизацию несущего колебания). Из этого следует, что синхронизация несущей является важным элементом в цифровых системах связи, использующим фазовую манипуляцию для эффективной передачи информации.

Однако в реальных условиях частота и фаза несущего колебания неизвестна. Это обусловлено особенностями распространения радиоволн, нестабильностью частоты опорных генераторов, изменяющимся местоположением передающего и приемного устройств, эффектом Доплера и т.п.

При приеме фазоманипулированных сигналов, используются различные методы синхронизации несущего колебания, которые позволяют осуществить коррекцию частоты и фазы локально генерируемого сигнала, для обеспечения согласованной работы устройств в системе связи.

Одним из таких методов является контур ФАПЧ. Однако при больших фазо-частотных сдвигах контур ФАПЧ плохо справляется со своей задачей. В некоторых случаях остается остаточное смещение.

Для недопущения таких случаев, облегчения работы для контура ФАПЧ и уменьшения времени на синхронизацию несущей, перед контуром ФАПЧ можно использовать различные техники со вспомогательными данными, например, передачу преамбул, или можно использовать контур грубой подстройки частоты.

При добавлении дополнительных контуров частотную синхронизацию необходимо разбить на грубую синхронизацию и точную синхронизацию (схема ФАПЧ), где грубая корректирует большие смещения порядка кГц или более, в то время как точная синхронизация корректирует остаточное смещение, если таковое осталось.

Использование контура грубой подстройки частоты (ГПЧ) является более энергоэффективным и универсальным по сравнению с другими практиками по улучшению качества принятой информации, так как не требует передачи служебной информации, и вся энергия направлена на передачу полезной информации.

Внедрение такого контура облегчает процесс синхронизации несущей, тем самым система связи, использующая данный модифицированный метод, способна функционировать в более сложной помеховой обстановке.

Основными параметрами, от которых зависит качество работы контура ГПЧ, являются размер БПФ и количество усредненных значений спектра.

Исследуем влияние параметров схемы ГПЧ на время и качество коррекции частотного смещения. Для этого смоделируем систему связи (рисунок 1) в Simulink.

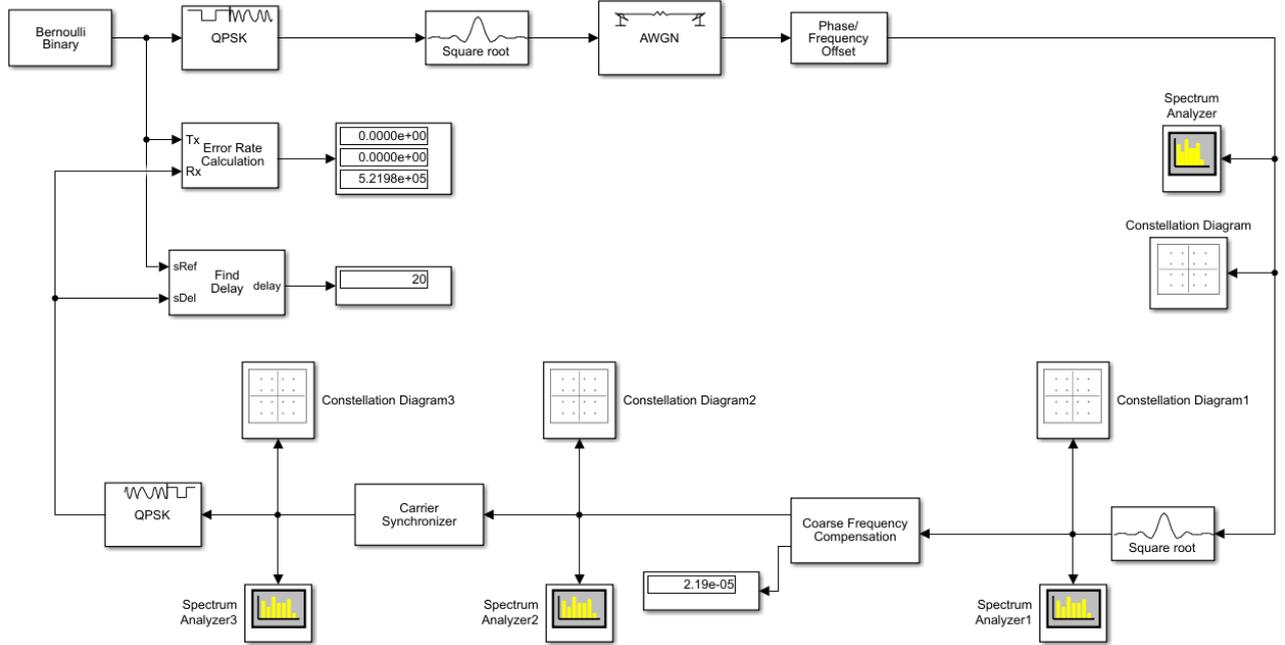


Рисунок 1 – Модель системы связи с синхронизацией несущей

Для визуализации зависимости времени, необходимого для нахождения частоты смещения, от размера БПФ построим графики. Также учтем различные значения количества усредненных значений спектра (рисунок 2).

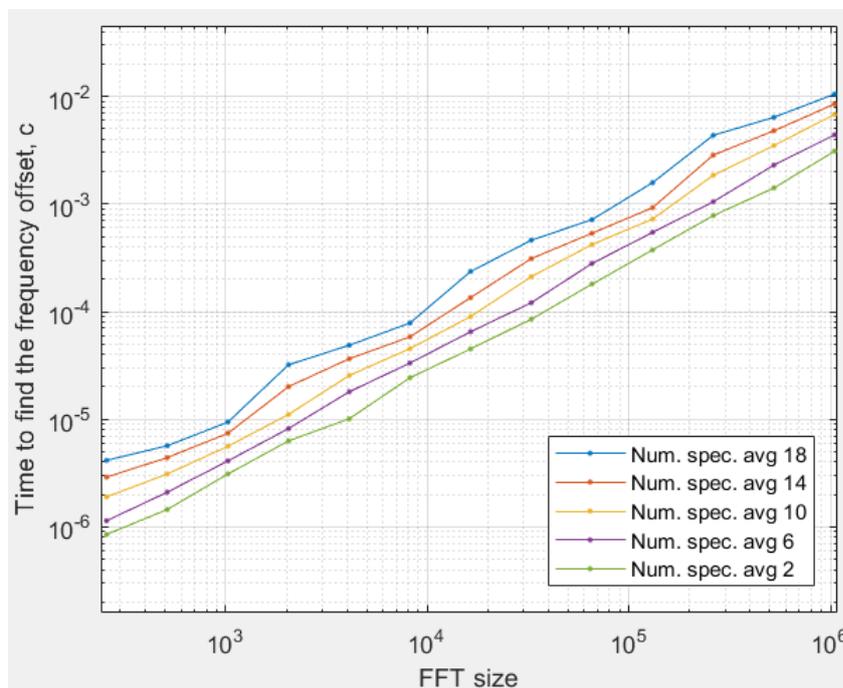


Рисунок 2 – Зависимость времени, ушедшего на нахождения частоты смещения, от размера БПФ

Из рисунка 2 следует, что время, уходящее на нахождение частоты смещения, будет увеличиваться большими темпами, при увеличении как размера БПФ, так и количества усредненных значений спектра. Однако прослеживается большее влияние размера БПФ относительно количества усредненных значений спектра. Это происходит из-за того, что в разы увеличивается количество информации, которую необходимо обработать для получения правильной оценки частоты смещения.

Другой показатель, который необходимо учитывать при настройке параметров схемы ГПЧ, это на сколько точно нужно производить оценку смещения частоты. Так как от этого зависит дальнейший выбор динамического диапазона контура ФАПЧ.

Для визуализации этого параметра, проведем опыт над системой связи, изображенной на рисунке 1, и представим графики зависимости среднего отклонения частоты от смещения по частоте от усредненных значений спектра, при различных значениях размера БПФ (рисунок 3).

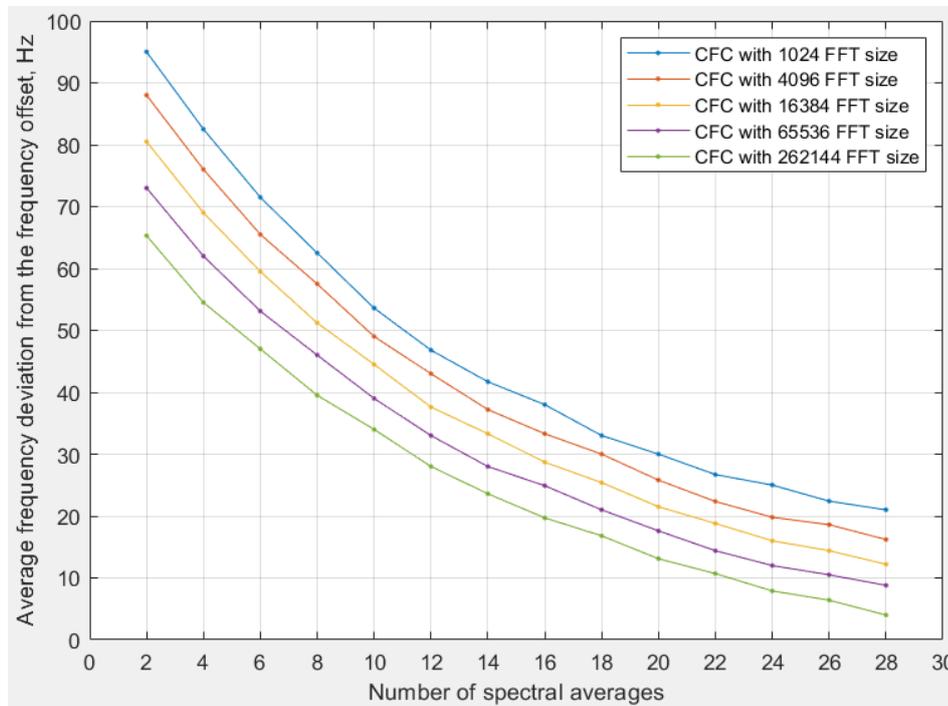


Рисунок 3 – Зависимость среднего отклонения частоты от смещения по частоте от количества усредненных значений спектра

Исходя из рисунка 3 видно, что большее влияние на уменьшение отклонения частоты от смещения по частоте оказывает количество усредненных значений спектра. Этот параметр помогает уменьшить влияние шумов на полезный сигнал. Влияние размера БПФ на уменьшение амплитуды колебаний относительно частоты смещения также присутствует. При увеличении как количества усредненных значений спектра, так и размера БПФ точность оценки повышается.

По результатам графиков, изображенных на рисунках 2 и 3, можно сделать вывод, что при выборе значения размера БПФ и количества усредненных значений спектра нужно соблюдать баланс между скоростью и точностью для удовлетворения заданных требований. Так как с увеличением размера БПФ и количества усредненных значений спектра качество коррекции частотного смещения повышается, однако возрастает время, затраченное на нахождение частотного смещения.

Настройка контура ГПЧ должна производиться с учетом тех требований по восстановлению несущей, которые предъявляются к системе связи, работающей в той или иной помеховой обстановке.

**Список использованных источников:**

1. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003.
2. Luise, M. and R. Regiannini. "Carrier recovery in all-digital modems for burst-mode transmissions." *IEEE Transactions on Communications*. Vol. 43, No. 2, 3, 4, Feb/Mar/April, 1995, pp. 1169-1178.
3. А. Б. Сергиенко. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Пупер, 2018. – 608 с.
4. Rice, Michael, "Discrete-Time Phase Locked Loops", *Digital Communications: A Discrete-Time Approach*, Appendix C, Sec. C.3, Pearson Prentice Hall, 2008.

## **ЭЛЕКТРОННЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ»**

*Зимарева В.А., студентка гр. 044691*

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

*Славинская О.В. – канд. пед. наук, доцент*

В статье рассмотрены преимущества практического применения материалов электронного образовательного ресурса для изучения дисциплины «Организационно-методические основы профессионального обучения» в процессе обучения студентов специальности 6-05-0719-01 «Инженерно-педагогическая деятельность».

Современные цифровые технологии изменили образовательный процесс, открывая новые возможности для обучения и развития. Электронные образовательные ресурсы (ЭОР) стали важным инструментом в обучении людей во всем мире. В большинстве своем контингент обучающихся сейчас составляют «цифровые аборигены [1]», которым удобнее пользоваться цифровой информацией в том числе в процессе обучения. Поэтому и изучение дисциплины «Организационно-методические основы профессионального обучения» специальности 6-05-0719-01 «Инженерно-педагогическая деятельность» может быть значительно улучшено с помощью ЭОР.

Первыми, наиболее важным преимуществом ЭОР является доступность. Они предоставляют возможность обучаться в любое время и в любом месте. Это важно для тех студентов, кто работает или имеет ограниченные возможности для занятий по расписанию в связи с различными социально-бытовыми проблемами. А работающих студентов в настоящее время достаточно много.

Вторым преимуществом ЭОР является их гибкость. Они позволяют студентам изучать материал в собственном темпе и на собственном уровне. Это особенно полезно для тех, кто испытывает трудности в определенных областях, так как ресурсы таким студентам позволяют потратить больше времени на изучение трудных тем.

Третьим преимуществом является их вариативность. ЭОР могут включать в себя широкий спектр материалов, таких как лекции, практические занятия, презентации, интерактивные задания, тренажеры, видеосюжеты, тесты и т.д. Это позволяет студентам изучать материалы в различных форматах, что эффективно для разных ожидаемых результатов обучения.

Однако, они не могут полностью заменить традиционные методы обучения и человеческое взаимодействие, если такие необходимы для достижения запланированных результатов.

Разработанный нами ЭОР предназначен для изучения дисциплины «Организационно-методические основы профессионального обучения» студентами специальности «Инженерно-педагогическая деятельность». Эта учебная дисциплина относится к модулю «Теоретические основы проектирования педагогических технологий» государственного компонента учебного плана специальности и обеспечивает фундаментально-прикладную подготовку выпускника.

Цель преподавания учебной дисциплины – формирование у студентов профессионально-педагогических компетенций, способствующих эффективной организации учебного процесса в учреждениях, реализующих образовательные программы профессионального образования и профессионального обучения. Задачи дисциплины:

- овладение теоретико-методологическими основаниями профессиональной педагогики, содержанием основных нормативных правовых актов, касающихся вопросов педагогической деятельности в учреждениях, осуществляющих профессиональное образование и профессиональное обучение;

- формирование знаний о структуре, подразделениях, функциях учреждений профессионального образования и профессионального обучения, порядке реализации образовательного процесса в них, методической работе педагога;

- формирование знаний, умений и навыков по проектированию учебно-программной документации предметов уровней профессионально-технического, среднего специального образования и образовательных программ профессиональной подготовки, переподготовки и повышения квалификации по профессиям рабочих (служащих) системы дополнительного образования взрослых;

- формирование умений и навыков, необходимых для успешного использования современных методов, средств, форм, технологий обучения при реализации процесса обучения в профессиональной школе;

- формирование профессионально-педагогической позиции, соотносящейся с мировыми и отечественными тенденциями развития образования;

- развитие критического мышления, творческих и рефлексивных способностей, культуры социального взаимодействия и коммуникации.

ЭОР включает в себя следующие блоки: «Аутентификация», «Добавление лекции», «Добавление практических занятий», «Добавление условных сокращений, использованных и рекомендуемых источников, списка вопросов к зачету», «Добавление учебной программы», «Добавление тестов», «Просмотр лекций», «Просмотр практических занятий», «Просмотр условных сокращений, использованных и рекомендуемых источников, списка вопросов к зачету», «Просмотр учебной программы», «Прохождение тестов».

Студент в ЭОР может изучить материал, предложенный преподавателем в блоке «Лекции», материал для практических занятий в соответствующем блоке, пользуясь средствами навигации. После изучения лекций по дисциплине студент должен закрепить полученные знания посредством прохождения тестов, которые заменяют мотивационные задания, используемые педагогами для активизации деятельности обучающихся на традиционной лекции [2]. Контроль знаний в виде тестов доступен после изучения отдельных модулей учебной дисциплины и всего курса. После прохождения теста студент получает сведения о количестве правильных ответов, а также отметку за пройденный тест в 10-балльной шкале. Также студент может ознакомиться со вспомогательными материалами в соответствующих блоках.

Содержание ЭОР соответствует действующий учебной программе по дисциплине, поэтому в процессе разработки ресурса в него внесены лекции по пяти разделам дисциплины:

1. Профессиональное образование и профессиональное обучение в Республике Беларусь.
2. Формирование содержания профессионального образования и профессионального обучения.
3. Конструирование учебного процесса, его учебно-методического обеспечения.
4. Методическая работа в учреждении профессионального образования и профессионального обучения.
5. Учебно-материальная база учреждения профессионального образования и профессионального обучения.

Ресурс содержит 12 лекций и 8 инструкций для практических занятий:

1. Профессионально-техническое, среднее специальное и высшее образование.
2. Порядок разработки учебной программы по предмету.
3. Порядок формирования системы занятий и отражение ее в документах системы профессионально-технического и среднего специального образования.
4. Дидактические цели, типы, виды и структуры учебных занятий системы профессионального образования.
5. Проектирование и анализ элементов занятий различных типов.
6. Подготовка и проведение контроля на занятии по предмету.
7. Тестовый контроль.
8. Учебно-методическое обеспечение занятий по предмету на основе современных информационно-коммуникативных технологий.

Для подготовки контента нами использован действующий ЭОР по одноименной дисциплине, который размещен в системе электронного обучения учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», который нами был рассмотрен в качестве основного аналога [3].

Права доступа работы в ЭОР разделены: режим работы администратора (преподавателя) и пользователя (обучающегося). В режиме администратора возможно обновлять, изменять и дополнять информацией все блоки, а также изменить данные авторизации. В режиме пользователя возможно только просматривать информацию и осуществлять контроль знаний. В представляемом нами ЭОР преподаватель может добавить либо отредактировать конспекты лекций, практические занятия, условные сокращения, использованные и рекомендуемые источники, список вопросов к экзамену, учебную программу и тестовые задания к лекциям, практическим занятиям, модулям.

ЭОР может быть использован на любом этапе занятия традиционного обучения в очной или заочной форме, а также для самостоятельного изучения курса. Он позволит эффективно осуществить процесс обучения и контроль знаний студентов направления специальности 6-05-0719-01 «Инженерно-

педагогическая деятельность», а также сделает процесс обучения информативным, полезным и практически значимым для студентов.

**Список использованных источников:**

4.Славинская, О. В. Осмысление технологий медиадидактики «цифровыми мигрантами» / О. В. Славинская, М. Н. Демидко // Вестник МГИРО. – 2018. – № 2 (34). – С. 82-88.

5.Славинская, О. В. Способы поддержания познавательной мотивации студентов на современной лекции = *Ways to support cognitive motivation at a modern lecture* / О. В. Славинская, В. А. Зимарева // Высшее техническое образование : проблемы и пути развития = *Engineering education: challenges and developments* : материалы XI Междун. науч.-метод. конф., Минск, 24 ноября 2022 года / Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2022. – С. 164-169.

6.Славинская, О. В. Организационно-методические основы профессионального обучения : электронный образовательный ресурс по дисциплине для направления специальности 1-08 01 01-07 «Профессиональное обучение (информатика)»/ О. В. Славинская // Система электронного обучения БГУИР [Электронный ресурс]. – Минск : БГУИР, 2022.

# СПОСОБ РЕАЛИЗАЦИИ ГЕНЕРАТОРА АЛЬТЕРНАТИВНОГО МНЕНИЯ

*Купчя П.А., студент гр.940401*

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

*Половня С.И. – канд. техн. наук*

**Аннотация.** В тезисе рассматриваются технологии нейронных сетей, их влияние на современный мир и способы разработки алгоритма генератора альтернативного мнения.

В современном мире трудно получить информацию, которая не будет являться субъективной или заведомо ложной. В такой ситуации возникает необходимость разработки программы, которая будет предоставлять пользователю альтернативное мнение в условиях «информационной войны».

Нейронные сети - это математические модели, разработанные для моделирования поведения и обработки данных, аналогично работе нервной системы человека и животных.

Основными компонентами нейронных сетей являются искусственные нейроны, которые моделируют функцию естественных нейронов, а также связи между нейронами, которые моделируют синаптические соединения в нервной системе.

Нейронная сеть состоит из нескольких слоев, которые взаимодействуют друг с другом для решения задачи. Самый первый слой называется входным, он получает данные, а последний слой называется выходным, он выдаёт результаты.

Внутренние слои могут быть скрытыми и отвечать за высокоуровневые признаки или сжимать информацию перед её передачей на следующий слой. Нейроны каждого слоя получают данные от предыдущего слоя и обрабатывают их перед отправкой на следующий слой.

Обучение нейронной сети - это процесс настройки весов связей между нейронами, который выполняется с использованием набора обучающих данных. В процессе обучения нейронная сеть корректирует веса связей между нейронами, чтобы минимизировать ошибку между предсказанным и фактическим значением.

Применение нейронных сетей охватывает широкий спектр областей, включая распознавание образов, классификацию данных, предсказание результатов, обработку естественного языка, компьютерное зрение и многое другое.

На практике, не составляет труда разработать нейронную сеть по выдаче другого мнения на счёт данной темы. Это можно реализовать на множестве языков программирования, но в данном случае мы обратим внимания на язык JavaScript.

JavaScript - это язык программирования, который используется веб-разработкой, в частности для создания динамических интерактивных веб-страниц. JavaScript может выполняться как на стороне клиента, так и на стороне сервера.

Основными возможностями языка JavaScript являются:

- Взаимодействие с HTML и CSS для динамической модификации веб-страницы;
- Работа с событиями, такими как клики, наведения мыши, ввод текста и т.д.;
- Работа с HTTP запросами для обмена данными между сервером и клиентом;
- Работа с асинхронным кодом;
- Создание и манипуляция с объектами.

Используя библиотеку TensorFlow.js можно создать технологию машинного обучения для создания алгоритма генератора альтернативного мнения в информационном пространстве. В качестве платформы будет использоваться Telegram, как актуальнейшее пространство для обмена данными.

Воспользуясь персональным компьютером в качестве сервера, можно создать бота, который будет принимать запросы пользователей и на основе полученной информации выдавать ответы, полученные из альтернативных источников. Это актуальный и современный подход к вопросам, связанный с актуальностью и достоверностью информации.

Однако, применение нейронных сетей также имеет свои проблемы. В частности, для успешного применения необходимы большие объемы данных для обучения, высокая вычислительная мощность и высокая сложность настройки параметров модели. Кроме того, существует проблема интерпретируемости результатов, когда сложно понять, как модель принимает свои решения.

Также стоит отметить, что применение нейронных сетей может вызывать этические вопросы, особенно если они используются в области распознавания лиц и других личных данных.

Несмотря на недостатки, учитывая вышесказанное, нейронные сети являются крайне актуальным и эффективным способом получения полного спектра знаний касательно той или иной темы, принимая в расчёт разные источники информации и давая пользователю свободу в решении достоверности знаний, которые он черпает из глобальной сети Интернет.

**Список использованных источников:**

1. JavaScript [Электронный ресурс.] – Режим доступа <https://ru.wikipedia.org/wiki/JavaScript> – Дата доступа: 13.04.2023

# ОНЛАЙН-СЕРВИС НА ОСНОВЕ АРХИТЕКТУРНОЙ МОДЕЛИ MODEL-VIEW-CONTROLLER ПО ПОИСКУ И ПОДБОРУ С ПРОВЕРКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ КОМПЬЮТЕРНЫХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ

*Кушнеревич А.Д.*

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

*Русаков Д.В., - магистр техники и технологии*

**Аннотация.** Целью данной работы является создание программного средства для упрощения у опытных пользователей, а также создание лёгкого для понимания новым пользователям интерфейса, для сборки полноценных компьютеров и подбора комплектующих к уже имеющимся компьютерным комплектующим.

В современном мире происходит бурное развитие информационных сетей интернет. С каждым годом возрастает информация, хранящаяся на серверах крупных Data-центров. В связи с этим бурным развитием и внедрением в повседневную жизнь, всё больше людей предпочитают обычному скачиванию программ на конкретные носители хранение в облаках и использование онлайн-сервисов для решения своих задач в сети, без скачивания и установки необходимых утилит.

Под онлайн-сервисами понимается программа, выполняющая определенные действия по запросам пользователей через интернет, без необходимости скачивания и установки на локальный компьютер. Программа физически размещается на сервере (сайте) в сети, пользователь отправляет в неё данные и скачивает результаты, а вся обработка информации проводится серверным процессором.

Онлайн-сервисы были впервые представлены в 1979 году через CompuServe и The Source. Эти организации были созданы для удовлетворения потребностей подписчиков персональных компьютеров, и они проложили путь к доступности данных. Эти ранние сервисы использовали текстовые интерфейсы, чтобы позволить подписчикам просматривать текущие события, присоединяться к группам с особыми интересами и общаться с другими подписчиками. Вскоре после этого появилось больше сервисов, таких как America Online, Prodigy, DELPHI и многие другие.

В современности онлайн-сервисы позволяют пользователям предоставлять необходимую им функциональность здесь и сейчас без необходимости долгого ожидания скачивания и установки стационарной программы. Поскольку данная необходимость нужна огромному количеству пользователей, данные сервисы и получили такую популярность.

В данном направлении, наибольшую популярность приобрели онлайн-сервисы, работающие по принципу связи клиент – сервер. Клиент взаимодействует с приложением при помощи браузера. Сервер в свою очередь принимает запросы от клиентов и выдает им соответствующие запросам ответы. Вся информация в таком случае хранится в единой базе данных.

Данный сервис позволяет облегчить пользователям относительно сложную для новичков и рутинную для опытных пользователей задачу по проверке совместимости компьютерных комплектующих. Данная проверка является обязательной при сборке нового компьютера, замене или модернизации уже имеющихся деталей, поскольку детали должны подходить друг другу по разным критериям, ведь в противном случае они не будут вместе работать, а, соответственно и весь компьютер не будет функционировать.

Всё это позволяет выделить следующие необходимые задачи перед программным средством:

- возможность открытия сервиса на различных устройствах, от телефона, до персонального компьютера;
- предоставление пользователям понятного и удобного интерфейса-конструктора;
- предоставление пользователям понятного и удобного интерфейса выбора понравившихся комплектующих;
- проверка на совместимость компьютерных комплектующих в конструкторе.

Таким образом, исследуемая тема является актуальной. В качестве разрабатываемого программного продукта выступает онлайн-сервис на основе архитектурной модели Model-View-Controller по поиску и подбору с проверкой совместимости компьютерных комплектующих на языке программирования C#, с использованием фреймворка ASP .NET Core MVC.

#### **Список используемых источников:**

1. Гигина, О.Ю. Как собрать персональный компьютер (ПК) своими руками. Краткое руководство / О.Ю. Гигина, А.В. Колосов – М. : Вильямс, 2016. – 288 с.
2. Онлайн-сервисы – URL: <https://ru.theastrologypage.com/online-service> (дата обращения: 25.03.2023)

## **ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КУРАТОРАМИ ВОСПИТАТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ВОПРОСАМ СЕМЕЙНОГО ВОСПИТАНИЯ**

*Лагутина А.А.*

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

*Славинская О.В. – канд. пед. наук, доцент*

В статье рассматривается вопрос эффективности использования компьютерных технологий в работе куратора группы для проведения коллективной воспитательной работы и ее повышения путем использования специального программного средства по вопросам семейного воспитания.

В современном мире большую значимость в образовательном процессе играют цифровые технологии. С каждым годом объем информации увеличивается, информация становится важным фактором, влияющим на развитие образования, науки и культуры. Переход на электронные формы представления, хранения, передачи и обработки научно-образовательной информации стал объективной реальностью. [1]

В нашей стране происходит процесс цифровой трансформации образования, которая затрагивает различные его стороны, в том числе и воспитательную работу в учреждениях образования. С целью повышения качества воспитательной работы, развития познавательного интереса в систему воспитания вводятся новые формы и методы, связанные с цифровыми технологиями. Это связано еще и с тем, что современные студенты, в большинстве своем, являются «поколением Z», т.е. «цифровыми аборигенами [2]», привыкли к цифровым технологиям и соответствующим гаджетам для их воспроизведения как в бытовой жизни, так и во всех остальных областях своей деятельности, в т.ч. – и в обучении.

«Воспитание – целенаправленный процесс формирования разносторонне развитой, нравственно зрелой, творческой личности обучающегося [3]». Воспитание осуществляется на учебных занятиях и в процессе воспитательной работы во внеучебное время. Его осуществляет учреждение образования и куратор учебной группы. Причем куратор учебной группы ведет как групповую, так и индивидуальную воспитательную работу.

В учреждении высшего образования нет требования к педагогу по обязательности наличия педагогического образования, достаточно иметь профильное образование. Поэтому в технических учреждениях высшего образования большинство кураторов – педагоги-профильники, педагогического образования не имеющие. Поэтому для них сложно и трудоемко готовить и проводить тематические кураторские часы, правильно определяя цели и содержание воспитательных мероприятий. Для повышения эффективности работы кураторов такие учреждения образования формируют различные виды баз данных для проведения воспитательных мероприятий. Однако, сами материалы (презентации или планы-конспекты) помогут в подготовке конкретного мероприятия, но суть направления воспитательной работы, его нормативной базы куратору придется дополнительно осваивать самому, что многие из них игнорируют, опираясь на собственный опыт и интуицию. Однако это не повышает качество воспитательной работы с группой и имеет определенный риск его снижения.

Изменение данной ситуации мы видим в формировании программных ресурсов для кураторов, аккумулирующих все необходимые им материалы по наиболее актуальным направлениям воспитательной работы, централизованно периодически обновляемые методистами учреждения образования.

Семейное воспитание – одно из актуальных направлений воспитательной работы со студентами учреждения высшего образования в силу их возрастных характеристик и особенностей, связанных в том числе с приоритетами поколений в соответствии с социологической теорией поколений. В Концепции непрерывного воспитания детей и учащейся молодежи в Республике Беларусь [4] семейное воспитание рассматривается в неразрывной связи с гендерным воспитанием.

Семья – это среда, в которой складываются условия физического, психического, эмоционального и интеллектуального развития обучающегося. Семейное воспитание обучающихся предполагает формирование культуры взаимоотношений между полами, ценностного отношения к институту брака и семьи, представлений о важнейших сторонах жизни современной семьи (быт, распределение финансов, труд и отдых, рождение и воспитание детей, нормативные и правовые основы брачно-семейных отношений и др.), ответственном супружестве и родительстве, культуре семейных взаимоотношений. [4]

Семейное воспитание является составной частью социализации человека. На представления обучающихся о будущей семье влияют такие факторы, как родительская семья, сверстники, социум учреждения образования и средства массовой информации. [5]

Программное средство для проведения кураторами воспитательной работы по вопросам семейного воспитания нами разработано для управления воспитательной работой с молодежью учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», которое выступило его заказчиком.

Основную работу по обеспечению связи семьи и учреждения образования осуществляет куратор учебной группы. Отсюда следует, что основной целевой аудиторией использования разрабатываемого программного средства являются кураторы учебных групп и студенты педагогической специальности, как будущие кураторы, а второстепенной – обучающиеся, выступающие в роли воспитанников у конкретного куратора.

Одной из поставленных целей для разработки программного средства явилась оптимизация деятельности куратора по воспитательной работе с учебной группой. Пользователь программного средства может ознакомиться с: теоретическим материалом; мультимедийными презентациями; видеоматериалами; играми; перечнем нормативно-правового обеспечения направления воспитательной работы «Семейное воспитание»; ссылками на полезные онлайн-ресурсы в деятельности куратора группы; использованными источниками, и использовать все эти компоненты для подготовки и проведения конкретного кураторского часа, их серии. Программное средство является своеобразным кейсом для куратора, содержащим и информацию для изучения им, и конкретные разработки для проведения ряда кураторских часов.

При разработке программного средства, опираясь на пожелания заказчика, были выделены требования, которым оно должно соответствовать: создание дизайна, который позволит предельно легко пользоваться приложением; интуитивно-понятный интерфейс; интерактивность; технология мультимедиа; мобильность; отсутствие излишних функций и перегруженности приложения.

Права доступа работы в программном продукте разделены: режим работы администратора (методист воспитательной работы) и пользователя (куратор группы). В режиме администратора возможно обновлять, изменять и дополнять информацией все блоки. В режиме пользователя возможно только просматривать теоретическую информацию, презентации и использовать игры для проведения кураторских часов в группе.

Разработанное программное средство куратор будет использовать для проведения воспитательной работы с учебной группой на кураторских часах, которые будут посвящены вопросам семейного воспитания. При подготовке к проведению воспитательного мероприятия куратор группы сможет посмотреть материал, который хранится в программном средстве и выбрать необходимый материал, мультимедийную презентацию и игры, которые подходят к тематике кураторского часа. Благодаря этому, куратор сократит время на подготовку к проведению воспитательного мероприятия, ему не надо будет создавать презентации и какой-либо интерактивный материал, потому что это будет храниться в программном средстве.

В программное средство внесены материалы на различные темы семейного воспитания, а именно: функции родителей в воспитании ребенка, про ведение семейного бюджета, про слагаемые счастливой семьи, про домашних любимцев, пожилых людей, про цветочный этикет, а также ко Дню матери. Кроме этого, используются и темы, условно связанные с семейным воспитанием. В дальнейшем новый материал будет добавлять/изменять методист отдела управления воспитательной работы с молодежью.

На этапе изучения аналогов не удалось их найти. Были выделены группы аналогов, в которые входили похожие программы, но которые применяются в иных вопросах образовательного процесса.

Для создания программного средства были использованы следующие средства разработки: интегрированная среда разработки Visual Studio; язык управления реляционными базами данных SQL; система управления базами данных Microsoft SQL Server; язык программирования C#.

Программное средство позволит оптимизировать деятельность куратора по воспитательной работе с учебной группой. В эпоху развития искусственного интеллекта и машинного обучения оно является первой ступенькой, облегчающей труд куратору учебной группы. [6]

**Список использованных источников:**

1. Концепция цифровой трансформации процессов в системе образования Республики Беларусь на 2019–2025 годы: [утв. Министром образования Республики Беларусь от 15.03.2019].
2. Славинская, О. В. Осмысление технологий медиадидактики «цифровыми мигрантами» / О. В. Славинская, М. Н. Демидко // Вестник МГИРО. – 2018. – № 2 (34). – С. 82-88.
3. Кодекс Республики Беларусь об образовании от 31.01.2022 № 154-3 (с изм. и доп.) // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2022. – № 2/2874. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H12200154&p1=1>.
4. Концепция непрерывного воспитания детей и учащейся молодежи: [утв. Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 15.07.2015 № 82].
5. Славинская, О. В. Слагаемые счастливой семьи (методическая разработка воспитательного мероприятия с элементами онлайн-игры) / Славинская О. В., Лагутина А. А. // Мастерство online [Электронный ресурс]. – 2022. – № 4 (33). – Режим доступа: <http://riro.unibel.by/index.php?id=6334>.
6. Славинская, О. В. К вопросу о прогнозировании направлений развития машинного обучения в области образования / Славинская О. В., Лагутина А. А. // Информационные радиосистемы и радиотехнологии 2022: матер. науч.-технич. конф., Минск, 29-30 ноября 2022 г. / БГУИР; редкол.: В. А. Богущ [и др.]. – Минск: БГУИР, 2022. – С. 178-181. – Режим доступа: <https://libeloc.bsuir.by/handle/123456789/49538>.

## ЭЛЕКТРОННЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС КАК ИНТЕРАКТИВНЫЙ МЕТОД ОБУЧЕНИЯ

*Леонова А.А.<sup>1</sup>, студент гр. 044691*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники<sup>1</sup>  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Парафиянович Т. А. – доцент кафедры ИРТ, кандидат педагогических наук, доцент*

**Аннотация.** Статья раскрывает возможности применения электронного образовательного ресурса как интерактивного метода обучения; ЭОР содержит теоретический и практический материал, встроенные тесты и задания, позволяет преподавателям индивидуализировать обучение, способствует повышению качества образования; является эффективным инструментом, позволяющим студентам учиться в интерактивном режиме.

**Ключевые слова:** электронный образовательный ресурс, инновационный подход, интерактивный метод обучения, образовательный процесс, взаимодействие обучающегося и педагога.

Неотъемлемой частью развития современного образования стал процесс цифровизации и внедрения цифровых технологий. Цифровая трансформация деятельности преподавателя обусловлена разработкой информационных технологий и необходимостью расширения возможностей для взаимодействия с обучающимися, в целях повышения эффективности обучения [1, с.86]. Инновации в образовании предполагают внесение в образовательный процесс новизны, направленной на внедрение новых методов и интерактивных технологий, обусловленное особенностями динамики социально-экономического развития, спецификой обучения и потребностями личности, общества и государства в новом уровне подготовки специалистов и развитии социально-профессиональной, практико-ориентированной компетентности, позволяющей сочетать универсальные, базовые профессиональные, специализированные компетенции [2, с.7]. Совершенствование образовательного процесса ориентировано на личность обучающегося в целях раскрытия его способностей и удовлетворения образовательных потребностей и формирование базовых навыков коммуникации в устной и письменной формах для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия [2, с.12]. В связи с этим, наблюдается переход к проблемному, исследовательскому и интерактивному обучению через организацию самостоятельной работы, создание условий для самореализации личности.

В настоящее время не вызывает сомнения тот факт, что изменяется модель, организация и суть образования. Традиционная методика обучения, ориентированная в основном на восприятие информации, отходит в прошлое, в сравнении с новыми методами, основанными на использовании информационных образовательных технологий, позволяющими реализовать потенциальные возможности обучающихся. Образовательный процесс изменяется путем включения модульного принципа, широкого использования сетевой формы взаимодействия, применение метода кейсов, активных лекций, пресс-конференций, проектного и группового обучения, развития критического мышления, деловых игр, учебных дискуссий и др. Осуществляется разработка и внедрение IT-контента для интерактивных сенсорных систем, создаются интерактивные симуляторы с элементами виртуальной и дополненной реальности, появились новые технологии обучения — интерактивные электронные образовательные ресурсы, которые направлены на взаимодействие между обучающимся и преподавателем, на активизацию учебно-познавательной деятельности обучающихся, и которые обладают целым рядом дидактических преимуществ. Научно-методические инновации связаны с применением интерактивных методов, при использовании которых практически все студенты оказываются вовлеченными в образовательный процесс, имеют возможность обсуждать, осознавать, понимать и рефлексировать предметную область. Использование в образовательном процессе интерактивных методов строится на непосредственном контакте обучающихся между собой и преподавателем, на основе включенности в него всех студентов группы, причем каждый из них вносит свой индивидуальный вклад в решение поставленной задачи или обсуждаемой ситуации с помощью активного обмена мнениями, знаниями, идеями, способами деятельности.

В современном мире существует растущая потребность в кадрах инженерно-технической сферы. Для студентов, которые вынуждены работать параллельно с обучением, применение информационно-компьютерных технологий в образовательном процессе может быть очень привлекательным, что предполагает поиск новых форм обучения и контроля усвоенного материала. В связи с этим, дистанционное образование становится необходимым дополнением к контактной работе с преподавателем. Электронные образовательные ресурсы являются целостной системой различных

видов и форматов учебного материала, включая комплекс заданий для совместной работы преподавателей и студентов, для самостоятельной работы студентов, а также как средство контроля знаний обучающегося. Использование электронных образовательных ресурсов в учебном процессе позволяет преподавателям вузов реализовывать инновационные методы обучения, делать курсы индивидуальными.

Интерактивный метод обучения на основе электронных образовательных ресурсов и различных электронных форматов, таких как электронные учебники, пособия, лекции, интерактивные задачи, тесты, веб-квесты, онлайн-игры, различные коммуникационные инструменты, форумы, блоги, чаты позволяет студентам получать доступ к дополнительным материалам, содержит множество визуальных, аудио-материалов, которые способствуют лучшему осмыслению и усвоению учебного материала. ЭОР дает возможность обучающемуся более рационально планировать свое свободное время и учиться в удобном темпе, индивидуализировать процесс обучения, сделать его более гибким, исходя из уровня подготовки. Одним из актуальных преимуществ использования ЭОР является возможность повышения качества проведения практических и лабораторных занятий. Обучающиеся могут предварительно подготовиться к занятиям, ознакомившись с необходимой информацией, инструкциями, видео-материалами и т.д., что позволяет лучше понимать процесс выполнения практических заданий и повышать эффективность их выполнения. Использование ЭОР позволяет обучающимся самокритично и объективно оценить свои знания, использовать для этого различные формы тестирования и самостоятельной работы, а преподавателю эффективнее контролировать и оценивать прогресс обучающихся, консультировать и, при необходимости, оказывать помощь и поддержку.

Принцип интерактивности в образовательном процессе активизирует мыслительную деятельность и эффективность усвоения материала, отражает закономерность не только контактов студент-преподаватель, опосредованных средствами информационных технологий, но и студентов между собой. Применение информационных технологий в образовании обеспечивает беспрецедентные возможности для того, чтобы сделать образование более эффективным: путем разработки образовательных программ, персонализации учебного материала для каждого обучающегося в зависимости от его индивидуальных потребностей и уровня знаний. онлайн-обучения, расширения доступа к ним широкому кругу обучающихся [3, с.113]. Использование интерактивного метода обучения позволяет студентам получать более качественное образование, которое соответствует современным требованиям рынка труда, что повышает мотивацию обучающихся и интерес к изучаемым учебным дисциплинам, развивает навыки критического мышления, коммуникации и сотрудничества. Созданная, образовательном процессе университета, современная цифровая среда обучения и преподавания, обеспечивает качественное изменение существующих процессов взаимодействия с обучающимися, результат которого направлен на повышение эффективности и развития системы подготовки будущих специалистов. Цифровизация образования опирается на индивидуальные образовательные траектории обучения, что позволяет говорить о непрерывном процессе обучения педагога и обучающегося, когда можно обновлять личный образовательный запрос при помощи цифровых технологий.

Подводя итог, можно сказать, что электронный образовательный ресурс как интерактивный метод обучения позволяет значительно расширить спектр интеллектуальных приемов и организационных форм, используемых в процессе обучения. Такой подход и сочетание делает процесс усвоения знаний и формирования компетенций более эффективным и как следствие, способствует повышению уровня образовательных результатов обучающихся и повышению качества подготовки специалистов. Таким образом, рассмотренный в настоящей статье метод интерактивного обучения, может выступать одним из ключевых в профессиональной подготовке специалистов, поскольку он обеспечивает интерактивный, практико-ориентированный характер процесса обучения; минимизирует разрыв между содержательно-технологической составляющей учебного процесса и процессом саморазвития и самореализации обучающегося как будущего специалиста, способствует формированию у обучающихся необходимых универсальных и базовых профессиональных компетенций.

Список использованных источников:

1. Парафиянович, Т. А. Цифровая трансформация как фактор адаптивной педагогической деятельности / Т. А. Парафиянович, Е.А. Бущик // *Общественные и гуманитарные науки : материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов*, Минск, 31 января - 12 февраля 2022 г. – Минск: БГТУ, 2022. – 86-88 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/48515>
2. ОСВО 1-08 01 01-2018. Образовательный стандарт высшего образования. Специальность 1-08 01 01 «Профессиональное обучение (по направлениям)» [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://pravo.by/upload/docs/op/W21933799p\\_1551819\\_600.pdf](https://pravo.by/upload/docs/op/W21933799p_1551819_600.pdf)
3. Парафиянович, Т. А. Управление процессом личностного и профессионального развития будущих педагогов-программистов / Т. А. Парафиянович // *Проблемы повышения эффективности образовательного процесса на базе информационных технологий = Problems of improving the efficiency of the educational process based on information technology*: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 25 апреля 2019 года) / редкол.: Ю. Е. Кулешов [и др.]. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 112-116. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://libelidoc.bsuir.by/handle/123456789/35219>

## **ВОЗМОЖНОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМЫ CANVA ДЛЯ СОЗДАНИЯ НАГЛЯДНЫХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ**

*Лось М. Н.*

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

*Славинская О.В. – канд. пед. наук, доцент*

Работа посвящена вопросу практического приложения возможностей и преимуществ онлайн-платформы Canva для создания учебных презентаций, выступающих в качестве наглядных средств обучения.

Наглядность – один из принципов обучения, основанный на показе обучающимся конкретных предметов, процессов, явлений при освоении ими учебного содержания для лучшего его усвоения. Средства наглядности позволяют повысить эффективность обучения, поскольку их использование снижает умственные затраты обучающегося на восприятие нового материала. [1]

Обучение без средств обучения невозможно. Обучение современных учащихся, являющихся «цифровыми аборигенами [2]», не эффективно без соответствующих средств наглядности, в том числе уже ставшей традиционной для них учебной мультимедийной презентации, сопровождающей изложение нового материала на занятии.

Учебная презентация является одним из средств наглядности. Это удобный и современный способ представления информации с помощью компьютерных программ и веб-сервисов, позволяющий увеличить интерес учащихся и способствующий более высокому и прочному усвоению материала. Педагог может применять учебные презентации в различных ситуациях во время образовательного процесса: во время изложения нового материала на занятии или во время воспитательного мероприятия, реализации программированной лекции или организации самостоятельной работы в процессе ее проведения [3], для перехода обучающихся к онлайн-элементам обучения в реальном времени и т.п.

На данный момент существует разнообразие выбора онлайн-платформ и программ для создания учебных презентаций. Сравним характеристики самых популярных из них. При этом обратим внимание на то, что современным средствам наглядности необходима эффективная и совершенная графика.

Prezi [4] – веб-сервис для создания презентаций, работа которого основана на способе масштабирования - приближения и отдаления блоков информации. Основные характеристики, основанные на достоинствах сервиса: бесконечный холст (можно работать на большом холсте, в процессе презентации масштабировать его и перемещаться на отдельные области); готовые шаблоны для редактирования; встроенный редактор диаграмм; показ слайдов онлайн на сайте; экспорт для PowerPoint; условно бесплатный и русифицированный. Недостатки: нет возможности обработки изображений; готовая презентация публикуется на сайте в общем доступе.

Apple Keynote [5] – приложение, предустановленное на большинство устройств Apple. Основные характеристики, основанные на достоинствах сервиса: готовые темы для оформления; специфические, оригинальные эффекты анимации отдельных объектов и даже слайдов; работа с Apple Pencil (на iPad можно рисовать пером прямо на слайде); командная работа; можно работать с коллегами в режиме реального времени, оставлять комментарии, устанавливать пароль для входа; готовые дизайн-решения; бесплатный и русифицированный. Недостатки: программа есть только на macOS.

Google Презентации [6] – инструмент для создания, редактирования презентаций семейства сервисов Google. Основные характеристики, основанные на достоинствах сервиса: готовые шаблоны для редактирования; создание диаграмм и схем за несколько кликов с последующим редактированием; импорт графиков из Google Таблиц; удобная совместная работа; экспорт в разных форматах: PDF, JPEG, SVG или PPTX для PowerPoint; облачный сервис; бесплатный и русифицированный. Недостатки: нет функции редактирования картинок и анимации.

PowerPoint Microsoft 365 [7]. Сейчас PowerPoint – это сервис, предоставляющий огромные возможности для создания и просмотра презентаций в стиле слайд-шоу. Он работает с операционными системами Microsoft Windows, macOS, Android и IOS. С одноименной программой знакомы большинство педагогов, имеют опыт работы с ней. Основные характеристики, основанные на достоинствах сервиса: слайды можно наполнять текстом, графикой, видео и звуковыми файлами; возможность создания анимированных переходов; вставка веб-объектов, графиков, диаграмм, схем, таблиц, 3D-графики и других визуальных элементов; встроенный редактор изображений, видео, аудио, диаграмм, графиков; экспорт в видеофайл для публикации в сети и сохранения на различных носителях; прямая трансляция; коллективная удаленная работа над презентацией посредством облачных технологий при использовании пакета Microsoft; интуитивно понятный интерфейс; возможность просмотра презентаций на различных устройствах (компьютер, ноутбук, смартфон,

планшет); вставка объектов, созданных в других программах Microsoft Office; шаблоны для быстрого создания презентаций; возможность защиты презентации паролем от несанкционированного доступа. Недостатки: сложно создать собственный дизайн; нужен аккаунт Microsoft Office; возможны проблемы с совместимостью, в разных версиях приложения; при использовании разных версий программы возможна потеря части информации.

AhaSlides – современная платформа для создания онлайн-презентаций. Ее рекламный слоган: «Добавьте опросы и викторины в свои живые презентации [8]» хорошо комментирует ее преимущества. Платформа позволяет сделать презентацию не только хорошо структурированной и привлекательной, но и позволяет преподавателю в реальном времени проводить опросы, включить небольшие тесты нескольких видов, онлайн викторины и получать мгновенные наглядные результаты на настроенном слайде презентации, например, в виде диаграмм, облака слов, моментальную статистику. Сервис бесплатный, русифицированный. Необходима регистрация на платформе педагога. Но работает без установки, без скачивания, интуитивно понятный интерфейс. Недостатки: для работы специфических инструментов презентации необходим Интернет.

Яндекс.Презентации [9] – инструмент для создания, редактирования презентаций семейства сервисов Яндекс входящий в Яндекс.Документы. По своему функционалу очень похож на Google Презентации. Поддерживается облачный запуск с подключением зрителей в режиме онлайн. Интерфейс конструктора практически идентичен PowerPoint, что позволяет педагогу, хорошо знакомому с этой программой легко перестроиться.

Мы полагаем, что онлайн-сервис Canva обладает рядом преимуществ по сравнению с ними.

Canva – приложение широкого профиля для создания цифровой и полиграфической продукции, «бесплатный онлайн-инструмент для графического дизайна [8]». С ее помощью можно создать: электронные книги, сертификаты, фирменные бланки, пригласительные открытки, календари, презентации.

Для работы на платформе нужна авторизация пользователя.

Сервис является условно бесплатным. Работа в нем основана на создании собственных дизайнов на основе готовых предложенных профессиональных шаблонов из нескольких категорий: социальные сети, личные интересы, бизнес, маркетинг, обучение, тенденции. Редактирование осуществляется в режиме Drag&Drop, удаляя и добавляя элементы из обширной библиотеки, которая содержит более 1 миллиона готовых, качественных изображений и графических элементов.

Презентации в Canva создаются на основе готового профессионального макета. В начале работы необходимо выбрать шаблон, он и станет основой для презентации. Макеты для презентаций сгруппированы по разным признакам: по назначению (события, маркетинг, портфолио, бизнес-план), по теме (технологии, архитектура, медицина, финансы), по типу презентации (список, инструкция, креативная, анимированная).

У Canva есть несколько вариантов поделиться готовой презентацией: ссылка для просмотра или редактирования; скачивание в форматах PPT, PDF, GIF, JPG, MP4; печать в виде плаката, флаера, открытки; вставка на сайт публикация в социальных сетях; загрузка на Dropbox, Google Диск, OneDrive.

Для того, чтобы обучающемуся было интересно на занятии, занятие должно быть понятным для восприятия, с элементами новизны. Учебная презентация, созданная на платформе Canva, поможет обеспечить наглядность передачи материала, а также удержать внимание обучающихся с помощью библиотеки графических элементов. А педагогу создавать современные, качественные презентации станет намного проще.

#### **Список использованных источников:**

6. Славинская, О. В. Педагогика. Часть 1 : электронный образовательный ресурс для направления специальности 1-08 01 01-07 «Профессиональное обучение (информатика)» / О. В. Славинская // Система электронного обучения БГУИР [Электронный ресурс]. – Минск : БГУИР, 2022. – Режим доступа : <https://lms.bsuir.by/login/index.php>.
7. Славинская, О. В. Осмысление технологий медиадидактики «цифровыми мигрантами» / О. В. Славинская, М. Н. Демидко // Вестник МГИРО. – 2018. – № 2 (34). – С. 82-88.
8. Славинская, О. В. Способы поддержания познавательной мотивации студентов на современной лекции = Ways to support cognitive motivation at a modern lecture / О. В. Славинская, В. А. Зимарева // Высшее техническое образование : проблемы и пути развития = Engineering education: challenges and developments : материалы XI Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 24 ноября 2022 года / Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2022. – С. 164-169.
9. Prezi : программа подготовки презентаций [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://prezi.com/>.
10. Keynote – Apple : программа подготовки презентаций [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.apple.com/ru/keynote/>.
11. Google Презентации : программа подготовки презентаций [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.google.by/intl/ru/slides/about/>.
12. PowerPoint – Microsoft 365 : программа подготовки презентаций [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.office.com/launch/powerpoint?ui=ru-RU&rs=IS&auth=1>.
13. Canva : сервис для графического дизайна [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.canva.com/>.
14. AhaSlides: Добавьте опросы и викторины в свои живые презентации [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://ahaslides.com/ru/>.
15. Яндекс [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://yandex.by/>.

## РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

*Ляховский А.А., студент гр.940401*

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

*Листопад Н.И. – доктор техн. наук, профессор*

**Аннотация.** В статье описан процесс и выводы в ходе разработки комплекса для программирования радиоэлектронных средств. Сравнивается производительность результата работы комплекса с аналогичными разработками.

**Ключевые слова.** Компилятор, интерпретатор, архитектура процессоров, оптимизация, язык программирования, формальные грамматики.

Компиляторы играют важную роль в разработке и программировании различных радиоэлектронных средств. Это программное обеспечение позволяет разработчикам создавать эффективный и оптимизированный код для микроконтроллеров, что, в свою очередь, улучшает производительность устройств и уменьшает затраты на их разработку. Одним из главных свойств современных компиляторов является их способность оптимизировать генерируемый исполняемый код. Это особенно важно для микроконтроллеров, которые имеют ограниченные ресурсы, такие как память и процессорная мощность.

Цели работы:

- Разработать масштабируемый код с целью интеграции других архитектур;
- Разработать удобочитаемый синтаксис для языка программирования;
- Разработка алгоритмов оптимизаций для генерации оптимальных инструкций при генерации кода с целью улучшения производительности и уменьшении веса исполняемых файлов.

Задачей исследования является разработка программного комплекса, состоящего из компилятора некоторого собственного языка программирования и собственной среды разработки.

Компилятор в свою очередь состоит из отдельных слабосвязанных модулей, а именно: лексический анализатор, препроцессор, синтаксический анализатор и генератор машинных инструкций.

В процессе работы были использованы следующие средства разработки:

- Microsoft Visual Studio 2019;
- Язык программирования C#;
- Компилятор ассемблера FASM;
- Графическая библиотека WPF;
- Пакет для библиотеки WPF AvalonEdit;

При создании синтаксиса языка учитывалась частота использования различных служебных символов и возможность минимизации использования некоторых традиционных способов разделения блоков кода и подвыражений с целью улучшить читаемость кода для разработчика и увеличение скорости написания выражений.

Создание рабочего компилятора требует частой отладки исполняемых файлов, получаемых в результате его работы. Для удовлетворения такого требования был выбран набор инструкций генерируемых исполняемых файлов X86, являющийся идентичным для персонального компьютера, на котором велась разработка. Однако учитывая важность поддержки других наборов инструкций, для организации архитектуры исходного кода компилятора было принято решение, позволяющее легко расширить комплекс для генерации исполняемых файлов с другим набором инструкций.

Для взаимодействия с внутренними данными процесса сгенерированной программы в режиме реального времени исполнения реализован механизм взаимодействия исполняемых файлов с операционной системой через возможность статического подключения dll файлов.

Важной частью современных компиляторов являются оптимизации на этапе генерации машинных инструкций и анализа синтаксиса входного кода. К примеру, не имеет смысла генерировать инструкции в прямом соответствии с поступающим на вход выражением, оперирующим лишь константами, вместо этого можно вычислить его заранее. Таким образом появляется возможность экономить как на размере исполняемых файлов, так и повысить их производительность.

Решение задачи по реализации оптимизаций при генерации машинных инструкций заключалось в использовании оптимизирующих инструкций исполняемой целевой архитектуры, а также углубленный семантический анализ внутренних объектных моделей, полученных как на этапе синтаксического анализа, так и на этапе генерации кода.

Встроенная среда разработки позволяет автоматизировать работу с исходными файлами, подаваемыми на вход компилятору, а также повышает читаемость кода на разрабатываемом языке программирования. При создании среды были выбраны графические библиотеки, совместимые с языком программирования, на котором велась разработка комплекса. Пример использования показан на рисунке 1.

```

new  open  save  X  [ compile~f5 ]  [ run ]  [ disasm ]
fib.p*  X
1 load "std.p";
2
3 // код для сравнения производительности процедур и условных переходов
4
5 proc fibonacci(int n)
6 [
7     if n = 0 [ return 0; ]
8
9     if n = 1 [ return 1; ]
10
11    else
12    [
13        return fibonacci(n-2);
14    ]
15 ]
16
    
```

Рисунок 1 – Демонстрация среды разработки с примером исходного кода на разрабатываемом языке программирования

Для измерения производительности исполняемых файлов, полученных в результате работы компилятора с реализованными алгоритмами оптимизации, был взят алгоритм подсчёта чисел Фибоначчи, запущенный с использованием текущего программного комплекса и с использованием компилятора tcc для языка программирования Си. В обоих случаях использовалась рекурсия и условные переходы. Результаты замеров продемонстрированы в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение производительности компилятором tcc.

№п	Время исполнения исполняемого файла с использованием текущего программного комплекса	Время исполнения исполняемого файла при использовании tcc
1	973 мс	1231 мс
2	963 мс	1103 мс
3	903 мс	993 мс

Как результат был создан программный комплекс для программирования радиоэлектронных средств, был произведён анализ замер производительности сгенерированных исполняемых файлов.

**Список использованных источников:**

1. "Язык ассемблера для процессоров Intel" Ирвин И.Н. – 211 с.
2. *Compilers: Principles, Techniques, and Tools* / Alfred V. Aho, Monica S. Lam, Ravi Sethi, and Jeffrey D. Ullman / Pearson Education, Inc – 396 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ФОРМИРОВАНИЯ АНСАМБЛЯ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ С ФМн

Науен К.Д., магистрант

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

Карпушкин Э.М. – канд. техн. наук, доцент

В докладе исследуются алгоритм формирования ансамбля ортогональных шумоподобных сигналов, проведен анализ их корреляционно-спектральных характеристик.

Широкополосные радиосистемы (ШПРС) передачи информации с использованием ансамбля ортогональных шумоподобных сигналов являются одним из важных направлений в современных радиосистемах передачи информации. ШПРС позволяет улучшить такие показатели качества как помехозащищенность, скрытность действия. Алгоритмы формирования ансамбля ортогональных шумоподобных сигналов являются актуальными в связи с различными требованиями к качеству передачи информации в условиях наличия помех и ограниченных ресурсов, таких как ширина полосы частот и мощность передатчика.

Один из алгоритмов формирования ансамбля ортогональных шумоподобных сигналов с фазовой манипуляцией (ФМн) - это метод "Четверично-кодированные последовательности".

Четверично-кодированные последовательности (ЧКП), в [7,8] их называют Д-кодами, относятся, как и М-последовательности, к классу бинарных ПСП. В отличие от М-последовательностей семейство ЧКП формируются нелинейным способом и имеют значность  $N = 2k$ , где  $k = 1, 2, 3, \dots$ .

Наиболее наглядно процесс формирования ЧКП можно проследить, проанализировав порождающее выражение

$$A_j^k = \overline{\sum_{i=1}^{k-1} B_i^{(k+1)-i} B_{i+1}^{k-i} + \sum_{i=1}^k X_i^j B_i^{(k+1)-i}} \quad (1)$$

где  $A_j^k = (a_1, a_2, \dots, a_N)$  условная запись одиночной ЧКП длительности  $T = N\tau_0$  порядка  $k$  номера  $j$ , символы которой  $a_i \in \{0, 1\}$ ;  $B_i^{(k+1)-i}$  – функция Радемахера (меандровая функция), определяемая на длительности  $T$  с номером  $i$  и порядком  $[(k+1)-i]$ ;  $X_i^j \in \{0, 1\}$  значение  $i$ -го разряда номера последовательности  $A_j^k$  представленного в двоичном виде (для ЧКП порядка  $k$  номер определяется  $k$ -разрядным двоичным числом). В (1) суммирование осуществляется по модулю 2, умножение – логическое, черта сверху – негатив.

Второй член выражения (1) при изменении номера  $j$  описывает строки матрицы Адамара. Матрица Адамара – ортогональная квадратичная матрица (обозначается  $H_N$ ) размера  $N = 2^k$ ;  $k = 1, 2, 3, \dots$  составленная из символов  $\{0, 1\}$  или  $\{-1, 1\}$ . Строки матрицы Адамара образуют полную ортонормированную систему с количеством функций  $2^k = N$ . Эти функции называются функциями Уолша, упорядоченные по Адамару. Простейшей матрицей Адамара является матрица размера 2:

$$H_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix} \quad (2)$$

Любую матрицу Адамара размера  $2N$  можно получить из матрицы размера  $N$ , используя следующее преобразование:

$$H_{2N} = \begin{vmatrix} H_N & H_N \\ H_N & \overline{H_N} \end{vmatrix} \quad (3)$$

где  $\overline{H_N}$  – матрица Адамара размера  $N$ , у которой значение символов изменены на противоположные.

Если в выражении (1) все разряды номера  $X_i^j$  равны нулю, то остается только первый член выражения, формирующий нулевую ЧКП:

$$A_0^k = \overline{\sum_{i=1}^{k-1} B_i^{(k+1)-1} B_{i+1}^{k-i}} \quad (4)$$

Следовательно, для получения ЧКП любого номера  $j$  достаточно сложить по модулю 2  $\overline{A_0^k}$  с каждой строкой матрицы Адамара:

$$\{A_j^k\} = \overline{A_0^k} + H_N \quad (5)$$

В качестве примера получим семейство ЧКП значности  $N=8$  на основе матрицы Адамара. Матрица Адамара размера  $N=8$  имеет вид

$$H_8 = \begin{array}{c|cccccccc|cc} & & & & & & & & j & X_i^j \\ \hline & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 000 \\ & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 001 \\ & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 2 & 010 \\ & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 3 & 011 \\ & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 4 & 100 \\ & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 5 & 101 \\ & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 6 & 110 \\ & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 7 & 111 \\ \hline \end{array} \quad (6)$$

В соответствии с (1.22)  $A_0^3$  примет вид

$$11101101 \quad (7)$$

Подставив в (6) значения (7) и (8), получим квадратную матрицу размера  $N=8$ , строки которой являются полным семейством ЧКП значности  $N=8$ :

$$\{A_j^3\} = [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0] + \begin{array}{c|cccccccc|cc} & & & & & & & & j & X_i^j \\ \hline & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 000 \\ & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 001 \\ & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 2 & 010 \\ & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 3 & 011 \\ & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 4 & 100 \\ & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 5 & 101 \\ & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 6 & 110 \\ & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 7 & 111. \\ \hline \end{array} = \begin{array}{c|cccccccc|cc} & & & & & & & & j & X_i^j \\ \hline & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 000 \\ & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 001 \\ & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 010 \\ & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 011 \\ & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 100 \\ & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 101 \\ & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 110 \\ & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 111. \\ \hline \end{array} \quad (8)$$

Отсюда мы исследуем новый ансамбль последовательностей путем присоединения из двух смежных последовательностей той же значности, следовательно:

$$\{A_j^{k+1}\} = A_j^k * A_{-j}^k \quad (9)$$

Из которого мы получаем следующие последовательности значности  $N=16$ :

$$\{A_j^4\} = \begin{array}{cccccccc|c} 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & j & A_j^4 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & A_0^4 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & A_1^4 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 2 & A_2^4 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 3 & A_3^4 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 4 & A_4^4 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 5 & A_5^4 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 6 & A_6^4 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 7 & A_7^4 \end{array} \quad (10)$$

На рис. 1 приведена схема генератора новых ЧКП:

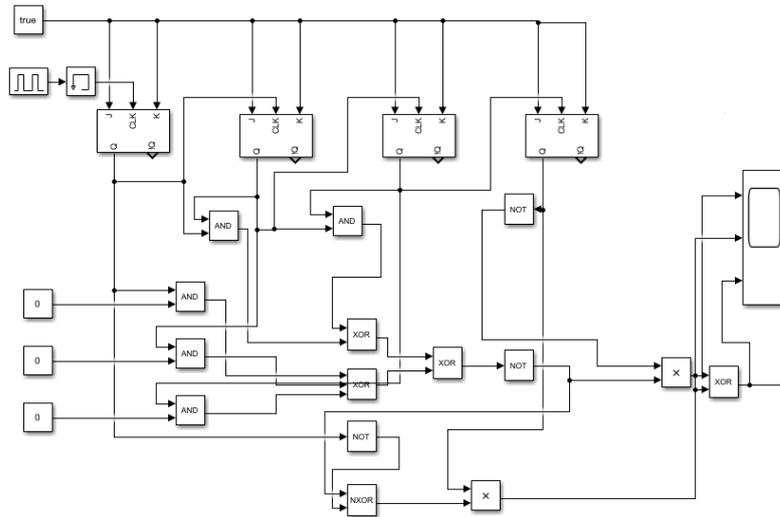


Рисунок 1 – Схема генератора ЧКП

Последовательность  $A_0^4 = \{A_0^3 * A_{-0}^3\}$ :

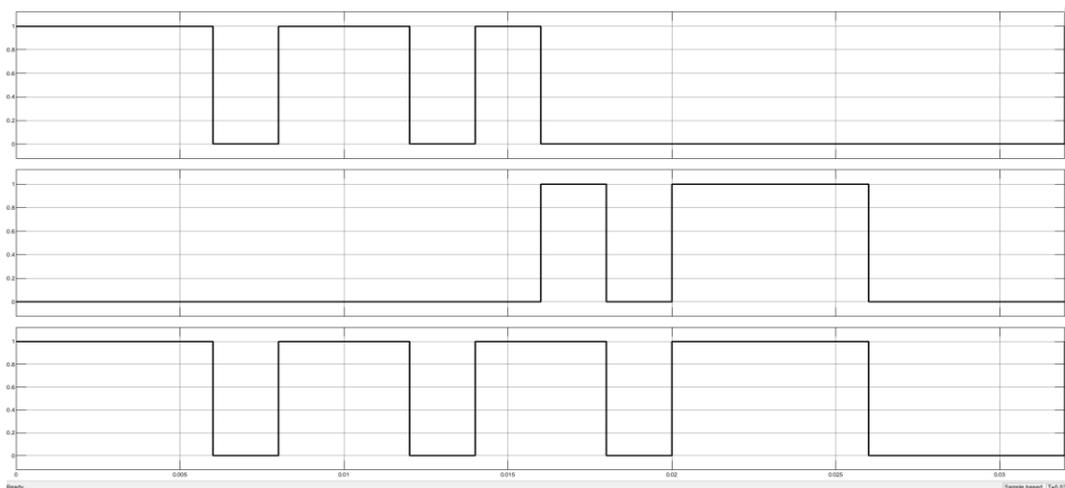


Рисунок 2 – Последовательность  $A_0^4 = \{A_0^3 * A_{-0}^3\}$

На рис. 3, 4 соответственно приведены автокорреляционная функция  $A_0^4$ ,  $A_1^4$ , их взаимкорреляционная функция и спектр ЧКП  $A_0^4$ :

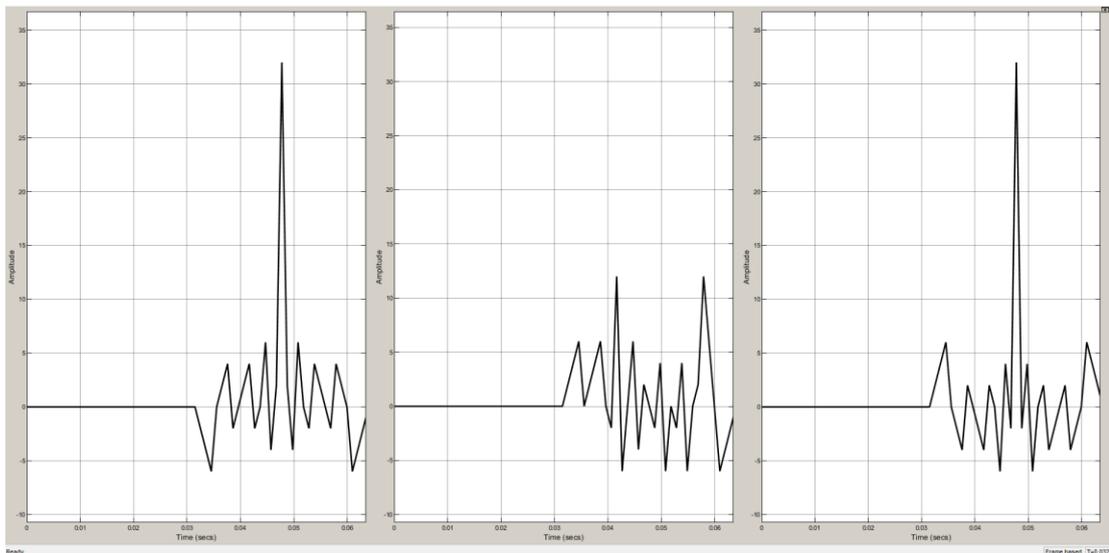


Рисунок 3 –  $AK\Phi - \{A_0^4\}$ ,  $BK\Phi - \{A_0^4 * A_1^4\}$ ,  $AK\Phi - \{A_1^4\}$

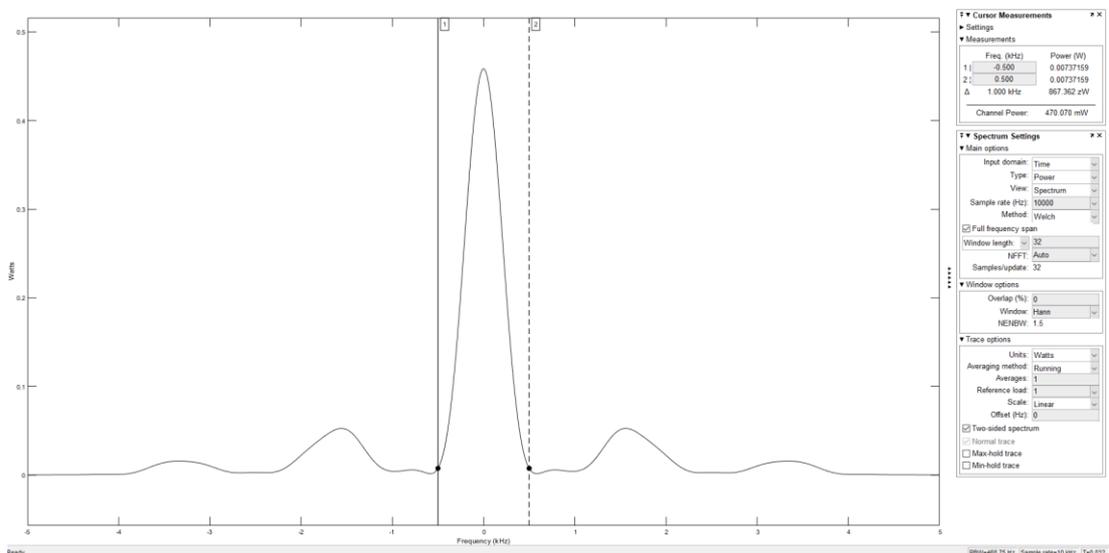


Рисунок 4 – Спектр ЧКП  $A_0^4$

**Список использованных источников:**

1. Барабашов Б.Г., Анишин М.М. / учебно-методическое пособие Широкополосные системы связи и сигналы, 2008. – 38 с.
2. Радзиевский В.Г. / Обработка сверхширокополосных сигналов и помех / В.Г. Радзиевский, П.А. Трифонов. — М.: Радиотехника, 2009. — 290 с.
3. Ипатов, В. П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения / В. П. Ипатов. – М. : Техносфера, 2007. – 408 с.
4. Р. К. Диксон [и др.]. / Широкополосные системы – М. : ЭКОМ, 2007. – 224 с.
5. Карпушкин, Э. М. / Исследование широкополосной радиосистемы передачи цифровой информации : метод. указания к лаб. Работе по дисц. «Радиосистемы передачи информации» для студ. спец. «Радиоэлектронные системы» / Э. М. Карпушкин. – Минск : БГУИР, 2012. – 20 с.
6. Вишневецкий, В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации [Текст] / В.М. Вишневецкий, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович // М.: Техносфера, 2005 – 592 с.

# ВЛИЯНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЛИЧНОСТИ

*Никитин Д.А.*

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

*Парафьянович Т.А. – доцент кафедры ИРТ, канд.пед.наук, доцент*

В статье рассмотрен вопрос о влиянии ИКТ на две группы людей: поколения X и Y и поколение Z. Для выявления степени влияния ИКТ проведено исследование: представлена структура и правила проведения анкетного опроса; подобраны вопросы, раскрывающие цель исследования, проведен анонимный опрос, сделан сравнительный анализ результатов исследования, и представлены выводы.

В период развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) необходимо уделить должное внимание процессу становления личности. В настоящее время на обучающихся, пользующимися информационно-коммуникационными технологиями, воздействуют не только родители, работники учреждений образования, физические носители информации, но и мир интернета.

Рассмотрение этого вопроса является актуальным, в связи с быстрой трансформацией ценностных ориентаций молодых людей, замещением их на ценности и нормы, полученные из интернета. В подростковом возрасте нормы и ценности ещё не сформированы окончательно, и они могут быть легко заменены на другие под влиянием интернета. Актуальность темы обусловлена тем, что каждый обучающийся в процессе личностного становления и развития сталкивается с ИКТ, которые безусловно имеют как положительное влияние, так и могут причинять ущерб процессу формирования личности.

Современное поколение молодых людей принципиально отличается от своих родителей и прадедов по многим аспектам. Личность обучающегося формируется на основании иных условий развития и социализации. Лёгкий и быстрый доступ в интернет являются для современного поколения составляющими повседневной жизни.

На основании теории поколений Штрауса и Хоува российскими социологами (Ю.А. Левадом, В.В. Гаврилюком, Н.А. Трикозом) и психологами (Е. Шамисом и А. Антиповым) была составлена модель классификации поколений. Для проведения исследования на основании этой классификации необходимо обратиться к трём поколениям:

1. Поколение X («Неизвестное поколение»), период рождения – 1963-1984 г., основными событиями, повлиявшими на формирование ценностных ориентаций этого поколения, выступают: «Холодная война», война в Афганистане, распространение наркотиков, СПИД, перестройка.

2. Поколение Y («Поколение сети», «Поколение Миллениум»), период рождения – 1984-2000 г., основные события, повлиявшие на формирование ценностей: распад СССР, безработица, развитие цифровых технологий, появление брендов.

3. Поколение Z («Альфа», «Цифровой человек», «Домоседы», «Поколение национальной безопасности»), период рождения – 2000-2020 г., влияние на формирование личности оказывают: гаджеты, геймификация, век доступности информации [1].

Для проведения исследования необходимо разбить описанные поколения на две группы: люди, родившиеся до 1995, а вторая после 1995. Данный выбор основан на возрастной погрешности, т.е. люди, родившиеся в 1995 году, теоретически могут находиться в близких отношениях с людьми из поколения Z, а значит перенимать их ценности и привычки.

В исследовании сравнительным критерием выступает понятие «память», которая делится по длительности сохранения информации и по тому, как запоминается материал. За сохранение информации отвечает: мгновенная; кратковременная; оперативная; долговременная память. По предположениям виды памяти у вышеназванных двух групп поколений будут развиты по-разному, рассмотрим соотношение кратковременной и долговременной памяти. Предположим, что у поколения Z долговременная память должна быть развита в меньшей мере, в связи с тенденцией на потребление быстрого контента и доступностью информации. Для первой группы будет характерен высокий уровень развития долговременной памяти. Кратковременная память у первой группы должна быть менее развитой из-за объёма потребляемого контента. В качестве метода сбора информации выбран анкетный опрос в онлайн формате целью, которого выступает определение степени развития долговременной и кратковременной памяти.

Исходя из целей опроса необходимо составить его структуру, описать детали и подготовить вопросы. Опрос должен быть анонимным т.к. личная информация помимо возраста респондентов не имеет значения, а на основании этого фактора они будут более честны при ответе на вопросы. Количество вопросов не должно быть больше 10-15, в связи с этим нагрузка на респондента будет незначительной, и опрашиваемый с меньшей долей вероятности определит ключевые вопросы и цели анкеты. В опросе не должно быть контрольных вопросов, т.к. нет необходимости отсеивать

респондентов. Опрос должен содержать как открытые, так и закрытые вопросы. Необходимо в конце опроса оставить возможность респондентам высказать своё мнение. В начале анкеты - приветствие и описание цели опроса (респонденты не должны знать какие именно факторы будут проанализированы, это позволит не делать акцент на конкретных вопросах).

Для опроса подготовлены следующие вопросы:

1. «Укажите год вашего рождения» – вопрос позволяет разделить респондентов на две группы;
2. «Связана ли ваша профессия с ИКТ?» – вопрос является вводным;
3. «Какой вид устройств вы предпочитаете для использования интернет технологий?».

Вариантами ответов выступают: «планшет/смартфон» и «компьютер/ноутбук» – вопрос является вводным, но позволяет определить критерий для возможности разделения опрашиваемых;

4. «Перечислите наиболее посещаемые вами сайты.» – вопрос позволяет определить с какими целями респонденты используют ИКТ и какую они при этом получают информацию;

5. «Сколько времени, в среднем за день, вы тратите на посещение интернет-ресурсов?» – вопрос позволяет определить объём получаемой респондентом информации;

6. «Вам сложно переключиться от ИКТ (работы в интернете) к делам в реальном мире?» – вопрос позволяет определить как у респондента развито свойство переключаемости внимания;

7. «Какая длительность при просмотре фильмов / сериалов для вас предпочтительна?», варианты ответов: «20-30 минут», «30-60 минут», «60-90 минут» и «90+ минут» – вопрос позволяет определить приемлемый объём информации для потребления и какой вид памяти развивает респондент;

8. «Можете ли вы, спустя месяц, рассказать о сюжете просмотренного фильма/ сериала (с учётом того, что он вам понравился)?» – вопрос определяет степень развития долговременной памяти;

9. «Сталкивались ли вы с ситуацией, когда вы брали телефон и забывали о том, для чего вы его взяли?» – вопрос определяет степень развития кратковременной памяти;

10. «Если бы с завтрашнего дня интернет-ресурсы перестанут существовать, какими бы были ваши действия и реакция?» – вопрос необходим для разрядки обстановки. По завершению опроса необходимо респонденту будет представлен следующий текст: «Благодарю вас за выделенное время для прохождения опроса. Хорошего вам дня.» В качестве опрашиваемых выбраны две группы: коллеги на работе родителей (группа А) и одноклассники (группа Б). Принято решение проводить опрос в онлайн формате с помощью платформы «Google Forms».

По окончании проведения исследования составлены следующие выводы:

В опросе приняло участие 43 респондента: 25 из группы А и 18 из группы Б.

По статистике 58,1% опрошенных предпочитают потребление информации со смартфонов и планшетов. Оставшиеся 41,9% предпочитают использовать компьютер или ноутбук.

При разделении на возрастные подгруппы получилось, что 58,1% составляют 16 человек из группы А (64% группы) и 9 из группы Б (50%) предпочитают смартфон для потребления контента.

На основании полученных данных определена статистика вовлеченности в социальные сети опрашиваемых. Из 64% группы А, которые предпочитают смартфон для потребления информации, 50% склонны к посещению социальных сетей, для потребления развлекательного контента и общения. В свою очередь из 50%, группы Б, 78% посещают такие ресурсы. Таким образом группа Б, более склонна посещать ресурсы для общения и потребления развлекательного контента.

Респонденты из группы А в среднем проводят в интернете 2.5 часа, а респонденты из группы Б в среднем тратят на это 6.5 часов своего времени в день. Отсюда следует, что объём контента, потребляемого группой Б, в среднем в 2.6 раза превышает объём группы А. При этом вопрос о приемлемой длительности потребления контента показывает, что участники обеих групп предпочитают интервал от 60 до 90 минут 61% от группы Б и 42% от группы А.

Вопрос на проверку переключаемости внимания показывает, что 95,3% опрашиваемых могут переключиться от деятельности в виртуальном мире к деятельности в реальном мире, два респондента испытывают некоторые сложности в этом моменте и они оба относятся к группе Б.

Вопрос, определяющий качество развития долговременной памяти, показывает, что спустя месяц 97,7% опрашиваемых могут пересказать просмотренный фильм, один респондент имеет проблемы в данной сфере и он относится к группе Б. Некоторые проблемы с кратковременной памятью испытывает 30,2% респондентов, исходя из вопроса №9, двое респондентов из них относятся к группе А, оставшиеся одиннадцать респондентов из группы Б.

В ходе исследования была получена и обработана информация из анкетного вопроса. На её основе определено, что по результату данной выборки у участников, относящихся к поколению Z, кратковременная и долговременная память развиты в меньшей степени по сравнению с поколениями X и Y. Помимо этого респонденты, относящиеся к поколению Z более склонны к посещению социальных сетей.

#### **Список использованных источников:**

1. Поколение Z: теоретический аспект [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vtr.vscs.ac.ru/article/2604>. – Дата доступа: 12.03.2023.

## РАЗРАБОТКА КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КУРСОВ ВАЛЮТ

*Никитин Д.А.*

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

*Рябычина О.П. – канд.техн.наук, доцент, доцент кафедры ИРТ*

В статье представлена информация о процессе разработки клиент-серверной системы, с применением практик написания качественного кода. Описаны варианты решения задач по реализации механизма кэширования данных и механизма взаимодействия с окнами в клиентском приложении. Спроектирована и разработана система мониторинга курсов валют на языке программирования C#.

При разработке программных продуктов много внимания уделяется распределению ресурсов вычислительной машины и функционала системы между подпрограммами. Одним из способов разделения функционала выступает архитектура клиент-сервер, такие архитектуры разделяют на виды за счет количества звеньев системы и распределения задач между ними.

В качестве модели для проектирования выбрана двухзвенная модель с тонким клиентом, однако если рассматривать систему как комплекс, а не как разрабатываемый продукт, то система состоит из трех звеньев – третье звено – это сервер банка, с которого поступает информация о курсе валют.

Такое распределение задач позволит повысить эффективность работы системы на клиентской стороне, что в свою очередь является одним из наиболее значимых критериев для конечного пользователя.

Для разработки программного средства выбран язык программирования C#, в качестве реализации модуля сервера выбрана форма «Web API», для клиентского приложения выбрана технология WPF.

Для получения курсов валют используется API Национального банка Республики Беларусь. Выбранное API позволяет получать информацию о курсе валют на конкретный день. Таким образом для того, чтобы получить данные за определенный период, нужно циклично выполнять запросы.

Одним из важнейших механизмов в таком типе задач выступает кэширование информации. На высоком уровне абстракции кэширование рассматривается как сохранение информации внутри определенной структуры данных, с возможностью дальнейшего обращения к ним. Также стоит учесть сохранение кэша при остановке работы программы, в качестве места хранения данных выбран текстовый файл в формате JSON.

При реализации механизма кэширования стоит уделить внимание сравнению двух возможных способов реализации кэширования:

1. Добавление в кэш только новой информации. Такой подход позволит избежать перезаписи данных в файл. Недостатком такого подхода могут быть хаотичные запросы пользователя относительно временно периода, т.е. пользователь может сделать поиск с интервалом в неделю и в таком случае чем больше будет дробление на части, тем больше придется сделать запросов к серверу или проверок внутри программы.

2. Добавление в кэш данных, если хотя бы одного объекта из запроса нет в кэше. Выбор такого подхода позволит упростить реализацию механизма сохранения информации, однако появится необходимость перезаписи файла.

В какой-то степени второй вариант может показаться более качественным, он позволяет упростить код и не зависит от имеющегося набора данных. Однако благодаря технологии LINQ появляется возможность упростить проверку данных для загрузки в кэш до вызова одного метода расширения Where. Такой подход позволяет избежать перебора данных с применением вложенных циклов.

Для реализации кэширования на программном уровне выбран шаблон проектирования «Заместитель» («Proxy»), он позволит объединить запросы к API банка и сам механизм кэширования, а на слое использования объекта прокси-класса не будет необходимости задумываться о кэшировании.

Серверная часть выступает в роли Web-API для клиентского приложения и содержит два GET запроса: запрос с определением начала и конца периода; запрос с заданием только начальной даты, в данном случае текущая дата выступает в роли конечного периода.

При разработке клиентского приложения выбрана технология WPF, одним из критериев выбора было наличие подхода модель-представление-модель представления при работе с данными (рисунок 1).

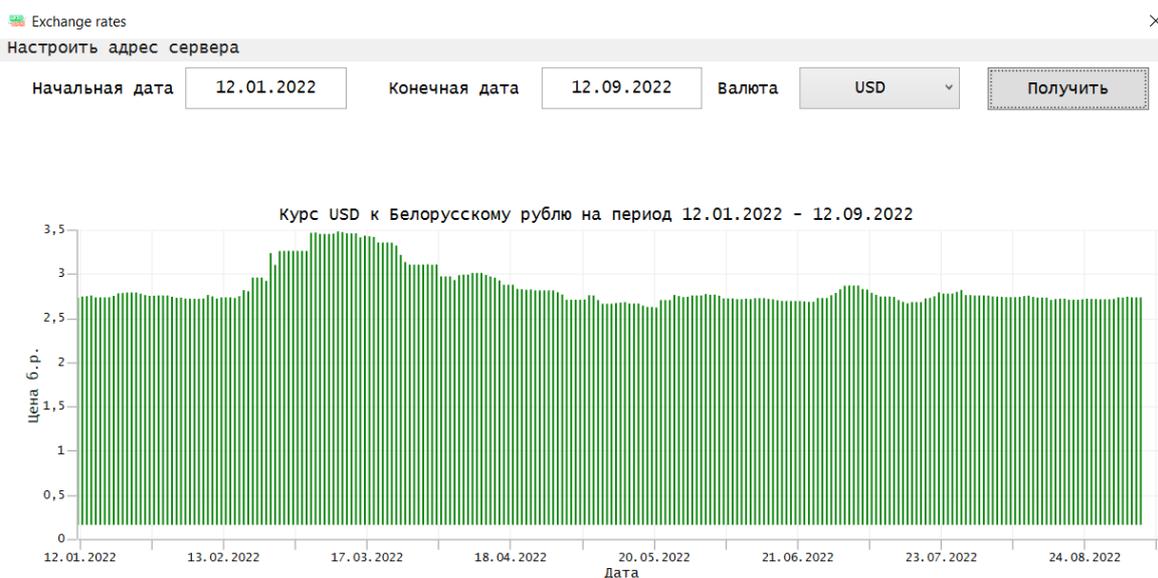


Рисунок 1 – Графический интерфейс клиентского модуля

За визуальное представление сведений о курсе валют отвечает бесплатная версия фреймворка «Synfusion», она позволяет просто и гибко настроить вид диаграммы, включать и выключать необходимые функции.

Хорошей практикой будет вынесение процесса обращения к серверу в асинхронный метод, такое действие позволит предотвратить зависание пользовательского интерфейса, в совокупности с этим действием нужно блокировать элемент управления, который отвечает за отправку запроса, чтобы избежать насаивания запросов. Важным является и предоставление информации пользователю о ходе формирования запроса, местом хранения этой информации выбран заголовок диаграммы.

Клиент-серверная архитектура подразумевает хранение и использование на стороне клиента адреса, на котором расположен серверный модуль в сети. Более гибким будет подход, заключающийся в добавлении нового окна с полем для ввода этого адреса.

В некоторых случаях открытие нескольких экземпляров одного окна нецелесообразно, а иногда и вовсе может сломать логику работы программы, например когда окно представляет собой изменение определенного набора данных, который должен быть изменен единожды. Решить эту проблему можно с помощью паттерна «Одиночка». Он позволит избежать повторного создания объекта, заменив его создание на получение уже существующего экземпляра.

В ходе исследования была рассмотрена важность разделения ресурсов в клиент-серверных системах и разработана система мониторинга курсов валют с применением такой архитектуры. Ознакомиться с детальной реализацией программы можно в репозитории GitHub «denden1s/Exchange-rates». Подход разделения системы на клиентскую и серверную часть позволил реализовать механизм кэширования без затрат ресурсов клиентского модуля.

**Список использованных источников:**

1. Клиент – сервер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Клиент\\_—\\_сервер](https://ru.wikipedia.org/wiki/Клиент_—_сервер). – Дата доступа: 27.02.2023.
2. Паттерн MVVM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://metanit.com/sharp/wpf/22.1.php>. – Дата доступа: 27.02.2023.

## СЛОВАРИ КАК КОНТЕЙНЕР ДЛЯ ХРАНЕНИЯ МЕТОДОВ В ЯЗЫКЕ C#

Никитин Д.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

г. Минск, Республика Беларусь

Рябычина О.П. – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ИРТ

В статье представлена информация о использовании словарей в качестве механизма выбора в языке программирования C#, определен один из вариантов реализации такого механизма. Проведено сравнение предложенного механизма выбора с оператором выбора switch.

Нередко при разработке программных средств встречается проблема создания определенного набора программных команд, которые должны выполняться при выполнении запроса пользователя. Здесь рассматривается ситуация, когда пользователь вручную вводит текст команды и на основании этого текста программа должна выполнить определенные действия. В более абстрактном представлении задача решается внедрением в программу конструкции выбора. Во многих языках, в том числе и в рассматриваемом языке C#, присутствует оператор выбора switch, который позволяет решить данную проблему, однако при рассмотрении ситуации с наличием большого количества вариантов выбора эта конструкция будет громоздкой.

Альтернативным вариантом оператора выбора может выступать структура данных «Словарь», которая аналогична хеш-таблице и ассоциативному массиву. Она представляет собой два поля:

1. ключ – уникальный идентификатор для обращения к значению;
2. значение – основное содержимое в наборе данных.

В языке C# ключом и значением словаря могут выступать различные типы данных, в том числе и сложные структуры. Тогда для создания оператора выбора из словаря нужно чтобы тип данных значения являлся объектом, который содержит функцию.

В качестве типа данных для значений словаря выбран класс «Task», он позволяет хранить внутри себя методы возвращающие различные типы данных и позволяет выполнять отложенный запуск этих методов.

Используя словари в таком варианте, достаточно удобно будет провести разделение процессов добавления элементов в словарь, создание методов для добавления и их вызов на отдельные слои.

Так как словарь – это тип данных, то его можно использовать на разных уровнях реализации, он может находиться как на главном слое программы, так и скрыт внутри класса. Благодаря обобщениям можно конструировать объекты различной сложности и внедрять их в словарь.

Одной из простейших реализаций такого механизма выбора выступает создание класса функции, который имеет два поля: имя функции и объект типа «Task», в основном слое программы создаются экземпляры этого класса, объекты класса «Task» можно создавать при вызове конструктора класса функции, благодаря лямбда-выражениям. На этом же уровне создается словарь, который принимает в качестве ключа строку, а в качестве значения объект класса «Task».

При возникновении необходимости возврата значений необходимо установить обобщения, как для объектов Task внутри класса функции, так и при создании словаря.

Необходимо проверить скорость работы и объемы занимаемой памяти, ведь конечному пользователю не важно, как написан программный продукт – важно, что он работает быстро с минимальным использованием ресурсов.

Для сравнения времени выполнения нет необходимости создавать миллион вариантов выбора, ведь оба механизма имеют временную сложность  $O(1)$ . Для проверки достаточно установить по одному варианту выполнения и алгоритм, который будет выполняться внутри этих механизмов, должен быть одинаковым. В качестве такого алгоритма выбран вывод простого сообщения на консоль. В качестве таймера выбран объект «Stopwatch» из пространства имен «System.Diagnostics». Результат теста показал, что конструкция с оператором switch выполнялась за две сотые секунды, в то время как выполнение конструкции с использованием словаря приблизительно составляет одну тысячную секунды, что в разы превосходит конструкцию switch.

Теперь нужно проверить количество памяти занимаемое каждой из конструкций. Для этого было подготовлено 3000 вариантов выбора для обеих конструкций. Проверка выполнялась при создании Snapshot в среде разработки «Visual studio». Результат теста показал, что оба варианта занимают в памяти 24 байта.

В ходе исследования был рассмотрен механизм оператора выбора с использованием словарей. Определено, что вариантов реализации с данной структурой можно придумать множество, что нельзя сказать про оператор switch. Это свидетельствует о гибкости словарей, как с точки зрения структуры данных, так и со стороны оператора выбора. Выявлено, что словари и оператор switch в равной степени используют выделенную им память. Также следует отметить, что время выбора у обоих  $O(1)$ , но словари обрабатывают информацию быстрее.

**Список использованных источников:**

1. Коллекция Dictionary [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://metanit.com/sharp/tutorial/4.9.php>. – Дата доступа: 04.04.2023.

## ПЕРЕДАТЧИК МОБИЛЬНОЙ РАДИОСТАНЦИИ ТРАНКИНГОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

Новик М.А.

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

Титович Н.А. – к.т.н. доцент

Статья посвящена рассмотрению такого вида связи, как транкинговая радиосвязь и её преимуществ перед стандартной аналоговой радиосвязью. Приведена схема обобщенной архитектуры транкинговой радиосвязи. Рассмотрена схема перспективного передатчика мобильной радиостанции транкинговой радиосвязи.

Транкинговые системы радиосвязи - это системы связи, в которых выполняется автоматическое и динамическое распределение каналов между пользователями[2]. Современные транкинговые системы связи обеспечивают разные типы вызовов: групповые, индивидуальные, приоритетные. Транковая связь широко используется корпоративными и частными клиентами в различных отраслях. Принцип работы транка похож на алгоритм работы автоматической телефонной станции: абонент снимает трубку, слышит длинный гудок, набирает нужный номер и ожидает соединения. Автоматическая телефонная станция подбирает свободный канал и связывает абонентов. После окончания разговора линия освобождается для других пользователей. Количество линий на автоматической телефонной станции ограничено, именно поэтому в период ажиотажа, например в Новогоднюю ночь, бывает так трудно дозвониться: все линии заняты[1].

Ключевое отличие транкинговой связи от обычной радиосвязи в том, что при вызове пользователь включает рацию, и она самостоятельно настраивается на свободную полосу, тогда как в радиосвязи поиск полосы вещания осуществляется вручную. В транкинговой связи абоненту достаточно набрать нужный номер, а система сделает все остальное.

Преимущества транкинговой системы перед аналоговыми: конфиденциальность переговоров за счет использования криптографических алгоритмов; эффективное использование радиочастотного спектра за счет применения низкоскоростных кодеров речи в сочетании с методами цифровой модуляции и цифровыми технологиями множественного доступа позволяет по сравнению с аналоговыми системами более эффективно использовать полосу частот; помехоустойчивая ретрансляция сигналов; эффективная передача данных.

Архитектура транкинговой сети радиосвязи представлена на рисунке 1.

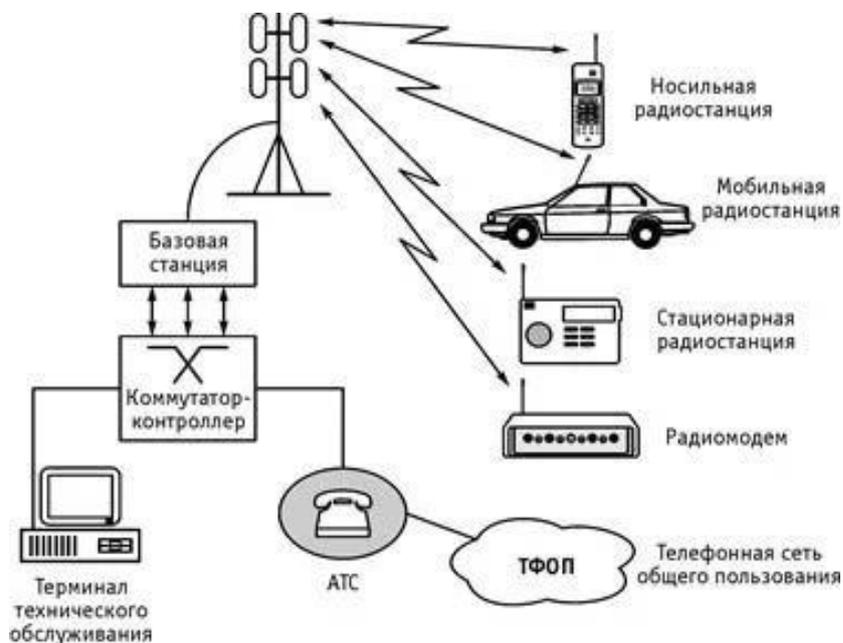


Рисунок 1 – Обобщенная архитектура транкинговой сети радиосвязи

В ходе дипломного проекта был разработан передатчик транкинговой системы радиосвязи, обеспечивающий модуляцию передаваемого радиосигнала на промежуточной частоте 45 МГц и перенос его в заданный диапазон 870...876 МГц с усилением до заданного уровня мощности. Данные

частоты сейчас являются достаточно востребованными. Функциональная схема передатчика приведена на рисунке 2.

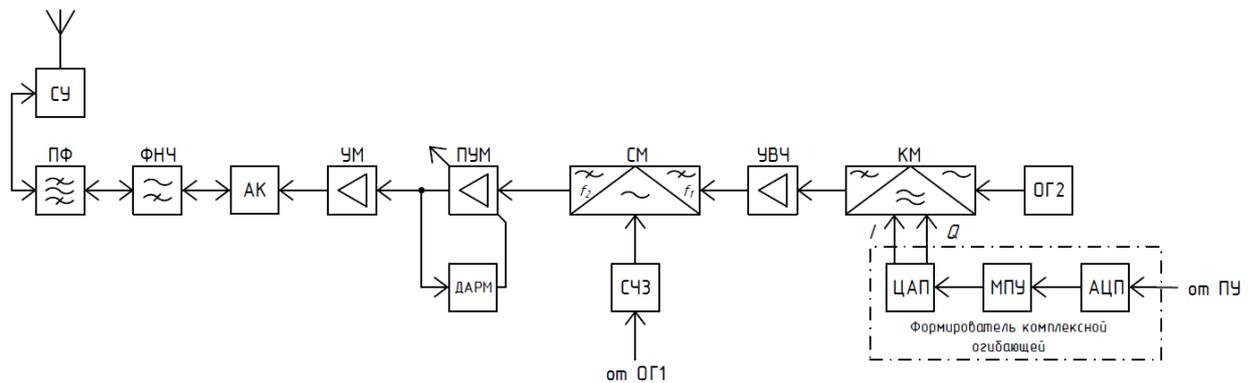


Рисунок 2 – Функциональная схема передатчика мобильной радиостанции транкинговой радиосвязи

Информационный сигнал поступает от пульта управления (ПУ) на формирователь комплексной огибающей, на выходе которого формируются квадратурные составляющие модулирующего сигнала. С выхода опорного генератора 2 (ОГ2) высокочастотный сигнал поступает на вход квадратурного модулятора (КМ), где под действием комплексного сигнала осуществляется его модуляция. В усилителе высокой частоты (УВЧ) происходит усиление сигнала. Сигнал с опорного генератора (ОГ1) поступает на синтезатор частоты (СЧЗ), обеспечивающий генерацию высокочастотных сигналов в диапазоне рабочих частот радиостанции. Далее высокочастотный сигнал с синтезатора частоты (СЧЗ) и сигнал с выхода усилителя высокой частоты (УВЧ) поступают на смеситель (СМ), для переноса в область рабочих частот радиостанции. После усиления в промежуточном усилителе мощности (ПУМ) и окончательном усилителе мощности (УМ) осуществляется фильтрация высокочастотного сигнала от гармонических составляющих с помощью фильтров нижних частот (ФНЧ) и полосового фильтра (ПФ). Антенный коммутатор (АК) обеспечивает своевременное переключение антенны ко входу приемника и к выходу передатчика[4]. Фильтрация субгармонических составляющих осуществляется в ПФ. С выхода ПФ сигнал поступает на согласующее антенное устройство (САУ), затем – к антенне (А).

Для поддержания уровня выходной мощности в заданных пределах в кольцо обратной связи включена схема автоматической регулировки мощности (АРМ)[3].

Таким образом был разработан передатчик мобильной радиостанции транкинговой радиосвязи, соответствующий современным требованиям к аналогичным изделиям пятого поколения. Он позволяет осуществлять связь как в аналоговом, так и в цифровом форматах. Все блоки передатчика выполнены на современных микросхемах. Это позволило значительно снизить габариты и вес передатчика в сравнении с аналогами.

**Список использованных источников:**

1. Голиков, А.М. Системы радиосвязи и сети телерадиовещания: учеб. пособие - Томск: ТУСУР, 2015. – 326 с
2. Ахматов Б.В. Технологии беспроводной связи: Учебник / С.В. Коньшин; Г.Д. Демидова Алматы: АУЭС, 2014 171 с
3. Белов, Ю. Г. Устройства генерирования и формирования сигналов : комплекс учебно-метод. мат. Часть 1. / Ю. Г. Белов, Э. А. Ермилов. – НГТУ, Н. Новгород, 2015. – 78 с
4. Радиопередающие устройства: учебник для вузов / В.В.Шахгильдян [и др.]; под ред. В.В. Шахгильдяна. – 3-е изд. – Москва: Радио и связь, 2003. – 560 с.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТОВАРОВ ПРИ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Новикова А.А.

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

Козел В.М. – канд. тех. наук

Аннотация: В данной статье приведены результаты сравнения технологий идентификации товаров (линейные штрих-коды, двумерные штрих-коды, RFID-метка). По результатам сравнения были определены основные преимущества при использовании RFID-технологий при идентификации товаров.

В настоящий момент актуальным направлением является цифровизации производственных процессов на всех этапах: от производства до конечного потребителя. Особое внимание уделяется идентификации товаров, которая позволяет отслеживать товар, защищать бренд от подделки и др. Для цифровизации производственных процессов применяют различные беспроводные технологии (линейный штрих код, QR Code, Data Matrix, RFID).

Линейный (одномерный) штрихкод - графическое представление информации в виде комбинации черных полос разной ширины и пробелов между ними. Под линиями располагаются цифры, дублирующие информацию. Линейные коды позволяют зашифровать небольшие объемы информации (до 20-30 символов). Код такого типа может считываться только в одном направлении (как правило, по горизонтали). В настоящий момент применяются следующие типы линейные коды: EAN, ITF-14, ISBN.

EAN - самый популярный тип линейных штрихкодов. Чаще всего применяется в торговле. Код состоит из 13 символов, однако для небольших товаров возможно применение 8 символьного кода. Цифры, расположенные под вертикальными штрихами, дублируют данные, зашифрованные в комбинации полос. Это нужно для того, чтобы при повреждении кода можно было получить информацию, вбив в учетную базу числовое сочетание.

ITF-14 — обычно используется для учета оптовых партий товаров и организации складского хранения. Содержит 14 цифровых символов. Отличительная особенность кода — черная полоса по периметру, которая нужна для снижения вероятности неправильного чтения.

ISBN — используется в библиотечном деле, по сути это книжный паспорт. Литературу без такого кода можно продавать, это не является нарушением закона, но в библиотеку ее не примут, потому что не смогут зарегистрировать в базе.

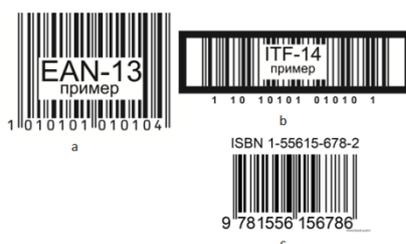


Рисунок 1 – Графическое изображение линейных штриховых кодов. а – EAN; б – ITF 14; в - ISBN

Двумерные (2D) штрихкоды изображаются в виде прямоугольника или квадрата, который может быть считан сразу в двух плоскостях. Наиболее распространенными двумерными кодами являются: QR и Data Matrix.

Любой QR-код содержит несколько обязательных элементов — 3 квадрата, благодаря которым сканер может определять положение рисунка, а также исправлять искажение.

Data Matrix — код, представляющий собой изображение из модулей контрастных цветов (чаще черного и белого). С двух сторон ограничивается линиями, благодаря которым сканер понимает ориентацию штрихкода. Алгоритмы шифрования позволяют восстанавливать утраченные фрагменты.



Рисунок 2 – Графическое изображение двумерных штрихкодов. а- QR Code; б – Data Matrix

RFID (Radio Frequency Identification) - это беспроводная система, состоящая из метки и считывателя, которая при помощи радиосигналов записывает и считывает информацию.

Ниже в таблице 1 представлены результаты сравнительного анализа технологий идентификации товара по различным параметрам.

Таблица 1 – Сравнение технологий идентификации

Параметр	Линейный штрихкод	Двумерный код	RFID
Прямая видимость	да	да	нет
Радиус считывания	до 30 см	до 30см	пассивные – до 8м; активные – до 100м
Технология считывания	оптическая	оптическая	радиочастота
Чтение	да	да	да
Запись	нет	нет	да
Максимальный объем данных	до 100 байт	до 2953 байт	от 10 до 512 000 байт
Возможность автоматизации	нет	нет	да
Перезапись	нет	нет	да

Преимущества применения RFID технологий:

- Возможность перезаписи. Благодаря особенностям самой технологии каких-либо ограничений на количества перезаписей нет. Что позволяет многократно применять RFID -метки.

- Для чтения информации прямая видимость метки и считывателя необязательна. Взаимная ориентация метки и считывателя также не играет большой роли. Считывателя для получения информации от метки достаточно, чтобы метка находилась в его рабочей зоне. При этом метка может перемещать в этой зоне

- Большие расстояния считывания. Радиус считывания метки может достигать нескольких метров.

- Большие объемы информации. RFID метка способна хранить больше информации, по сравнению с другими средствами хранения информации об объекте (QR, DataMatrix)

- Считывания одновременно информации от нескольких меток. Промышленные считыватели способны получать и анализировать информацию, полученную одновременно от нескольких меток в радиусе считывания.

- Устойчивость к воздействию окружающей среды. RFID метки способны успешно работать в широком спектре условий рабочей среды (высокие, низкие температуры, высокая влажность и др.).

Однако, несмотря на широкий ряд преимуществ, применение RFID-технологии имеет ограничения. В частности невозможность размещения под металлическими и экранирующими поверхностями и др.

**Список использованных источников:**

1. ISO/IEC 1800-6:2013 Information technology – radio frequency identification for item management. Part 6: Parameters for air interface communication at 860 MHz to 960 MHz General.

2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 18004-2015 Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных. Спецификация символика штрихового кода QR Code

3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 16022-2008. Спецификация символика Data Matrix

УДК 53.089.6(083.74)(476)

## МЕТОДИКА ПОВЕРКИ ОПТИЧЕСКОГО ТЕСТЕРА ОТ-2-8

*Орехов А.К., магистрант гр.267041*

*Ковалев Д.В., магистрант гр.267041*

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

*Белошицкий А.П. – кандидат технических наук, доцент*

**Аннотация.** Статья посвящена разработке методики поверки оптического тестера ОТ-2-8. Приводятся метрологические характеристики поверяемого прибора и выбранных эталонных средств поверки, схемы поверки и значения поверяемых точек, а также алгоритмы обработки результатов измерений.

**Ключевые слова.** Поверка, методика, оптический тестер.

Для достижения требуемых параметров передачи волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и их высоких эксплуатационных качеств большую роль имеет метрологическое обеспечение (МО) строительства и технической эксплуатации ВОЛС. Одной из важных задач МО является контроль метрологических характеристик (МХ) используемых измерительных приборов. На разных стадиях жизненного цикла приборов этот контроль осуществляется при проведении государственных испытаний, поверки, калибровки и метрологической экспертизы. Эти работы по метрологической оценке выполняются с использованием специально разработанных научно-обоснованных методик.

В статье рассматривается разработанная методика поверки (МП) оптического тестера ОТ-2-8. МП разработана в соответствии с требованиями [1].

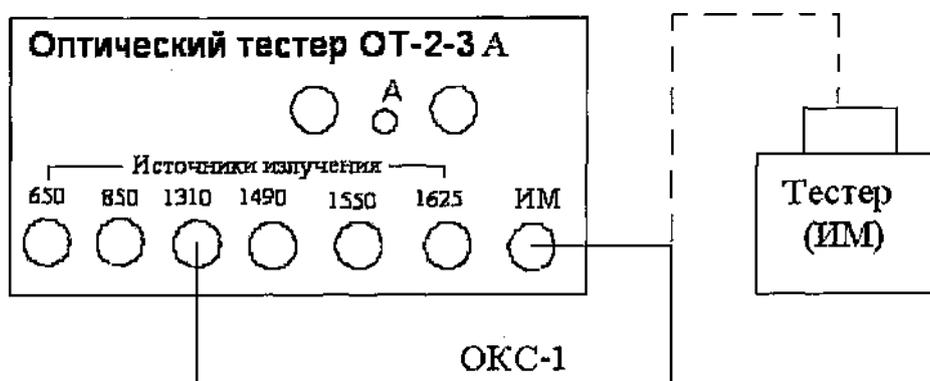
Оптический тестер предназначен для измерения мощности оптического излучения в оптических волокнах (ОВ), затухания в ОВ и их соединениях, а также для генерации стабилизированного оптического излучения [2]

При поверке оптического тестера ОТ-2-8 определяются его следующие МХ:

- определение относительной погрешности измерения мощности оптического излучения;
- определение относительной погрешности измерения относительных уровней мощности оптического излучения;
- определение мощности источника оптического излучения;
- определение нестабильности мощности источника оптического излучения;

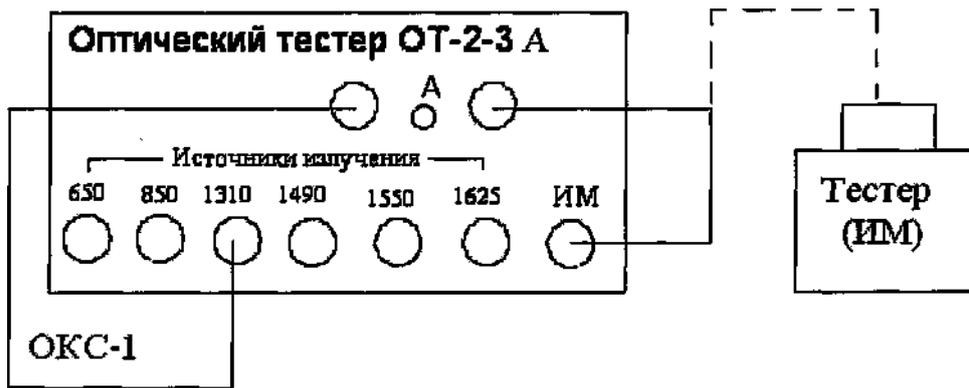
Для определения этих МХ был выбран эталонный оптический тестер ОТ-2-3А имеющий следующие характеристики [3]: диапазон измерения мощности оптического излучения от плюс 3 до минус 65 дБм; пределы допускаемой относительной погрешности измерения мощности оптического излучения +3% на длинах волн калибровки 1310 нм, 1490 нм, 1550 нм, 1625 нм;  $\pm 5\%$  на длине волны 850 нм;  $\pm 7\%$  на длине волны 650 нм.

Для определения МХ поверяемого тестера используются схемы поверки, представленные на рисунках 1,2,3.



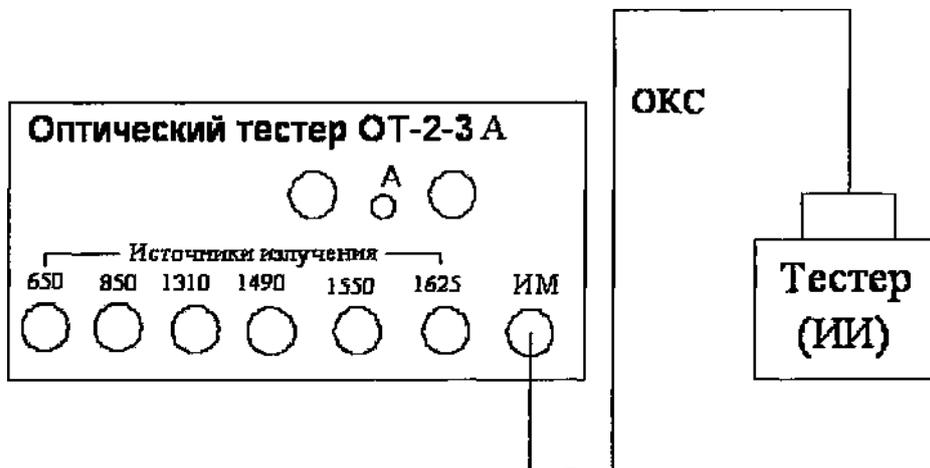
ИМ – поверяемый измеритель мощности, ОКС-1 - кабель оптический соединительный

Рисунок 1 - Схема соединения приборов при определении погрешности измерения опорного уровня мощности 1 мВт



ИМ – поверяемый измеритель мощности, ОКС-1 - кабель оптический соединительный, ОКС-2 - кабель оптический соединительный

Рисунок 2 - Схема соединения приборов при определении погрешности измерения мощности и относительных уровней мощности оптического излучения



ИИ – источник излучения поверяемого тестера

Рисунок 3 - Схема соединения приборов при определении мощности и нестабильности мощности источника мощности излучения тестера от-2-8

Определение МХ поверяемого тестера.

1. Определение относительной погрешности измерения для опорного уровня оптического излучения 1 мВт на длинах волн калибровки проводят согласно схемы рисунка 1, а для других уровней мощности - рисунка 2.

Для длины волны 650 нм погрешность определяют при значениях мощности: 1 мВт, 100 мкВт.

Для длины волны 850 нм погрешность определяют при значениях мощности: 1 мВт, 2 мВт, 1 мкВт, 1 нВт.

Для длины волны 1310 нм погрешность определяют при значениях мощности: 1 мВт, 5 мВт, 1 мкВт, 0,1 нВт, 10 нВт.

Для длины волны 1550 нм погрешность определяют при значениях мощности: 1 мВт, 1 мкВт, 0,1 нВт.

Для длины волны 1490 нм и 1625 нм погрешность определяют при значениях мощности: 1 мВт, 1 мкВт, 0,1 нВт.

Для каждой длины волны и значения мощности измерения проводят не менее пяти раз.

Обработка результатов измерений при определении погрешности измерений мощности для каждой длины волны калибровки проводится по следующему алгоритму.

Рассчитывают среднее значение мощности, измеренное поверяемым тестером при  $j$ -ом значении мощности:

$$P_{nj} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{nji} , \quad (1)$$

где  $P_{nji}$  - мощность измерения поверяемым тестером;  $i$  - номер измерения при  $j$  - ом значении мощности;  $n$  - число измерений при  $j$  - ом значении мощности.

Рассчитывают среднеквадратическое отклонение результата измерений:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n(n-i)} \sum_{i=1}^n V^2} , \quad (2)$$

где  $V_{ji} = P_{nji} - P_{эji}$ ,

$P_{эji}$  - мощность измеренная эталонным тестером.

Рассчитывают относительную погрешность измерения мощности оптического излучения на длине волны калибровки (в процентах) по формуле:

$$\delta = 2\sqrt{(\delta_n^2 + \delta_э^2)/3 - S^2} , \quad (3)$$

где  $\delta_n = \max \left| \frac{V_{ij}}{P_{эij}} \cdot 100 \right|$ ,

$\delta_э$  - предел допускаемой относительной погрешности измерения мощности эталонного тестера;

$$S = \max \frac{\sigma_j}{P_{эj}} \cdot 100$$

Определяют относительную погрешность измерения мощности на длине волны калибровки в децибелах по формуле:

$$\delta' = 10 \lg \left( 1 + \frac{\delta}{100} \right) [\text{дБ}] , \quad (4)$$

Результаты поверки считают удовлетворительными, если значения относительной погрешности измерения мощности оптического излучения не превышают +12 % ( $\pm 0,49$  дБ) на длине волны 650 нм,  $\pm 8$  % ( $\pm 0,33$  дБ) на длине волны 850 нм и +5 % ( $\pm 0,22$  дБ) на длинах волн 1310, 1490, 1550 и 1625 нм.

2. Относительную погрешность измерения относительных уровней мощности (в процентах) определяют по формуле:

$$\delta_{yp} = 2\sqrt{\frac{(\delta_1^2 - \delta^2)}{3} - S^2} , \quad (5)$$

где  $\delta_1 = \max |\delta_{ncp} - \delta_{nj}|$

$$\delta_{ncp} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \delta_{nj}$$

где  $N$  - количество уровней мощности, при которых проводилось сличение показаний поверяемого и эталонного тестеров.

$\delta_{0э}$  - предел допускаемой относительной погрешности измерений относительных уровней мощности эталонного тестера.

Относительную погрешность измерения относительных уровней мощности (в децибелах) определяют по формуле:

$$\delta'_{yp} = 10 \lg \left( 1 + \frac{\delta_{yp}}{100} \right) , \quad (6)$$

Результаты поверки считают удовлетворительными, если значения относительной погрешности измерения относительных уровней мощности оптического излучения не превышают  $\pm 6\%$  ( $+0,25$  дБ) на длине волны 650 нм,  $\pm 4\%$  ( $\pm 0,17$  дБ) на длине волны 850 нм и  $\pm 2,5\%$  ( $\pm 0,11$  дБ) на длинах волн 1310, 1490, 1550 и 1625 нм.

### 3. Определение мощности источника мощности излучения поверяемого тестера.

Поверяемый и эталонный приборы соединяют согласно схемы рисунка 3. На эталонном тестере ОТ-2-3А устанавливают длину волны измеряемого оптического излучения, равную длине волны источника оптического излучения поверяемого тестера. Подают оптическое излучение от поверяемого тестера на вход измерителя мощности оптического тестера ОТ-2-3А, подсоединив ОКС, и измеряют мощность оптического излучения. Повторяют измерение еще два раза, отсоединяя ОКС и вновь присоединяя его к источнику излучения поверяемого тестера. Мощность источника оптического излучения  $P$  в дБм на выходе ОКС определяют по формуле:

$$P = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 P_i \quad (7)$$

где  $i$  - номер измерения.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если измеренное значение мощности источника излучения для всех длин волн излучения поверяемого тестера имеет значение не менее 4 дБм.

### 4. Определение нестабильности мощности источника оптического излучения поверяемого тестера.

Поверяемый и эталонный приборы соединяют согласно схемы рисунка 3. На эталонном тестере ОТ-2-3А устанавливают длину волны измеряемого оптического излучения, равную длине волны источника оптического излучения поверяемого тестера. Подают оптическое излучение от поверяемого тестера с помощью ОКС на вход измерителя мощности оптического тестера ОТ-2-3А. Измеряют мощность оптического излучения. Снимают показания измерителя мощности оптического тестера ОТ-2-3А в течении 15 минут с интервалом в 1 минуту. Нестабильность мощности источника излучения тестера  $R$  в дБм рассчитывают по формуле:

$$R = 10 \lg \left( 1 + 2 \cdot \frac{P_{max} - P_{min}}{P_{max} + P_{min}} \right), \quad (8)$$

где  $P_{max}$  и  $P_{min}$  - максимальное и минимальное значение мощности оптического излучения, мкВт.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если измеренное значение нестабильности не превышает  $\pm 0,05$  дБ, а для модификаций тестера ОТ-2-8 для одномодового ОВ не превышает  $\pm 0,03$  дБ.

#### **Список использованной литературы:**

1. *Постановления Госстандарта №40 от 21.04.2021г. " Об осуществлении метрологической оценки в виде работ по государственной поверки средств измерений."*
2. *Руководство по эксплуатации оптического тестера ОТ- 2-8.*
3. *Руководство по эксплуатации оптического тестера ОТ- 2-3А.*

# УМЕНЬШЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОСТОЯННОГО СМЕЩЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ С ГЕНЕРАТОРА СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ ПРИ ПОМОЩИ АЛГОРИТМОВ ПОСТОБРАБОТКИ

Лукуза М.О.

ОАО «КБ Радар» - управляющая компания холдинга «Системы радиолокации»  
г. Минск, Республика Беларусь

Михневич С.Ю. – канд. физ.-мат. наук

В работе изучено влияние алгоритмов постобработки (метод исключяющего ИЛИ, метод фон Неймана, метод H-функции) на бинарную последовательность, полученную с аппаратного генератора случайных чисел. Рассчитаны значения постоянного смещения распределения вероятностей исходной и полученных в результате постобработки последовательностей. Практическая величина смещения после применения алгоритмов уменьшилась, но на меньшее значение чем было теоретически рассчитано, что свидетельствует о скоррелированности выходного потока с генератора.

При эксплуатации аппаратный генератор случайных чисел (ГСЧ) может иметь распределение, отличное от равномерного. Это может быть связано с наличием постоянного смещения у источника энтропии ГСЧ либо с изменением внешних факторов, которые воздействуют на источник энтропии. Для улучшения статистических характеристик аппаратных ГСЧ применяют различные алгоритмы постобработки. Они позволяют уменьшить постоянное смещение последовательности, однако их применение часто ведет к уменьшению скорости генерации случайных чисел. Рассмотрим некоторые из алгоритмов постобработки [1].

Метод исключяющего ИЛИ (XOR). Из входного потока берется два бита, над ними проводится операция исключяющее ИЛИ, результат операции записывается в выходной поток.

Метод фон Неймана (Von Neumann). Из входного потока берется два бита, если они равны 01, то в выходной поток записывается 0, если равны 10, то записывается 1, иначе не записывается ничего.

Метод H-функции (H function). Из входного потока берется два байта: A1 и A2. В выходной поток записывается результат выполнения H-функции:  $H(A1, A2) = A1 \oplus RL(A1, 1) \oplus A2$ , где  $\oplus$  - операция исключяющего ИЛИ,  $RL(A1, 1)$  - операция циклического сдвига влево на 1 байта A1.

Одной из характеристик случайной последовательности является величина постоянного смещения распределения вероятностей, которая для двоичного числа вычисляется как половина разности вероятностей появления 0 и 1. Теоретические значения величины постоянного смещения после применения рассмотренных алгоритмов постобработки можно оценить при помощи выражений [2], представленных в таблице 1, где  $e$  – величина смещения исходной последовательности.

Таблица 1 – Выражения для оценки смещения выходной последовательности.

	XOR	Von Neumann	H function
Выходное смещение	$2e^2$	0	$\leq 4e^3$

Для сравнения теоретических значений постоянного смещения с практическими была получена последовательность случайных чисел с аппаратного ГСЧ, построенного на шумовом диоде. К данной последовательности были применены рассмотренные алгоритмы постобработки, в результате чего были получены новые последовательности случайных чисел. Далее были вычислены теоретические и практические значения постоянного смещения исходной последовательности и полученных в результате алгоритмов постобработок. Результаты вычислений приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Теоретически и практические значения смещений выходных последовательностей.

	Hardware RNG		XOR		Von Neumann		H function	
	теор	практ	теор	практ	теор	практ	теор	практ
Выходное смещение	-	$1,059 \cdot 10^{-3}$	$2,243 \cdot 10^{-6}$	$7,255 \cdot 10^{-5}$	0	$2,263 \cdot 10^{-4}$	$\leq 4,752 \cdot 10^{-9}$	$4,212 \cdot 10^{-5}$

Из результатов вычислений видно, что рассмотренные алгоритмы постобработки на практике уменьшают смещение последовательности на 1-2 порядка, однако эти значения оказались больше, чем теоретически рассчитанные. Это может говорить о том, что выходной поток с генератора скоррелирован. Устранить корреляцию можно используя специальные методы постобработки.

#### Список использованных источников:

1. Avaroglu E., Tuncer T. A novel S-box-based postprocessing method for true random number generation / E. Avaroglu, T. Tuncer // Turk J Elec Eng & Comp Sci, 2020. – №28. – P. 288-301.
2. Kwok S., Ee Y., Chew G., Zheng K., Khoo K., Tan C. A Comparison of Post-Processing Techniques for Biased Random Number Generators / S. Kwok, Y. Ee, G. Chew, K. Zheng, K. Khoo, C. Tan // Information Security Theory and Practice. Security and Privacy of Mobile Devices in Wireless Communication, 2011. – P. 175-190.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗВИТИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ

*Почерняева Д.Н., студент гр.144691*

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

*Парафиянович Т.А. – доцент кафедры ИРТ, канд. пед. наук, доцент*

**Аннотация.** В статье рассмотрены технологии развития универсальных компетенций, одной из составляющих, которых являются коммуникативные навыки. Представлено исследование, определяющее уровень развития коммуникативных навыков обучающихся, сделаны выводы, на основе которых определены методы развития творческих качеств личности, коммуникативных навыков в процессе обучения и выявлены виды деятельности, способствующие их формированию.

**Ключевые слова.** Универсальные компетенции, коммуникативные навыки, проектная деятельность, личностно-ориентированное обучение, развивающее обучение.

С каждым годом роль универсальных компетенций (УК) в процессе развития обучающихся и молодых специалистов возрастает, но уровень развития данных компетенций, в том числе способность адаптироваться к новым обстоятельствам и условиям профессиональной деятельности недостаточно высока. Современные студенты учреждений высшего образования (УВО), если у них не сформирован навык постоянного саморазвития, в скором времени становятся не конкурентноспособными, так как профессиональные компетенции, полученные за годы обучения достаточно быстро устаревают. Актуальность исследования обоснована тем, что скорость социально-экономического развития очень высока и в этих условиях необходимо образовательный процесс строить как личностно-ориентированное, практико-ориентированное, развивающее обучение, которое способствует формированию универсальных компетенций и рациональному использованию знаний и навыков в профессиональной сфере.

В переводе с латинского «competentia» означает круг вопросов, в которых человек хорошо осведомлен, обладает познаниями и опытом. Компетентный в определенной области человек обладает соответствующими знаниями и способностями, позволяющими ему обосновано судить об этой области и эффективно действовать в ней. [1].

В зарубежных источниках представлены различные подходы к классификации универсальных компетенций, в основе которых лежит шесть основных (базовых) групп:

основные (фундаментальные, академические) навыки (грамотность, умение считать);

коммуникативные навыки (общение, межличностные отношения, работа в команде, навыки обслуживания клиентов);

концептуальные (навыки мышления) (сбор и обработка информации, решение проблем, планирование и организация, умение учиться и развивать навыки, творческое и системное мышление);

личные навыки (ответственность, находчивость, гибкость, способность управлять своим временем, чувство собственного достоинства);

навыки, связанные с деловым миром (инновационные навыки, инициативность);

социальные и гражданские навыки (знания и навыки в области гражданского права) [2].

В качестве наиболее практикуемых педагогических технологий личностно-ориентированного развивающего обучения в учебной и внеучебной деятельности определены: информационно-коммуникационные технологии, технологии развития критического мышления, проектные технологии, здоровье сберегающие технологии, технологии проблемного обучения, игровые технологии, кейс-технологии, технологии создания предметно-развивающей среды, технологии обучения в сотрудничестве, технологии исследовательской деятельности и традиционные технологии [3].

Исследование развития УК студентов произведено на примере коммуникативных УК как наиболее значимой компетенции. Социальное взаимодействие становится важным условием успешной учебной и трудовой деятельности, а также условием становления всесторонне развитой личности. Поэтому развитие навыков коммуникации выходит на первый план в воспитательной деятельности УВО. Формирование коммуникативных УК имеет и более глобальное значение, поскольку жизнедеятельность невозможна без взаимодействия людей друг с другом. Студент, обладающий в достаточной степени коммуникативными умениями, может чувствовать себя уверенно в различных ситуациях бытового, учебного и профессионального общения.

Для выявления степени развития коммуникативных УК выбран формат опроса. Формат опроса позволяет достаточно быстро сформировать и проанализировать результаты, за основу опроса взята методика В.Ф. Ряховского, предназначенная для выявления уровня коммуникабельности, способности устанавливать контакт. Методика представлена 16 вопросами и рекомендована для диагностики испытуемых не младше 15 лет. Некоторые вопросы были реконструированы в связи с неактуальностью на фоне социально-экономического развития, при этом смысловая нагрузка сохранена.

В исследовании сформированности коммуникативных навыков среди студентов УВО приняло участие 22 респондента, средний возраст которых составляет 20 лет. Среднее количество баллов, набранное за тест, составило 16 баллов, что по классификатору опросника соответствует следующей интерпретации результата: Набранные 14-18 баллов. Является показателем среднего уровня коммуникабельности. Вы любознательны, охотно слушаете интересного собеседника, достаточно терпеливы в общении с другими, отстаиваете свою точку зрения без вспыльчивости. Без неприятных переживаний идете на встречу с новыми людьми. В то же время не любите шумных компаний, экстравагантные выходки и многословие могут вызвать у вас раздражение.

Значимых различий между парнями и девушками по итогам исследования, проведенной с помощью опроса, не выявлено.

Средним уровнем развития коммуникативных навыков обладают 45,5% опрошенных, среди которых примерно в равном соотношении 27,3% студенты мужского пола и 18,2% женского пола (4 и 6 студентов соответственно).

Низкий уровень коммуникативных навыков среди опрошенных наблюдается у 27,3% респондентов, то есть у 6 студентов, показательно, что из них 5 девушек.

Высокий уровень сформированности коммуникативных навыков наблюдается у 27,3% опрошенных, среди которых в равных долях разделились студенты мужского и женского пола по 13,6% (3 парня и 3 девушки).

На основе произведенного исследования, среди современных технологий развития коммуникативных компетенций, как самые подходящие выделены кейс-технологии и проектная деятельность в процессе обучения. Так как у большинства студентов сформированность коммуникативных навыков на среднем и высоком уровнях, а 27,3% студентов обладатели низкого уровня коммуникативных навыков, оптимальным выбором вида деятельности, способствующей развитию УК, является проектная деятельность, в процессе которой студенты, обладающие более высоким уровнем коммуникативных навыков, могут мотивировать на работу других участников проекта и улучшать навык коммуникации друг друга.

Выполнение группового проекта предполагает наличие у студентов развитых на начальном уровне профессиональных и универсальных компетенций. Такая деятельность позволяет проявить себя, выявить свои слабые и сильные стороны УК, попробовать свои знания на практике, а также получить опыт, показав перед аудиторией достигнутый результат.

Для практического применения выделены типы проектов, которые возможно реализовывать на базе УВО:

Практические проекты. Целью такого проекта можно поставить решение практических задач и получение знаний по теме проекта. Самостоятельным практическим проектом выступает подготовка тематического выступления с презентацией и выступление перед группой студентов с последующим обсуждением.

Исследовательские проекты. Проекты данного типа проводятся в соответствии с научным исследованием. Примерами являются курсовые работы, исследовательские работы и доклады на конференциях.

Информационные проекты. Цель этих проектов – собрать и структурировать информацию о каком-либо явлении. Результатом проекта являются отформатированные данные, результаты опросов и резюме высказываний различных исследователей по изучаемому объекту. Примером такого проекта можно представить подготовку материала к информационному часу самостоятельно или в команде.

Творческие проекты. Цель творческих проектов – применение творческих навыков и умений. Выступления студентов на мероприятиях при УВО, студенческих проектах регионального и республиканского уровня могут являться оптимальным вариантом, результатом проекта данного типа могут стать музыкальные выступления, произведения искусства, мероприятия с применением настольных игр и других видов творческой деятельности.

В заключение стоит отметить, что для более эффективного развития УК необходимо пробовать различные способы формирования групп в проектах, как по желанию, так и случайным способом для достижения оптимального распределения студентов и взаимодействия друг с другом. Для достижения наилучшего варианта развития УК стоит применять одновременно несколько технологий личностно-ориентированного развивающего обучения в учебной и внеучебной деятельности.

**Список использованных источников:**

1. Хуторский А.В. *Дидактическая эвристика. Теория и технология креативного обучения.* – М.: Изд-во МГУ, 2003. – 416с.
2. Беркович М.А., Кофанова Т.В., Тихонова С.С. *Soft skills (мягкие компетенции) бакалавра: оценка состояния и направления формирования.* – Вестник ВГУ. Серия: экономика и управление, 2018. – №4. – С. 64-68.
3. Суртаева, Н. Н. *Педагогические технологии: учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры / Н. Н. Суртаева.* – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2019. 250 с.

УДК 621.396

## ДЕКОРРЕЛЯЦИЯ СИГНАЛА ОТ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ В ВЫСОКОИНФОРМАТИВНОМ РАДИОЛОКАТОРЕ С СИНТЕЗИРОВАНИЕМ АПЕРТУРЫ

*Радионович В.В., аспирант*

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

*Козлов С.В. – доктор техн. наук*

**Аннотация.** Показано, что при обнаружении движущихся целей радиолокаторами с синтезированием апертуры авиационного или космического базирования при высоком разрешении по продольной и поперечной дальности возникает эффект декорреляции сигнала от земной поверхности. Из-за компенсации миграции дальности для движущейся цели происходит последовательное замещение сигнала в элементе разрешения по дальности сигналами, отраженными от элементов земной поверхности на разных дальностях, и пропорциональное уменьшение времени корреляции флуктуаций отраженного от земной поверхности сигнала. При разрешающей способности по наклонной дальности 1 метр и радиальной скорости движущегося объекта 50...200 м/с время корреляции флуктуаций составит 20...5 мс. На радиолокационном изображении в координатах «наклонная-поперечная дальность» изображения неподвижных объектов с большой отражающей способностью будут наблюдаться в виде прямоугольников с одинаковым числом пикселей по наклонной и поперечной дальности. Время корреляции флуктуаций сигнала от неподвижного отражателя обратно пропорционально его радиальной скорости и ширине спектра зондирующего сигнала РСА.

**Ключевые слова.** Синтезирование апертуры, движущийся объект, миграция дальности, земная поверхность, декорреляция, ширина спектра флуктуаций .

**Постановка задачи.** Для обнаружения движущихся воздушных объектов (самолетов, вертолетов, беспилотных летательных аппаратов) в настоящее время могут быть использованы радиолокаторы с синтезированием апертуры (РСА) авиационного и космического базирования [1-4]. РСА космического базирования также предлагается использовать для обнаружения и определения параметров движения искусственных спутников Земли (ИСЗ и космического мусора) [5].

Для таких объектов возникают дополнительные (собственные), не связанные с перемещением носителя РСА радиальное  $V_{0r}$  и тангенциальная  $V_{0t}$  скорости взаимного перемещения объекта и

РСА, радиальное ускорение  $a_r$  и, в некоторых случаях, производная радиального ускорения  $a'_r$ .

Алгоритмы обработки траекторного сигнала для указанного случая, например [ ], предусматривают компенсацию миграции дальности и частоты, обусловленную собственными параметрами движения объекта относительно РСА, и построение радиолокационных изображений объектов в координатах наклонная/поперечная дальность при когерентном накоплении отраженного от движущегося объекта сигнала.

При обнаружении движущихся объектов в элементе разрешения, наряду с внутренними шумами, будут присутствовать отражения от земной поверхности. Влияние отраженного от земной поверхности сигнала хорошо изучено применительно к процессу обнаружения движущегося с относительно небольшой (единицы-десятки м/с) скоростью наземного объекта [1]. При обнаружении такого объекта с использованием РСА со средней (3-25 м) разрешающей способностью по дальности в одном элементе разрешения будут находиться отраженные сигналы от объекта и от элемента земной поверхности, отнесенного по углу на величину  $\arcsin(V_{0r} / V_{pca})$ , где  $V_{pca}$  - скорость носителя РСА.

Сигналы от объекта и от земной поверхности накапливаются когерентно, поэтому отношение сигнал/земная поверхность определяется отношением ЭПР объекта к ЭПР разрешаемого участка земной поверхности. Наличие на наблюдаемой радиолокационной сцене значительного числа неподвижных объектов с большой ЭПР (например, стоящих автомобилей, металлических конструктивных элементов дорожной инфраструктуры, освещения, электропередачи и т.д.) приводит к невозможности достоверного обнаружения движущихся объектов на радиолокационном изображении.

Одним из основных направлений развития РСА является повышение разрешающей способности по дальности до 1 м, а в перспективе до 0,25 м. При указанной разрешающей способности и компенсации миграции дальности для движущегося воздушного объекта или ИСЗ условие для когерентного накопления сигналов, отраженных от земной поверхности, нарушаются.

Эти эффекты недостаточно описаны в литературе, что и определяет цель настоящей статьи.

**Выявление закономерностей.** Для выявления основных закономерностей использовалась компьютерная модель высокоинформативного РСА космического базирования для маршрутного и детального режимов радиолокационной съемки. Модель реализована в пакете прикладных программ MATLAB представляет собой набор выполняемых в определенном порядке отдельных модулей-скриптов.

В головном скрипте (*main.m*) задаются исходные данные для моделирования, управляющие переменные – «флаги» для переключения между различными режимами вычислений, задается траектория космического аппарата, формируется наблюдаемая сцена из блестящих точек земной поверхности, неподвижных и движущихся объектов, рассчитывается мощность отраженного от них сигналов, начальные дальности, радиальные скорости, ускорения и производные радиальных ускорений между фазовыми центрами передающей и интерферометрических приемных антенн.

С использованием скриптов *CalcSigShortTime.m* и *AirplaneModel.m* выполняется расчет траекторного сигнала для одного или двух интерферометрических приёмных каналов и одного передающего канала с формированием внутривысокочастотных спектров принимаемых сигналов. Движущиеся наземные объекты представляются в виде совокупности блестящих точек на «жестком» каркасе, условный центр которого движется прямолинейно и равномерно. Для воздушных объектов также используется модель из совокупности блестящих точек на жестком каркасе, но дополнительно к равномерному прямолинейному движению центра масс объекта воспроизводятся колебательные движения объекта по курсу, крену и тангажу с заданными амплитудами  $A_{oz}, A_{ox}, A_{oy}$ , периодами повторения  $A_{oz}, A_{ox}, A_{oy}$  и случайными начальными фазами.

Скрипт *CalcRliXY.m* используется для построения радиолокационного изображения с использованием алгоритма *BackProjection* с передискретизацией по быстрому времени в спектральной области. Особенностью используемого алгоритма является фокусировка РЛИ для каждой точки земной поверхности с использованием ее декартовых или географических координат. Это позволяет получать РЛИ с любой дискретностью и максимально возможным качеством. При построении РЛИ для двух интерферометрических приемных каналов, разнесенных по линии пути, с дополнительной компенсацией фазовых сдвигов реализуются алгоритмы *MTI* (*moving track indicator*) селекции движущихся объектов в вариантах построения разностного РЛИ или оценки разности фаз пикселей (отсчетов) комплексных РЛИ.

Скрипт *CalcRliDnDp.m* реализует алгоритм *MTD* (*moving track detection*) построение РЛИ движущихся воздушных объектов в координатах наклонная дальность – поперечная дальность с компенсацией миграции дальности и частоты в соответствии с предполагаемыми параметрами изменения дальности между РСА и центром масс цели. Для обзора по указанным параметрам используется многоканальная обработка. Визуализация результатов обработки проводится путем построения трехмерных амплитудных РЛИ приемных каналов и разностного РЛИ при квадратичном и линейном детектировании и соответствующих яркостных РЛИ в градациях серого или цветовой раскраске.

На рисунке 1 приведены РЛИ неподвижного точечного объекта, полученные при синтезировании алгоритмом *MTI* в координатах  $xOy$  и алгоритмом *MTD* в координатах «наклонная дальность – поперечная дальность» при наличии шумов. Все зависимости построены для РСА космического базирования при дальности 700 км, орбитальной скорости 7612 м/с, времени синтезирования 0,4 с и ширине спектра сигнала 150 МГц. Несмотря на различия систем координат (для рис. 1а построение с дискретностью 1 м по осям, для рисунка 1б дискрет наклонной дальности эквивалентен 1 м, дискрет по путевой дальности 4,4 метра), хорошо видно сходство получаемых изображений.

На рис. 2 и 3 приведены сформированные алгоритмом *MTD* изображения движущегося со скоростями  $V_x=100$  м/с и  $V_x=200$  м/с, соответственно, объекта с ЭПР 10 м<sup>2</sup> и неподвижного объекта с ЭПР 100 м<sup>2</sup> (для лучшего выявления эффектов зависимости построены без внутренних шумов). Отклик для движущегося объекта имеет игольчатый характер и соответствует одному элементу разрешения по наклонной/поперечной дальности. Для неподвижного объекта отклик имеет вид прямоугольника по наклонной дальности и путевой дальности. Указанное «расплывание» отклика определяется процессам компенсации миграции дальности для движущегося объекта: на интервале синтезирования продолжительностью  $T_c=0,4$  с алгоритм построения РЛИ (сжатия траекторного сигнала) компенсирует перемещение объекта, связанное с его дополнительной радиальной скоростью  $V_r=67$  м/с (рисунок 2).

Это перемещение составит  $T_c V_r = 27$  м, что при ширине спектра сигнала 150 МГц и такой же частоте дискретизации, соответствует 27 отсчетам по наклонной дальности. Измерения на рисунке 2б дают именно такой результат как по длине прямоугольника, занятого откликом, так и по его ширине, в числе отсчетов комплексного РЛИ.

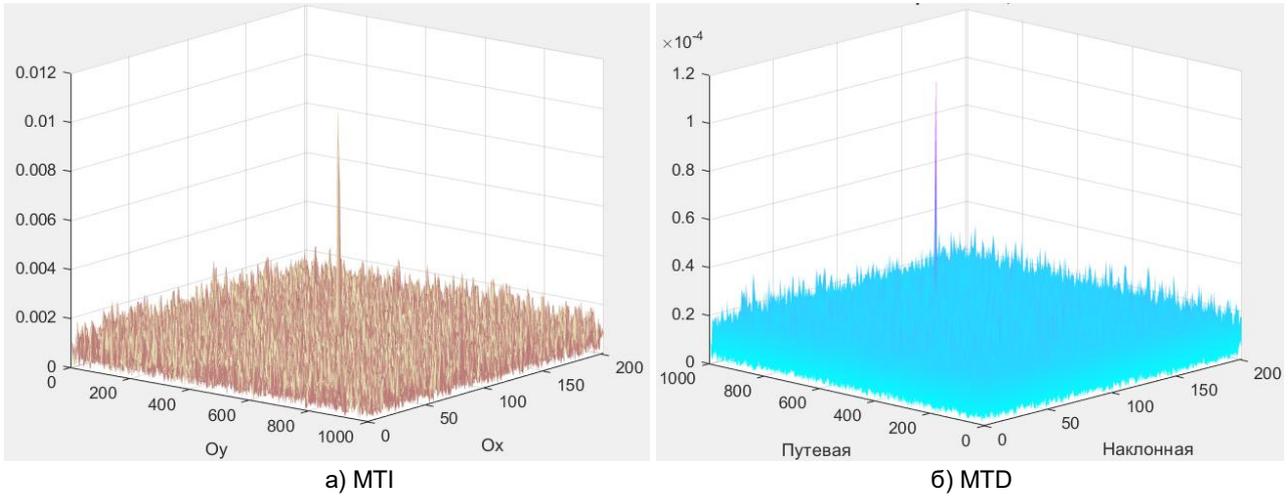


Рисунок 1 – РЛИ неподвижной точечной цели, сформированные алгоритмами МТИ и МТД с фокусировкой на движущуюся цель

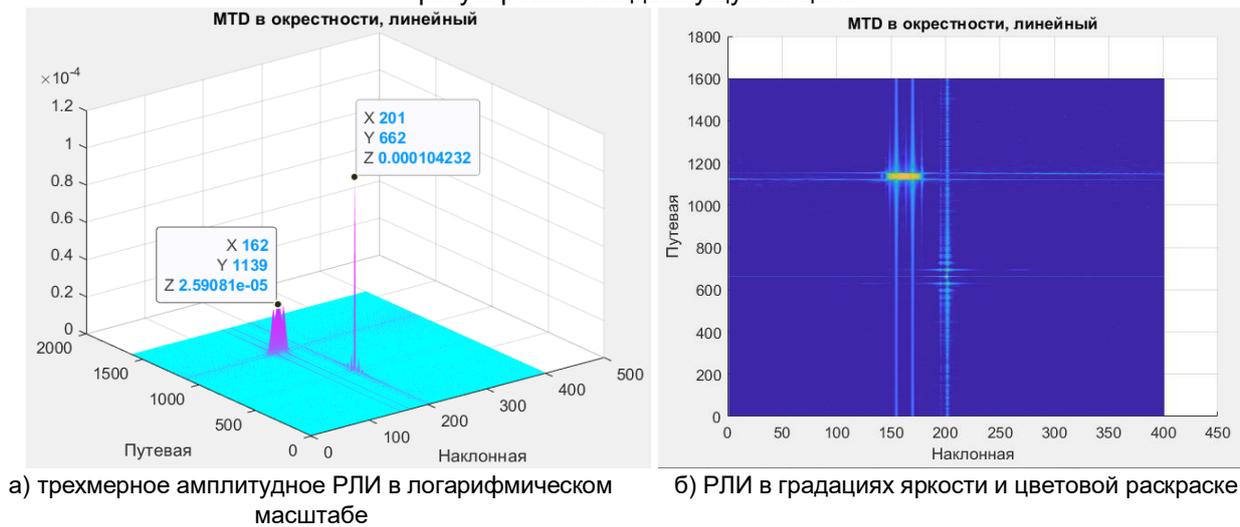


Рисунок 2 – РЛИ неподвижной точечной цели с ЭПР 100 м<sup>2</sup> и движущейся цели с ЭПР 10 м<sup>2</sup> и собственной радиальной скоростью  $V_r=67$  м/с при отсутствии внутренних шумов

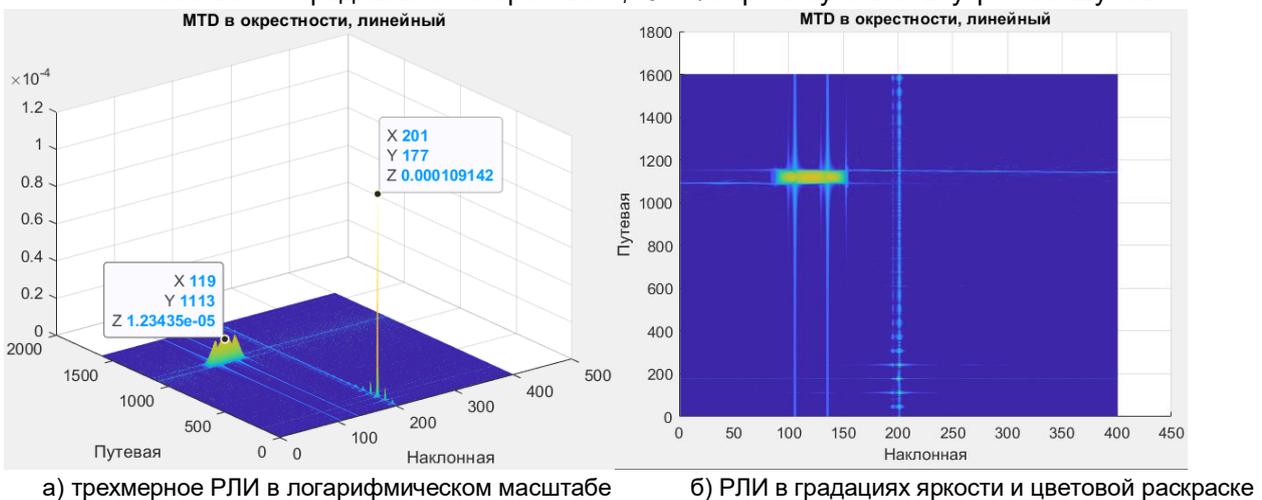


Рисунок 3 – РЛИ неподвижной точечной цели с ЭПР 100 м<sup>2</sup> и движущейся цели с ЭПР 10 м<sup>2</sup> и собственной радиальной скоростью  $V_r=134$  м/с при отсутствии внутренних шумов

При увеличении в два раза радиальной скорости цели (рисунок 3) амплитуда отклика от движущейся цели осталась практически неизменной, то есть когерентное накопление эффективно, но размер отклика от неподвижной цели стал больше в два раза как по наклонной, так и по поперечной дальности, то есть число элементов разрешения увеличилось в 4 раза по сравнению с рисунком 2. Амплитуда отклика уменьшилась в  $\sqrt{4} = 2$  раза, что точно соответствует результатам моделирования.

Число отсчетов, занимаемых откликом по медленному времени, определяется следующими соображениями. Если бы разрешающая способность по дальности была низкой и сигнал в пределах времени  $T_c$  оставался бы в пределах одного элемента разрешения по дальности, то накопление такого отраженного от неподвижного объекта сигнала, осуществляется в диапазоне однозначных доплеровских сдвигов частоты  $[-F_r / 2; F_r / 2]$  когерентно. При высоком разрешении по дальности при компенсации миграции дальности происходит замещение одних элементов разрешения другими. Временя полного замещения, которое можно трактовать как время  $\tau_{3П}$  корреляции флуктуаций сигнала, отраженного от земной поверхности, составляет

$$\tau_{3П} = \frac{\Delta r}{V_r} = \frac{c}{2V_r \Delta f_0}, \quad (1)$$

и при использованных для рисунка 3 условиях,  $\tau_{3П} = 15$  мс. При увеличении радиальной скорости цели время корреляции сигнала, отраженного от земной поверхности, уменьшается.

Таким образом, при обнаружении движущихся воздушных объектов РСА с высоким разрешением по дальности с использованием алгоритмов *MTD* будет наблюдаться декорреляция сигналов от разрешаемых элементов земной поверхности и неподвижных наземных объектов. На амплитудных РЛИ указанная декорреляция проявляется в том, что отклик от единственного неподвижного отражателя будет приближенно иметь форму прямоугольника с одинаковым числом отсчетов по наклонной и поперечной дальности. Время корреляции флуктуаций сигнала от неподвижного отражателя обратно пропорционально его радиальной скорости и ширине спектра зондирующего сигнала РСА.

Для радиолокационной сцены с заданным числом высококонтрастных неподвижных объектов они будут хорошо наблюдаться на амплитудных РЛИ, построенных с использованием стандартных алгоритмов картографирования. При обнаружении движущихся воздушных объектов и высоком разрешении по дальности формируемые алгоритмом *MTD* радиолокационные изображения будут характеризоваться понижением контрастности (усреднением) радиолокационного фона, создаваемого земной поверхностью, неподвижными и медленно движущимися наземными объектами. Это облегчает обнаружение движущихся объектов.

**Отношение сигнал/шум по движущемуся объекту.** Пусть движущийся объект представляет собой точечную радиолокационную цель с ЭПР  $\sigma_{mt}$ . Тогда накопление сигнала от объекта будет когерентным на всем интервале наблюдения, а накопление сигнала от земной поверхности (неподвижного объекта) – когерентным на интервале  $\tau_{3П}$ , определяемом (1). Запишем, с использованием выявленных при тестировании закономерностей, отношение сигнал/земная поверхность при обнаружении точечной цели, в зависимости от времени синтезирования и ширины спектра зондирующего сигнала.

ЭПР земной поверхности в элементе разрешения при интервале когерентного накопления (времени наблюдения)  $\tau_{3П}$  составит

$$\sigma_{3П} = \sigma_{уд} \frac{\Delta r}{\sin \theta} \Delta r_{\perp} = \sigma_{уд} \frac{c}{2\Delta f_0 \sin \theta} \frac{\lambda H}{2V_{pca} \tau_{3П} \cos \theta} = \frac{\sigma_{уд} \lambda H}{\sin 2\theta} \frac{V_r}{V_{pca}}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{уд}$  - удельная ЭПР земной поверхности;  $\theta$  - угол отклонения направления наблюдения от надира;  $H$  - высота орбиты РСА;  $\lambda$  - длина волны;  $V_{pca}$  - орбитальная скорость РСА.

Сигнал, формируемый указанной ЭПР, имеет ширину спектра флуктуаций

$$\Delta f_c = \frac{1}{2\tau_{3П}} = \frac{V_r \Delta f_0}{c}. \quad (3)$$

При полностью когерентном накоплении сигнала от движущегося объекта в течении времени  $T_c$  отношение мощностей сигнала движущего объекта к мощности фона от земной поверхности на выходе когерентного накопителя составит

$$\rho = \frac{\sigma_{mt}}{\sigma_{зп} \frac{\Delta F_{KN}}{\Delta f_c}} = \frac{\sigma_{mt}}{\frac{\sigma_{уд} \lambda H}{\sin 2\theta} \frac{V_r}{V_{pca}} \frac{c}{V_r \Delta f_0 T_c}} = \frac{\sigma_{mt} \sin 2\theta V_{pca} T_c}{2\sigma_{уд} \lambda H \Delta r}, \quad (4)$$

где  $\Delta F_{KN} = 1/T_c$  - ширина зубца амплитудно-частотной характеристики когерентного накопителя.

Как следует из (4), величина  $\rho$  прямо пропорциональна отношению расстояния, пролетаемого РСА за время синтезирования, к разрешающей способности по наклонной дальности. Чем выше разрешающая способность по дальности (меньше  $\Delta r$ ), тем больше отношение сигнал/фон и тем лучше выделяется движущийся объект на формируемом радиолокационном изображении. Об этом же свидетельствуют и результаты моделирования на рисунках 2 и 3.

Для характерного случая  $\sigma_{уд} = 0,01 \text{ м}^2/\text{м}^2$ ;  $\theta = 45^\circ$ ;  $H = 500 \text{ км}$ ;  $\lambda = 3,125 \text{ см}$ ;  $V_{pca} = 7612 \text{ м/с}$ ;  $\sigma_{mt} = 10 \text{ м}^2$  получим  $\rho = 97$ , что вполне достаточно для обнаружения.

**Заключение.** Эффект декорреляции сигналов, отраженных от земной поверхности, в высокоинформативном РСА необходимо учитывать при обосновании параметров обработки сигналов, отраженных от движущихся объектов, и обнаружении таких объектов на формируемых РЛИ.

#### Список использованных источников

1. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / Под ред. В.С. Вербы – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.
2. Арутюнов, А.А. Обнаружение воздушных объектов радиолокаторами с синтезированной апертурой космических систем дистанционного зондирования Земли / А.А. Арутюнов, В.Э. Гуляков, А.Б. Землянов // Морская радиоэлектроника, №1, 2008. – С. 10-12.
3. Perry R.P., Dipietro R.C., Fante R.L. SAP imaging of moving targets // IEEE Transactions AES, 1999, vol. 35, №1. Pp. 188-199.
4. Григас, С.Э., Литовченко Д.Ц., Скорынин А.А. Оценка возможности обнаружения малоконтрастных воздушных целей с использованием космической радиолокации / С.Э. Григас, Д.Ц. Литовченко, А.А. Скорынин // Антенны, №1, 2013. – С. 66-68.
5. Лобжанидзе, Д.Т. Обнаружение воздушных объектов посредством космических РЛС / Д.Т. Лобжанидзе, В.В. Сазонов // Сборник трудов XX международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация и связь RLNC-2014», НПФ «САКВОЕЕ», 15-17 апреля 2014, т. 3. – С. 1459-1463.

UDC 621.396

## DECORRELATION OF A SIGNAL FROM THE EARTH'S SURFACE DURING DETECTION OF MOVING OBJECTS IN A HIGHLY INFORMATIVE SPACE SYNTHETIC APERTURE RADAR

Radionovich V.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics<sup>1</sup>, Minsk, Republic of Belarus

Kozlov S.V. – Doctor of Science in Physics and Mathematics

**Annotation.** It is shown that when moving targets are detected by aircraft or space-based aperture synthesis radars with high resolution in longitudinal and transverse range, the effect of decorrelation of the signal from the earth's surface occurs. Due to the range migration compensation for a moving target, the signal in the range resolution element is sequentially replaced by signals reflected from elements of the earth's surface at different distances, and the correlation time of fluctuations of the signal reflected from the earth's surface decreases proportionally. With a slant range resolution of 1 meter and a moving object radial velocity of 50...200 m/s, the fluctuation correlation time will be 20...5 ms. On the radar image in the "slant-transverse range" coordinates, images of stationary objects with high reflectivity will be observed in the form of rectangles with the same number of pixels along the slant and transverse ranges. The correlation time of signal fluctuations from a stationary reflector is inversely proportional to its radial velocity and the width of the spectrum of the probing SAR signal.

**Keywords.** Aperture synthesis, moving object, range migration, earth's surface, decorrelation, fluctuation spectrum width.

УДК 621.396

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДВИЖУЩИХСЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ В ВЫСОКОИНФОРМАТИВНОМ КОСМИЧЕСКОМ РАДИОЛОКАТОРЕ С СИНТЕЗИРОВАНИЕМ АПЕРТУРЫ

*Радионович В.В., аспирант*

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

*Козлов С.В. – доктор техн. наук*

**Аннотация.** Приведены результаты построения радиолокационных изображений движущихся протяженных по дальности воздушных объектов (ВО) в координатах «наклонная-поперечная дальность» радиолокатором с синтезированием апертуры космического базирования с высоким разрешением по дальности при угловых рысканиях объектов. Показано, что при малых по амплитуде и медленных угловых рысканиях формируемые РЛИ близки к РЛИ неподвижных объектов. При увеличении угловых рысканий РЛИ объекта расплывается только по поперечной дальности. Приведены оценки степени расширения РЛИ по поперечной дальности в зависимости от параметров угловых рысканий. Полученные результаты могут быть использованы для обоснования алгоритмов обнаружения движущихся объектов на радиолокационных изображениях при многоканальной обработке траекторного сигнала радиолокатора с синтезированием апертуры космического базирования.

**Ключевые слова.** Синтезирование апертуры, движущийся воздушный объект, миграция дальности, угловые рыскания, радиолокационное изображение.

**Постановка задачи.** Для обнаружения движущихся воздушных объектов (самолетов, вертолетов, беспилотных летательных аппаратов) в настоящее время могут быть использованы радиолокаторы с синтезированием апертуры (РСА) авиационного и космического базирования [1,2]. Один из вариантов способа обработки принимаемого сигнала при обнаружении ВО приведен в [2].

Для ВО наряду с поступательным движением центра масс объекта характерны также угловые рыскания по курсу, крену и тангажу. При наблюдении движущегося ВО фокусировка системы обработки выполняется в соответствии с предполагаемыми значениями радиальной скорости, ускорения и, в некоторых случаях, производной радиального ускорения между РСА и центром масс объекта. Для пространственно-протяженного ВО из-за угловых рысканий указанные параметры движения блестящих точек объекта будут отличаться от опорных параметров системы обработки. Это будет приводить к смещению откликов по поперечной дальности на формируемых радиолокационных изображениях (РЛИ) объектов, которое будет различными для разных интервалов радиолокационного наблюдения, то есть будет приводить к изменчивости формируемых радиолокационных изображений.

Для обнаружения на РЛИ объекта  $k$ -го типа при ракурсе наблюдения  $\alpha$  может быть использован способ некогерентного накопления, предусматривающий суммирование квадратов модулей отсчетов комплексных РЛИ с заданными весами, определяемыми относительными ЭПР элементов разрешения объекта для заданного ракурса наблюдения, с последующим сравнением результата некогерентного накопления с порогом [3]. Для уменьшения вычислительных затрат от перебора всех возможных ракурсов и от весового суммирования отказываются, осуществляя некогерентное накопление в заданной области радиолокационного изображения, размер которой для неподвижных и медленно движущихся наземных объектов определяется их размерами по продольной и поперечной дальности и соответствующим разрешениями РСА. Для ВО размер по поперечной дальности наряду с размерами объекта будет также определяться угловыми рысканиями.

Цель работы – исследование изменчивости РЛИ воздушных объектов в зависимости от параметров угловых рысканий.

**Способы построения РЛИ и исходные данные для моделирования.** Для выявления основных закономерностей использовалась компьютерная модель высокоинформативного РСА, реализованная в пакете прикладных программ MATLAB. Краткое описание модели приведено в [4]. Обработка сигнала предусматривала построение РЛИ объекта на фоне земной поверхности с учетом внутренних шумов приемника РСА для заданного числа каналов по начальной радиальной скорости и радиальному ускорению с компенсацией миграции дальности и частоты сигнала, отраженного от центра масс ВО.

При исследованиях использовалась модель среднеразмержного самолета (длина 25 м, размах крыла 20 м) в виде совокупности блестящих точек (БТ) на жестком каркасе. Визуализация модели приведена на рисунке 1.

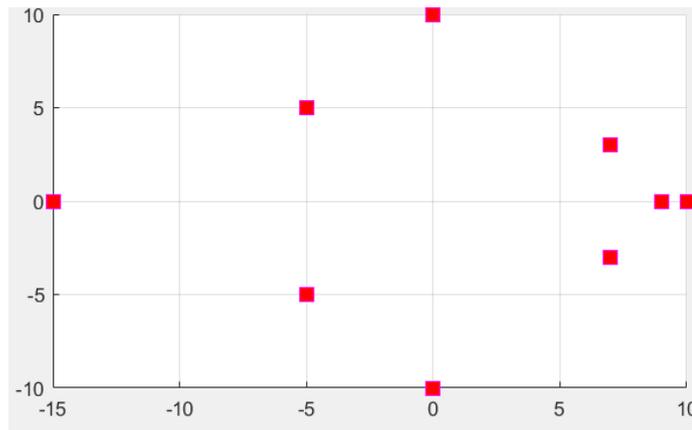


Рисунок 1 – Расположение БТ объекта на жестком каркасе

Модель включает 9 БТ с одинаковой ЭПР  $5 \text{ м}^2$ . Все БТ совершают колебания относительно центра масс по курсу, крену и тангажу. Угловые рыскания по каждой координате независимые со случайными начальными фазами и определяются амплитудами  $A_{oz}, A_{ox}, A_{oy}$  и периодами  $T_{oz}, T_{ox}, T_{oy}$  угловых колебаний по курсу, крену и тангажу.

На рисунке 2 приведены результаты построения РЛИ с компенсацией миграции дальности и частоты при неподвижном (например, на стоянке) самолете и его полете перпендикулярно линии пути в сторону РСА ( $V_x = -50 \text{ м/с}$ ) в гипотетическом случае отсутствия угловых рысканий. Ширина спектра сигнала составляла 150 МГц. При построении РЛИ использовалось окно типа «косинус без пьедестала», что обеспечивает разрешение по наклонной дальности около 1,5 м и по поперечной дальности около 6 м. Для выявления особенностей РЛИ внутренние шумы полагались равными нулю.

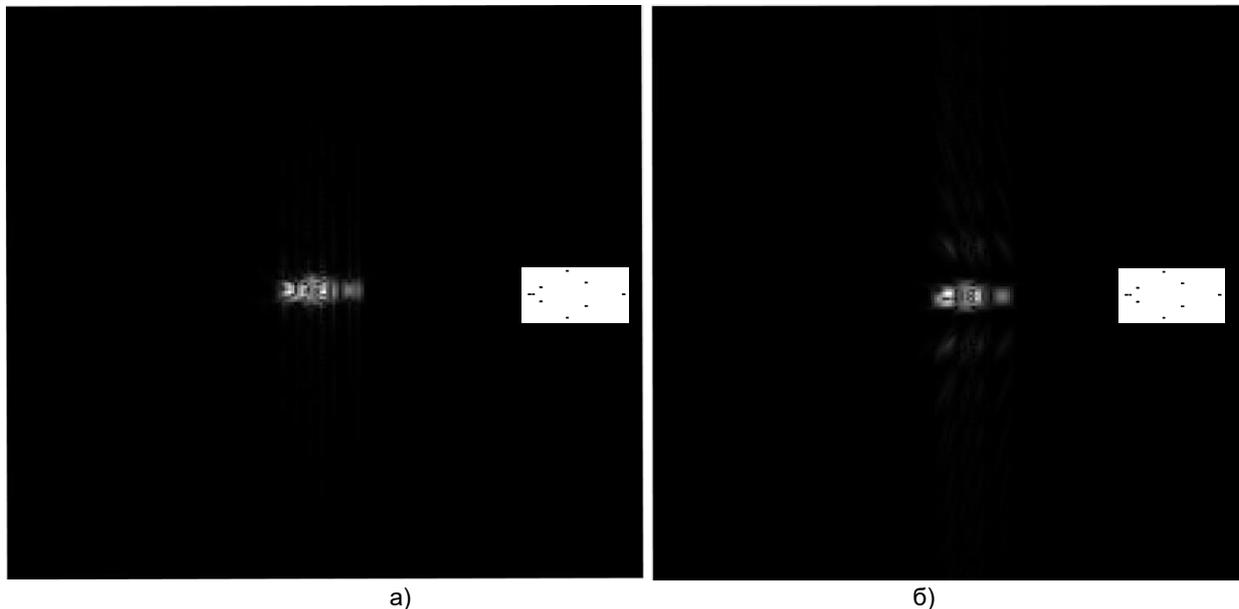


Рисунок 2 – РЛИ неподвижного ВО (а) и ВО с собственной радиальной скоростью 50 м/с (б) при отсутствии внутренних шумов и угловых рысканий

Смоделированные РЛИ являются детальными (для сравнения в белом поле справа на этом и последующих рисунках показана схема расположения БТ объекта): можно примерно измерить протяженность объекта по обеим координатам, однако отдельные БТ явным образом не выделяются. Движение объекта незначительно сказывается на качестве изображения и положении ярких пискелей.

Ситуация изменяется, когда объект испытывает угловые рыскания. РЛИ при  $A_{oz} = A_{ox} = A_{oy} = 2^\circ$  для этого случая приведены на рисунке 3 (период рысканий по всем координатам 5 с) и рисунке 4 (период рысканий 2 с, 4 реализации).

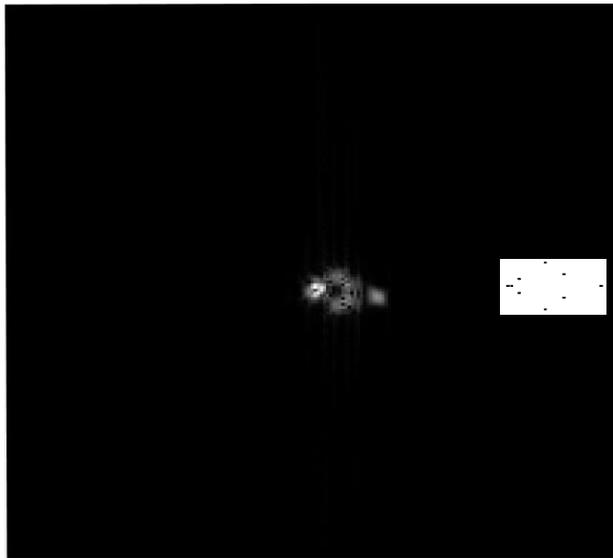


Рисунок 3 – РЛИ ВО с собственной радиальной скоростью 50 м/с при периоде угловых рысканий 5 с

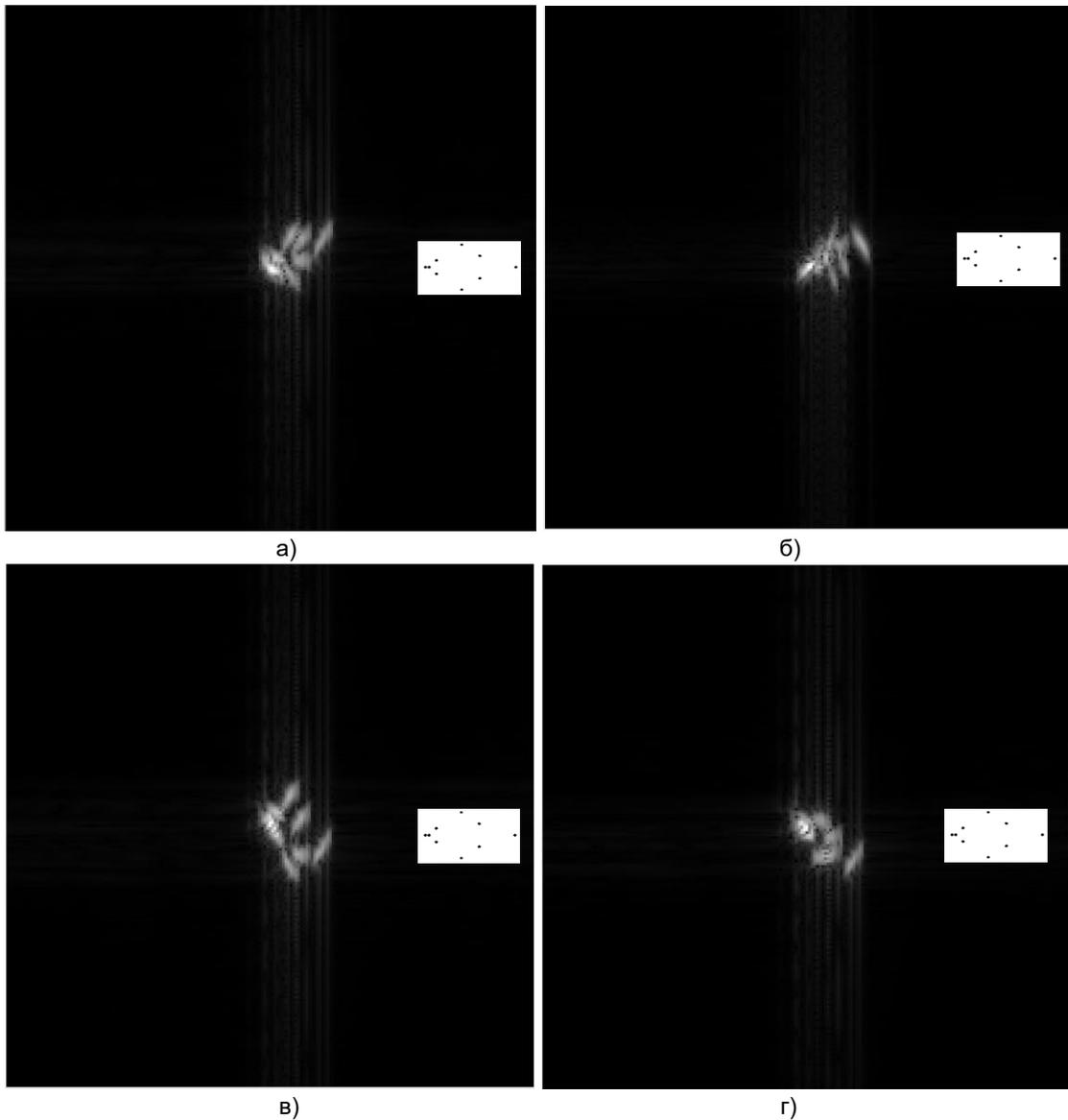


Рисунок 4 – РЛИ ВО с собственной радиальной скоростью 50 м/с при периоде угловых рысканий 2 с в четырех (а-г) реализациях

Как видно из результатов моделирования, РЛИ объекта характеризуются сильной изменчивостью. Уже при относительно «медленных» рысканиях с периодом 5 с отклик расплывается

по поперечной дальности примерно в 1,5 раза по отношению к РЛИ объекта без угловых рысканий. При увеличении скорости рысканий отклик объекта существенно выходит за границы объекта по поперечной дальности, число элементов разрешения, занимаемых откликом, увеличивается, а амплитуда отсчетов уменьшается. РЛИ объекта от одной реализации к другой изменяются весьма причудливым образом: носовая и хвостовая часть РЛИ самолета могут перемещаться на десятки пикселей по поперечной дальности, а видимый размер объекта. По продольной дальности границы положения объекта не изменяются.

При воспроизведении реального уровня внутренних шумов на РЛИ будут выделяться только отдельные отсчеты. Указанная ситуация приведена на рисунке 5 для тех же исходных данных (но других реализациях), что и на рисунке 4. Суммарное (по всем блестящим точкам) отношение сигнал/шум при моделировании задавалось равным 20 дБ.

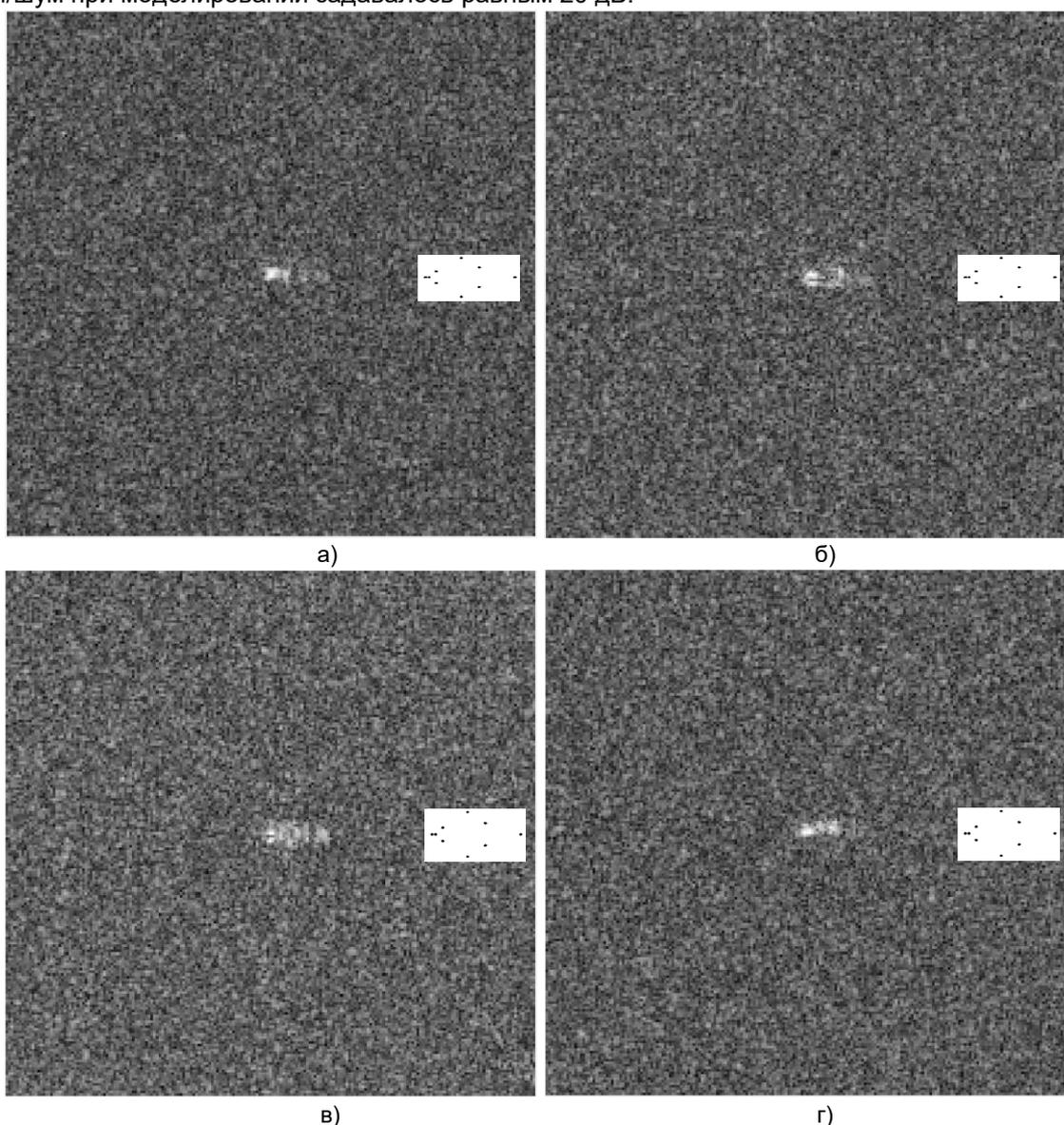


Рисунок 5 – РЛИ ВО при наличии внутренних шумов и периоде угловых рысканий 2 с в четырех реализациях

При этом под «яркими» понимаются не только блестящие точки с большим значением ЭПР, но и отдельные БТ или их совокупности, для которых в рассматриваемой реализации угловых рысканий достигнуто наилучшее совпадение с законом изменения частоты (фазы), то есть эффективность когерентного накопления.

**Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют о высокой изменчивости РЛИ воздушных объектов, формируемых высокоинформативным РСА, проявляющиеся случайных смещения откликов сигналов отдельных блестящих точек объекта и их совокупностей по поперечной дальности и соответствующем «расплывании» отклика только по поперечной дальности. Это

необходимо учитывать при обосновании статистического алгоритма обнаружения объекта на сформированном РЛИ. Кроме того, представляет интерес обоснования параметров сверточных нейронных сетей и их обучение для решения задач обнаружения ВО на РЛИ с учетом их изменчивости.

**Список использованных источников**

1. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / Под ред. В.С. Вербы – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.
2. Лобжанидзе, Д.Т. Обнаружение воздушных объектов посредством космических РЛС / Д.Т. Лобжанидзе, В.В. Сазонов // Сборник трудов XX международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация и связь RLNC-2014», НПФ «САКВОЕЕ», 15-17 апреля 2014, т. 3. – С. 1459-1463.
3. Купряшкин И. Ф. Космическая радиолокационная съемка земной поверхности в условиях помех / И. Ф. Купряшкин, В. П. Лихачев. – Воронеж : Научная книга, 2014. – 460 с.
4. Радионович, В.В. Декорреляция сигнала от земной поверхности при обнаружении движущихся объектов в высокоинформативном радиолокаторе с синтезированием апертуры. В настоящем сборнике.

UDC 621.396

## VARIABILITY OF RADAR IMAGES OF MOVING AERIAL OBJECTS IN A HIGHLY INFORMATIVE SPACE SYNTHETIC APERTURE RADAR

*Radionovich V.V.*

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

*Kozlov S.V. – Doctor of Science in Physics and Mathematics*

**Annotation.** The results of constructing radar images of moving long-range airborne objects in the "slant-transverse range" coordinates by a space-based aperture synthesizing radar with high range resolution in the angular yaw of objects are presented. It is shown that for small amplitude and slow yaws, the formed radar images are close to the radar images of stationary objects. With an increase in yaw, the radar image of the object blurs only in the transverse range. Estimates of the degree of radar image expansion in terms of transverse range are given depending on the parameters of yaw. The obtained results can be used to substantiate algorithms for detecting moving objects in radar images during multichannel processing of a radar trajectory signal with space-based aperture synthesis.

**Keywords.** Aperture synthesis, moving air object, range migration, yaw, radar image.

## **ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СХЕМ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

*Радкевич А.С.*

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

*Славинская О.В. – канд. пед. наук, доцент*

Работа посвящена вопросам эффективности практического применения веб-приложения для моделирования схем баз данных для специальности 2-40 01 01 «Программное обеспечение информационных технологий», реализуемой в настоящее время в системе среднего специального образования.

В современном мире базы данных являются важным элементом любой системы, которая обрабатывает большое количество данных. Существует огромное множество различных баз данных, которые используются в различных отраслях, таких как финансы, медицина, транспорт и другие.

Большие информационные системы подразумевают содержание большого количества информации. Контроль управления большим количеством данных невозможен без использования баз данных и подключения систем управления базами данных.

«База данных представляет собой совокупность специальным образом организованных данных, которые хранятся в памяти вычислительной системы и отображают состояние объектов и их взаимосвязи в рассматриваемой предметной области [1]». Для создания эффективной базы данных необходимо провести анализ данных, которые будут храниться в ней, и определить структуру базы данных, которая наиболее удовлетворяет требованиям.

Одним из способов определения структуры базы данных является использование схем баз данных. «Схема базы данных – это графическое представление структуры базы данных, которое позволяет легко понять, какие таблицы существуют в базе данных, как они связаны между собой и какие поля в таблицах используются для хранения данных [1]».

Создание схем баз данных может быть сложной и трудоемкой задачей. Для решения этого вопроса существуют приложения для моделирования схем баз данных, которые являются полезным инструментом для упрощения этого процесса.

В рамках выполняемого в этом учебном году дипломного проекта нами разработано веб-приложение для моделирования схем баз данных для специальности «Программное обеспечение информационных технологий», которое как раз и является таким инструментом.

Данный инструмент подходит как для учащихся, так и для преподавателей. Благодаря упрощенному и интуитивно понятному интерфейсу у обучающихся не возникнет проблем с созданием различных схем баз данных любого уровня. Для преподавательского состава полезно тем, что это веб-приложение, что исключает необходимость установки программного средства на большое количество компьютеров, а также не нужно использовать сторонние программы, где может быть ограниченный функционал или наличие платной версии. Так же разработанное программное средство включает в себя теоретический раздел, содержащий помимо теории, наглядные примеры практических действий и обучающие видеоролики.

Согласно требованиям заказчика программного продукта – Филиала «Мирский радиотехнический колледж» БГУИР, продукт удовлетворяет следующим требованиям:

- простой и лаконичный дизайн;
- минималистичный и интуитивно понятный интерфейс;
- возможность моделирования всех этапов проектирования баз данных;
- наличие персонального аккаунта;
- наличие возможности сохранения проектов в базу данных аккаунта;
- наличие возможности редактирования и форматирования схем баз данных;
- всплывающие подсказки;
- направленность на проектирование схем баз данных;
- простота в использовании.

Изучение и анализ существующих аналогов при разработке программного обеспечения имеет большое значение, так как это позволяет выявить преимущества и недостатки конкурентных продуктов, определить потенциальные проблемы, узнать потребности целевой аудитории и улучшить функциональность нового продукта. Этот этап является важной частью процесса разработки программного обеспечения, который позволяет создать более качественный и конкурентоспособный продукт.

Из большого выбора существующих аналогов, разработанного программного средства для сравнения и анализа были выбраны следующие аналоги: бес-платное кроссплатформенное

программное обеспечение для рисования графиков Draw.io [2], расширенная среда разработки IBM Rational Rose XDE [3] и инструмент для визуального проектирования баз данных MySQL Workbench [4].

Обзор и анализ существующих аналогов показал, что разработанное программное средство не только не уступает по основным характеристикам существующим аналогам, но и имеет преимущества, такие как простой дизайн, минималистичный и интуитивно понятный интерфейс и другие.

В эпоху цифровой трансформации образования практически все учреждения образования имеют в своем арсенале различные электронные учебники, электронные учебно-методические комплексы и электронно-образовательные ресурсы. Их достоинства и необходимость в них очевидна, они предоставляют студентам доступ к учебно-методическим материалам в любое время. А преподавательскому составу учреждения образования они дают возможность контроля деятельности и знаний студентов в любое доступное время, да и чаще всего – уже в виде конкретных оценок и разнообразных вариантов подробной статистики, что значительно уменьшает время, затрачиваемое педагогом на оценку и анализ. [5]

Но ни электронный учебно-методический комплекс, ни электронно-образовательный ресурс не могут предоставить студентам практическую возможность для создания схем баз данных на различных уровнях. Именно это – основная функция представляемого программного средства, которое в рамках приобретения обучающимися практических умений выступает для них своеобразным тренажером.

Практическая составляющая образовательного процесса крайне важна, так как она дает возможность применения знаний и умений обучающимися в действии для достижения высоких результатов, запланированных компетенций. [6]

Представляемое программное средство осуществляет следующие функции:

- авторизация пользователей;
- предоставление инструментов для моделирования схем баз данных на концептуальном уровне;
- предоставление инструментов для моделирования схем баз данных на логическом уровне;
- предоставление инструментов для моделирования схем баз данных на физическом уровне;
- автоматическое сохранение любых изменений проекта в базе данных;
- предоставление обучающих материалов для проектирования баз данных;
- экспорт модели в формате изображения;
- печать модели из веб-приложения.

На основании технических требований для разработки программного продукта были выбраны такие языки программирования и технологии, как язык гипертекстовой разметки HTML, каскадные таблицы стилей CSS, метаязык на основе CSS SCSS, мультипарадигменный язык программирования JavaScript, JavaScript-фреймворк VUE.js, редактор исходного кода Visual Studio Code, язык структурированных запросов SQL и система управления базами данных phpMyAdmin. Все эти средства разработки выбраны не случайно, благодаря им использованы самые современные технологии проектирования.

Представленное программное средство позволяет моделировать схемы базы данных на всех уровнях проектирования и может использоваться не только обучающимися по специальности 2-40 01 01 «Программное обеспечение информационных технологий» (по новому ОКРБ 011-2022 [7] – 5-04-0612-02 «Разработка и сопровождение программного обеспечения информационных систем») на уровне среднего специального образования, но и учащимися и студентами других специальностей в рамках изучения дисциплины «Базы данных и системы управления базами данных».

**Список использованных источников:**

1. Базы данных и системы управления базами данных : учеб, пособие / Е. А. Лазичкас, И. Н. Загумённикова, П. Г. Гилевский. – Минск : РИПО, 2016. – 268 с.
2. Официальный сайт Draw.io [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://app.diagrams.net/>.
3. Официальный сайт IBM Rational Rose XDE [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.ibm.com/support/pages/ibm-rational-rose-enterprise-7004-ifix001>.
4. Официальный сайт MySQL Workbench [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.mysql.com/products/workbench/>.
5. Демидко, В. В. Современная образовательная среда: эволюционный процесс или историческая реконструкция / В. В. Демидко, О. В. Славинская // Актуальные вопросы научно-методической и учебно-организационной работы: сочетание классических подходов и инновационных организационно-образовательных моделей и технологий [Электронный ресурс]: материалы Республиканской научно-методической конференции, Гомель, 12-13 марта 2020 года / Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины; редкол.: И. В. Семченко [и др.]. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2020. – Режим доступа : <http://conference.gsu.by/ru/node/172>.
6. Славинская, О. В. Цифровые технологии и решения для подготовки современного радиоинженера / Славинская, О. В. // Информационные радиосистемы и радиотехнологии 2020 : материалы Республиканской научно-практической конференции, Минск, 28-29 октября 2020 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск : БГУИР, 2020. – С. 253-256.
7. Общегосударственный классификатор Республики Беларусь ОКРБ 011-2022 «Специальности и квалификации»: [утв. постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 24.03.2022 № 54 // Сайт Учреждения образования «Республиканский институт профессионального образования» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://ripo.by/assets/ripo\\_new/files\\_2022/9/%D0%BD%D0%BF%D0%B0%D0%9E%D0%9A%D0%A0%D0%91%20011-2022%20%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%84%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%20%D0%9C%D0%9E%D0%A0%D0%91%2054%20%D0%BE%D1%82%2024\\_03\\_2022\).pdf](https://ripo.by/assets/ripo_new/files_2022/9/%D0%BD%D0%BF%D0%B0%D0%9E%D0%9A%D0%A0%D0%91%20011-2022%20%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%84%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%20%D0%9C%D0%9E%D0%A0%D0%91%2054%20%D0%BE%D1%82%2024_03_2022).pdf).

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИДЕОМАТЕРИАЛОВ В ОБУЧЕНИИ

*Радкевич К.А., студент гр.244691*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники<sup>1</sup>*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*Парафиянович Т.А. – доцент кафедры ИРТ, канд. пед. наук, доцент*

**Аннотация.** Видеоматериалы являются эффективным средством обучения, которое можно использовать в различных методах обучения, таких как лекции, дистанционное обучение и мультимедийные презентации, повышающим продуктивность образовательного процесса. Проведено исследование по выявлению практической значимости использования видеоматериалов в обучении, разработана анкета, проведен анонимный опрос, представлен сравнительный анализ результатов исследования, сделаны выводы.

**Ключевые слова.** Оптимизация образовательного процесса, видеоматериалы, дистанционное обучение, визуализация, усвоение учебного материала, повышение продуктивности обучения, формирование знаний.

Ни что не стоит на месте, включая образование. Образование развивается и меняется, на смену традиционным методам и средствам обучения, приходят современные.

Одним их современных средств обучения являются видеоматериалы, которые широко используются для представления учебной информации и оптимизации образовательного процесса. «Видеоматериалы – это аудиовизуальные средства обучения, использование которых основано на зрительно-слуховом восприятии информации» [1]. Только правильно подобранные видеоматериалы и тщательно продуманные задания к ним способствуют продуктивному просмотру и обучению с помощью видеоматериалов. Аудиовизуальные средства обучения могут подкреплять слова в устной речи конкретными изображениями и тем самым обеспечивать богатыми образами, более легкими для восприятия, которые являются основой обучения и могут побуждать к обсуждению какого-либо материала [1]. Их взаимосвязанное использование способствует повышению эффективности обучения.

Примерами обучающего видеоматериала являются видеолекция, видеоролик, вебинар, обучающий курс или любой другой видеофайл, который помогает студентам учиться новым концепциям или навыкам

Обучающий видеоролик – это современная, эффективная форма представления учебного материала, которая незаменима в условиях электронного обучения [2]. Особенностью видеоролика является то, что это короткий видеофайл, содержащий краткую информацию о конкретной теме или концепции, который может быть использован в качестве части более крупного обучающего материала или как отдельный материал для быстрого обучения.

Видеоролики могут использоваться во многих методах обучения. Например, они могут быть включены в лекции как визуальные иллюстрации или примеры, показывающие, как применять концепции в реальной жизни. Также видеоролики могут использоваться в интерактивных лекциях, где студенты могут просматривать видео и задавать вопросы преподавателю.

Одним из наиболее распространенных методов, где используются видеоролики, является дистанционное обучение. В этом методе студенты могут просматривать видеуроки, которые предоставляются в онлайн формате, где они могут изучать материал в удобном для себя темпе, получая доступ к информации в любое время и из любого места.

Видеоролики также могут использоваться в мультимедийных презентациях, где они могут помочь объяснить и раскрыть вопросы, проблемы изучаемой или исследуемой области, визуализировать и продемонстрировать этапы протекания научных явлений.

Таким образом, видеоролики служат эффективным средством изложения материала, способствующим качественному усвоению и формированию знаний.

Использование видеороликов в образовательном процессе дает значительные преимущества, а именно:

- увеличивают заинтересованность студентов и создают эмоциональное впечатление, что способствует улучшению запоминания материала;
- способствуют повышению интереса и мотивации учащихся, помогают вовлечь их в образовательный процесс;
- приводят к увеличению лексического запаса, помогает при объяснении каких-то понятий, что, в свою очередь, приводит к успешному обучению;
- обеспечивают лучшее понимание и восприятие материала, так как усваиваемый материал, может быть, не понят учащимися при отсутствии наглядного изображения;
- способствуют продуктивному обучению;
- делают процесс обучения непрерывным;
- способствуют непрерывной мыслительной деятельности в процессе обучения;
- помогают создать благоприятную атмосферу во время занятия, благодаря чему студенты могут свободно обсуждать различные темы друг с другом при просмотре видеороликов;

– существует множество разнообразных форматов видеоматериалов, которые могут использоваться в обучении, что позволяет преподавателям выбирать наиболее подходящий формат для конкретного учебного материала;

– позволяют хранить видео в цифровом формате и предоставлять доступ к ним из любой точки мира;

– можно пересмотреть видеоматериалы несколько раз, что дает возможность студентам лучше запомнить учебный материал;

– визуализируют материал, то есть возможность представить наглядно те явления и процессы, которые невозможно продемонстрировать иными способами [1].

Применение видеороликов в образовательном процессе становится все более популярным и эффективным методом передачи знаний и навыков. Существует большое количество видеороликов, например, видео-лекции, документальные фильмы, обучающие видеоуроки, интервью и так далее. Данное разнообразие позволяют использовать их в различных методах обучения, таких как все возможные виды лекций, дистанционное обучение, мультимедийные презентации и другое [3].

Использование видеороликов в обучении дает возможность доступной и понятной визуализации материала, способствующей быстрому пониманию и эффективному усвоению полученной информации. Видеоматериалы также позволяют демонстрировать реальные примеры и практические навыки, что может помочь студентам лучше усвоить изучаемый материал. Кроме того, использование видеороликов может сэкономить время и усилия преподавателей, создавая качественные видеоуроки, студенты могут просматривать их в удобное для себя время, повторяя уже пройденный материал.

Таким образом, использование видеоуроков очень полезно для учебных занятий, поскольку оно может повысить качество обучения, делая акцент на визуализации и закреплении материала, улучшить результаты студентов.

В рамках исследования был проведен эксперимент. Целью данного исследования была демонстрация положительного эффекта при использовании обучающих видеоматериалов в образовательном процессе, а задачей – внедрение обучающего видеоматериала в образовательный процесс. В течении нескольких лекционных занятий студентам представлялся учебный материал с использованием мультимедийной презентацией, включающей в себя небольшие видеоролики по ключевым моментам лекции. По окончании эксперимента, участники прошли опрос, с результатами которого можно ознакомиться на рисунке 1.

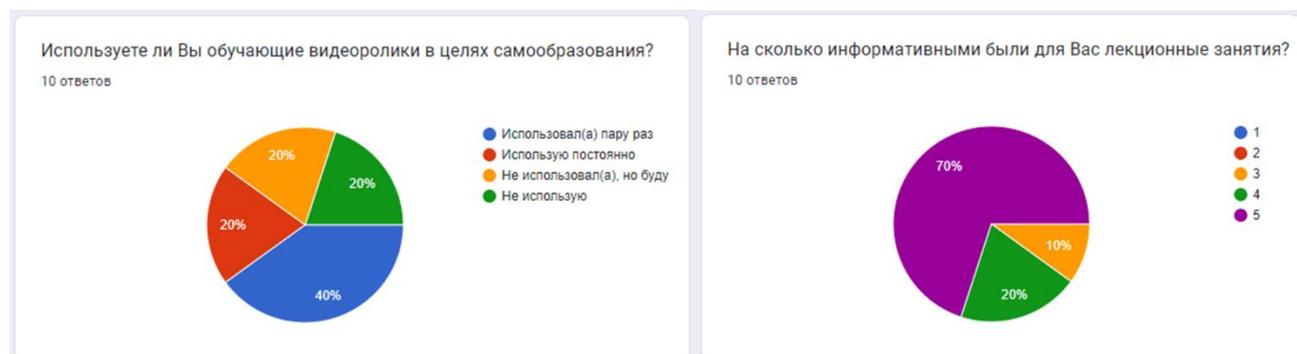


Рисунок 1 – Результаты опроса респондентов

Результаты опроса были представлены в графическом виде и свидетельствуют о том, что большинству респондентов 100% данный формат проведения презентации отдельного вопроса темы понравился, студенты положительно отнеслись 100% к использованию небольших обучающих видео, содержащих важные моменты изучаемого материала. Однако в целях самообразования только 20% обучающихся постоянно используют видеоматериалы, 40% респондентов использовали видеоматериалы несколько раз, 40% респондентов ранее не использовали подобный формат проведения презентаций, но 50% из которых будет использовать его в будущем. Интерес, к представленной, в презентации проблеме с использованием видеоматериала, был вызван у 80% респондентов. Степень информативности материала оценена респондентами в максимальное количество баллов – 5 баллов была у 70%, на 4 балла - у 20% и на 3 балла - у 10%. На вопрос о том, что больше всего понравилось в проведенных лекционных занятиях с использованием видеоматериала 70% респондентов единогласно ответили «подача материала с помощью видео», оставшиеся 30% воздержались от ответа. На вопрос об общей оценке всего проведенного занятия 80% респондентов поставили наивысший балл равный 10, 10% поставили 9 баллов, и другие 10% поставили 6 баллов. Подводя итог исследования, можно сказать, что 70% респондентов оценили использование обучающих видеоматериалов как благоприятно сказывающееся на усвоении изучаемой темы, формировании знаний у обучающихся и 80% отметили повышение интереса к образовательному процессу в целом и оптимизацию процесса обучения.

*Список использованных источников:*

1. Бегунова, Я.А. Видеоматериалы как средство обучения иностранным языкам / Я.А. Бегунова // Педагогика. Психология. Социокинетика, 2018 № 2, С.187-190.
2. Учебные видеоматериалы: понятие и типология [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nitforyou.com/tipologiauchvideo>
3. Кириллова А.И. Интерактивные методы обучения // Психология, социология и педагогика. 2014. № 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://psychology.snauka.ru/2014/04/2941>

## АВТОНОМНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ЧАСЫ, КОРРЕКТИРУЕМЫЕ РАДИОСИГНАЛАМИ ТОЧНОГО ВРЕМЕНИ

*Рожко А.П.*

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

*Рыбаков С.А. – ст. преподаватель каф. ИРТ*

Аннотация. Приводится описание автономных электронных часов, а также их функциональное назначение.

Автономные электронные часы — часы, в которых для отсчёта времени используются периодические колебания электронного генератора, преобразованные в дискретные сигналы, повторяющиеся через секунды, минуты, часы и так далее. Сигналы выводятся на цифровое табло, показывающее текущее время, а в некоторых моделях также число, месяц, год, день недели.

Существует 2 режима работы: основной режим и режим календаря.

Автономные электронные часы могут работать самостоятельно вне системы точного времени. Им не требуется синхронизация с часовыми станциями. Автомат программируется на каждый день недели, можно установить длительность звонков, их количество и индивидуально задать в настройках время подачи звонков на все дни недели. Все запрограммированные данные хранятся в энергонезависимой памяти устройства.

Для автоматической коммутации электроцепей используется реле времени. Оно программируется на определенный цикл по индивидуальной программе. Реле можно запрограммировать на год по времени, дням недели, диапазону дат.

Основа электронных часов — кварцевый генератор стабилизированных электрических колебаний, с микросхемой, предназначенной для вычисления времени и вывода сигналов на цифровой дисплей. Часы с питанием от сети переменного тока могут не иметь собственного генератора и использовать частоту сети. Внешний вид таких часов приведён на рисунке 1.



Рисунок 1 – автономные электронные часы

Электронные часы по функциональному назначению относятся к устройствам измерения интервалов времени. Одним из наиболее распространенных методов измерения интервалов времени является метод преобразования в цифровой код. Измеряемый интервал времени сравнивают с образцовым дискретным интервалом, воспроизводящим единицу времени. Это достигается заполнением измеряемого интервала импульсами с известным калиброванным периодом следования, т.е. преобразованием интервала в пропорциональное ему число импульсов, которое подсчитывается электронным счетчиком. Схема преобразования изображена на рисунке 2.

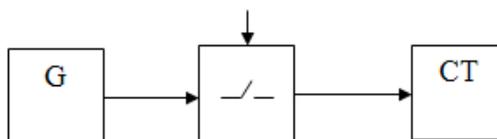


Рисунок 2 – схема преобразования в цифровой код

Генератор счетных импульсов вырабатывает импульсы с периодом повторения (1) с, которые через временной селектор подаются на счетчик импульсов. Число импульсов за заданный интервал соответствует значению времени в секундах. При построении электронных часов временной селектор

отсутствует, а счетчик импульсов представляет собой последовательно соединенные счетчик секунд (при необходимости), счетчик минут и счетчик часов. Соответственно устройство цифрового отсчета содержит индикаторы секунд, минут и часов.

Структурная схема электронных часов изображена на рисунке 3 и содержит блок управления (2); генератор секунд импульсов (3); счётчики минут (4) и часов (6); индикаторы минут (5) и часов (7); блок клавиатуры (1). Генератор (3) вырабатывает импульсы с частотой следования 1 Гц, которые последовательно поступают на счётчики 4 и 6 с коэффициентами деления соответственно 60 и 24. Индикация текущего состояния счётчиков 4 и 6 осуществляется соответственно индикаторами 5 и 7.

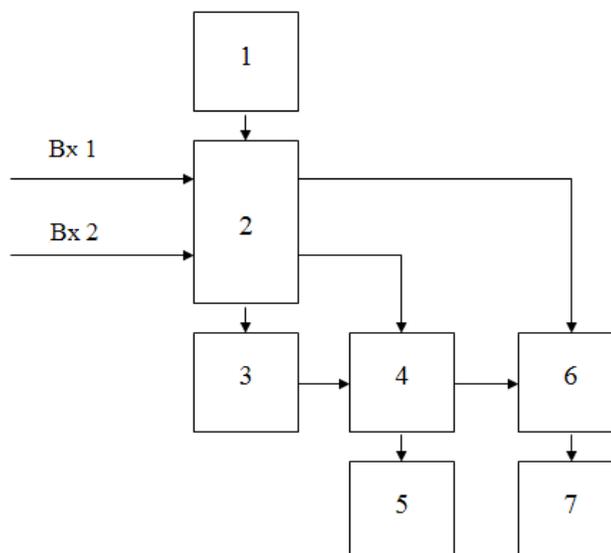


Рисунок 3 — структурная схема электронных часов

Таким образом, блок управления осуществляет обнуление счетчиков 4 и 6 по сигналу смены часа, приходящего с БВО, либо по оперативной команде с клавиатуры 1, а также коррекцию состояний счётчиков 5 и 7 по командам с клавиатуры, то есть коррекцию показаний электронных часов. При приходе с БВО сигнала смены часа происходит обнуление счётчика часов 6 и последующая запись значения текущего часа, выделенного из сигнала точного времени (СТВ) в БВО.

**Список использованных источников:**

1. Кварцевые электронные часы / Царёв В.П., Сидин И.В. // Учебное издание. – Москва, 1990. – С. 240.
2. Точные радиочасы с календарём [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://схем.net/house/1-505.php>. Дата доступа: 13.04.2023.
3. Часы для автоматического управления устройствами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lib.qrz.ru/node/4896>. Дата доступа: 13.04.2023.

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СПЕКТРА ЧМ-СИГНАЛА НА ВЫХОДЕ ТРАКТОВ ПРОХОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ОГРАНИЧИТЕЛЕМ-КОРРЕКТОРОМ

Ромаш А.А., адъюнкт

Военная академия Республики Беларусь  
г. Минск, Республика Беларусь

Пилюшко А.А. – канд. техн. наук

В докладе представлены математические модели для определения амплитуд спектральных составляющих ЧМ-сигнала, полученные на основе универсального метода определения нелинейных искажений и помех на выходе трактов прохождения электрических сигналов со сложными мгновенными динамическими характеристиками.

Обзор современной научной и технической литературы показывает, что проблема борьбы с продуктами нелинейного происхождения в современных беспроводных системах (радио, радиорелейных, тропосферных и спутниковых) по-прежнему актуальна. Учитывая, что на вход приемного устройства одновременно воздействуют несколько сигналов (как полезные, так и паразитные, каждый из которых при этом может быть модулирован), на выходе устройства кроме полезного сигнала возникает большое количество различных спектральных составляющих (продуктов нелинейного происхождения). Известные способы определения продуктов нелинейного происхождения и методы борьбы с ними неидеальны (им присущи недостатки и описаны только АМ-сигналы ввиду их простоты) [1-4].

В докладе представлена математическая модель спектра ЧМ-сигнала на выходе трактов прохождения электрических сигналов (ТПС) с кусочно-линейным ограничителем-корректором (О-К). Она получена на основе универсального метода определения нелинейных искажений и помех на выходе ТПС со сложными (кусочно-линейными и кусочно-нелинейными) мгновенными динамическими характеристиками (МДХ) при полигармоническом и/или модулированном входном воздействии [4].

Разработанная математическая модель спектра ЧМ-сигнала на выходе ТПС с О-К позволяет найти любые (в данном классе) составляющие спектра сигнала и рассчитать коэффициенты (затухания) нелинейности по соответствующим продуктам, при этом модель позволяет исследовать:

различного рода ТПС (как с симметричной, так и не с симметричной относительно начала координат мгновенной динамической характеристикой);

различные варианты построения О-К (с «отсечкой», с различной крутизной рабочего участка мгновенной динамической характеристики О-К, с различными углами наклона участков ограничения, с различным количеством узлов излома О-К).

В докладе представлены математические модели для определения амплитуд спектральных составляющих вида  $\omega_0$ ,  $\omega_0 \pm \Omega$ ,  $\omega_0 \pm 2\Omega$ ,  $2\omega_0$ ,  $2\omega_0 \pm \Omega$ ,  $2\omega_0 \pm 2\Omega$ ,  $\Omega$ ,  $2\Omega$ , для ЧМ-сигнала вида

$$U_{\text{вх}}(t) = U_m J'_0(m) \cos(\omega_0 t) + \sum_{p=1}^{\infty} U_m J'_p(m) \cos(\omega_0 + p\Omega)t + \sum_{p=1}^{\infty} (-1)^p U_m J'_p(m) \cos(\omega_0 - p\Omega)t$$

где  $p = 1$  ( $m = 0 \dots 1$ ),  $p = 2$  ( $m = 1 \dots 2$ ).

Процесс определения спектральных составляющих проводился при помощи типовых пакетов прикладных программ (Mathcad, Wolfram Mathematica), позволяющие кроме этого визуально отображать поведение и характер изменения спектральных составляющих в зависимости от различных параметров, например, амплитуды входного воздействия, индекса модуляции, параметров О-К.

#### Список использованных источников:

1. Кириллов, В. И. Гармонический анализ нелинейных устройств и трактов передачи сигналов в инфокоммуникациях: учеб-метод. пособие / В. И. Кириллов, А. А. Пилюшко. – Минск: БГУИР, 2015. – 100 с.
2. Ромаш, А. А. Методика построения оптимального ограничителя-корректора для борьбы с нелинейными явлениями в радиоприемных устройствах / А. А. Ромаш, А. А. Пилюшко, Е. К. Карпук // Весн. сувязі. – 2022. – № 2 (172). – С. 56–59.
3. Ромаш, А. А. Совершенствование методики построения оптимального ограничителя-корректора для борьбы с нелинейными явлениями в радиоприемных устройствах / А. А. Ромаш, А. А. Пилюшко // Весн. сувязі. – 2022. – № 3. – С. 50–55.
4. Карпук, Е. К. Универсальный метод определения нелинейных искажений и помех в трактах передачи электрических сигналов / Е. К. Карпук, А. А. Пилюшко, В. И. Кириллов // Электросвязь (г. Москва). – 2014. – № 12. – С. 19-25.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОНЛАЙН ПЛАТФОРМ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

Рябинин Н.С.

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

Парафиянович Т.А. – доцент кафедры ИРТ, канд. пед. наук, доцент

**Аннотация.** Данная статья рассматривает возможности применения современных онлайн платформ для оценки знаний студентов в учреждениях образования. Современное образование требует не только передачи знаний, но и контроля знаний студентов. Одним из способов контроля является использование электронных платформ.

Контроль результатов обучения является неотъемлемой частью образовательного процесса, важной составляющей оценки качества знаний студентов и эффективности обучения. Существует множество методов контроля результатов обучения, таких как тестирование, контрольные работы, экзамены и другие.

С развитием информационных технологий и электронных платформ появилась возможность проводить контроль результатов обучения студентов в онлайн-режиме. В настоящее время, в БГУИР, вместе с развитием университетской системой электронного обучения, развиваются методы автоматической проверки знаний студентов в рамках экспериментального проекта по разработке и апробации цифрового университета [1]. Электронные платформы для контроля знаний имеют ряд преимуществ, таких как удобство и доступность для студентов и преподавателей, быстрота и эффективность обработки результатов, возможность автоматизации процесса контроля, а также интеграции с другими электронными системами образования.

Однако, использование онлайн платформ для контроля результатов обучения студентов также имеет свои ограничения и риски, такие как ограничения в форматах контроля и возможности персонализации контроля для индивидуальных потребностей студентов, риски несанкционированного доступа к личным данным студентов, а также возможность технических сбоев и неполадок в работе платформы [2]. Кодекс об образовании Республики Беларусь предусматривает различные формы контроля знаний, которые позволяют оценить знания и умения, обучающихся в различных областях и на разных этапах образования. Например, для проведения зачета по учебной дисциплине предлагаются следующие формы: устная, письменная, тестирование, контрольная работа и другое [3].

При использовании онлайн платформ для контроля знаний студентов, самой распространённой формой контроля является тестирование. Эта форма стала популярной по причине своей эффективности и удобства использования. На рисунке 1 представлен пример использования формы тестирования при контроле знаний.



Рисунок 1 – Пример использования тестирования при контроле знаний студентов

Также, онлайн-тесты могут быть в различных форматах, включая множественный выбор, правда/ложь, сопоставление, ввод текста и другие, что позволяет создавать более интерактивные и привлекательные тесты для обучающихся. На рисунке 2 представлен пример использования вопроса с вводом текста при контроле знаний студентов.



Рисунок 2 – Пример использования вопроса с вводом текста

Стоит отметить, что результат выполнения тестирования при использовании онлайн платформ определяется автоматически, что позволяет снизить нагрузку на преподавателя [2].

Кроме того, Кодекс об образовании Республики Беларусь устанавливает обязательство создания безопасных условий обучения и воспитания. Это включает в себя не только обеспечение безопасности обучающихся в школах и других учреждениях образования, но и обеспечение психологической

безопасности, предотвращение воздействия негативных факторов на психическое здоровье обучающихся [3]. Однако, стресс может влиять на процесс обучения и оценки обучающихся, особенно в контексте проведения экзаменов или других форм контроля знаний.

В рамках исследования проблемы «использования онлайн платформ для контроля знаний студентов» был проведен опрос. Целью данного опроса было изучение мнения студентов об удобстве и доступности онлайн платформ, изучение влияния использования онлайн платформ для контроля знаний на уровень стресса у студентов. По результатам опроса представлены мнения респондентов в графическом виде, которые свидетельствуют о том, что для контроля знаний в своей учебной деятельности, подавляющее большинство респондентов часто использует онлайн платформы, что можно увидеть на рисунке 3.

Как часто вы сталкиваетесь с онлайн платформами для контроля знаний в Вашей учебной деятельности?

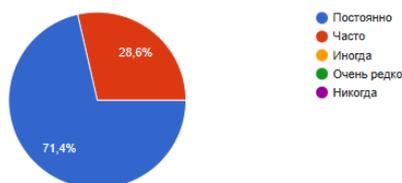


Рисунок 3 – Результаты опроса респондентов

Опрос показал, что абсолютное большинство респондентов положительно относятся к использованию данных платформ в образовании, и 84% респондентов считают, что следует расширять такую практику в обучении. Однако, только часть респондентов, а именно 42%, считают, что использование онлайн-платформ повышает их мотивацию и эффективность обучения. Вместе с тем, 42% респондентов постоянно испытывают стресс при использовании онлайн-платформ, 57% респондентов считают, что использование онлайн-платформ для контроля знаний увеличивает уровень стресса в сравнении с традиционными методами обучения, данный результат представлен в виде круговой диаграммы на рисунке 4.

Чувствуете ли Вы, что использование онлайн платформ для контроля знаний увеличивает уровень стресса по сравнению с традиционным обучением в классе?



Рисунок 4 – Результаты опроса респондентов

Вместе с тем респонденты выделили отдельные аспекты использования онлайн-платформ, которые вызывают наибольшие затруднения: 57% респондентов выделили возможные сбои в работе платформы, 42% - неудобный интерфейс, 28% – ограничение возможности получения обратной связи.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что использование электронных платформ для контроля результатов обучения студентов имеет свои преимущества и ограничения. Преимущества использования онлайн-платформ это прежде всего: автоматизация процесса оценки, повышение мотивации студентов, удобство и гибкость. Для преодоления ограничений, необходимо уделить должное внимание выбору платформы, ее настройке и обеспечению безопасности, а также сделать процесс проверки максимально прозрачным и удобным для студентов. Подводя итог исследования, можно сказать, что абсолютное большинство респондентов положительно относятся к использованию онлайн платформ для контроля знаний в образовании, а 84% респондентов считают, что следует расширять использование онлайн-платформ в образовательном процессе.

**Список использованных источников:**

1. Богуш, В. А. Цифровизация образования: проблемы, вызовы и перспективы / В. А. Богуш, Е. Н. Шнейдеров // Адукацыя і выхаванне. – 2021. – № 1. – С. 14–21.
2. Германович, Т. В., Жидяева, Ю.В. Электронное учебное пособие: преимущества и недостатки // БГЖ. 2021. №1 (34).
3. Кодекс Республики Беларусь об образовании от 14.01.2022 № 154-З (с изм. и доп.) // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – 31.01.2022. – № 2/2874.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ RFID ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ВБЛИЗИ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУР И РАССЕИВАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ

Скрабневский Н.О., магистрант гр. 245201

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

Научный руководитель: Кирильчук В.Б. – канд.техн.наук, доцент, доцент кафедры ИРТ

**Аннотация.** Исследована технология RFID. Предложена методика измерения уровней электромагнитных полей с использованием метода модуляции обратного рассеивания.

**Ключевые слова:** радиочастотная идентификация (RFID), модуляция обратного рассеивания, уровень электромагнитного излучения

**Введение.** При проектировании различных систем, которые излучают электромагнитные поля, важную роль занимает анализ электромагнитной обстановки вблизи передающих антенн. С целью снизить влияние устройств, используемых для измерения электромагнитных параметров антенны, на результаты измерений предлагается использовать RFID-метки.

В данной статье автором показано, что возможно использование технологий RFID для измерения уровней электромагнитных полей вблизи рассеивающих объектов.

**Основная часть.** Радиочастотная идентификация (RFID) является быстро развивающейся технологией [1]. Типичная RFID-метка входит в состав RFID-системы (рисунок 1), состоит из антенны и чипа со сложными импедансами. Чип получает питание от радиочастотного сигнала, передаваемого базовой станцией (считывателя RFID), Антенна метки RFID загружается чипом, импеданс которого переключается между двумя состояниями импеданса, обычно высоким и низким. Метка отправляет информацию обратно изменяя свое входное сопротивление и таким образом модулируя сигнал обратного рассеивания.

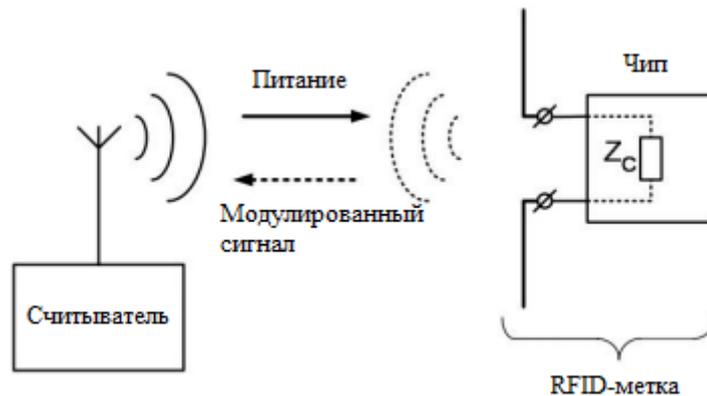


Рисунок 1 – Пассивная система RFID, использующая модулированное обратное рассеивание

RFID-системы используются со сверхвысокими (868 и 915 МГц) и микроволновыми (2.5 и 5.8 ГГц) диапазонами частот, что позволяет использовать компактные антенны, которые характеризуются высоким коэффициентом полезного действия.

Считывающее устройство (считыватель) создает электромагнитное излучение мощностью  $P_1$ , часть которого достигает антенны транспондера. Под воздействием этого излучения на выводах антенны транспондера возникают высокочастотные колебания с мощностью  $P'_1$  (рисунок 2) [2]. На диодах  $D_1$  и  $D_2$ , которые имеют низкое пороговое напряжение, напряжение выпрямляется и выводит чип из режима с низким энергопотреблением. Преобразованное излучение используется и в качестве источника энергии для чипа.

Часть излучения с мощностью  $P_2$  отражается антенной и распространяется в обратном направлении. Изменяя подключенную к антенне нагрузку, можно изменять коэффициент отражения антенны (эффективное сечение рассеяния). Для передачи информации считывателю, поток

передаваемых данных подключает и отключает дополнительное сопротивление нагрузки  $R_L$ , которое подсоединено параллельно выходу антенны. В результате отраженное излучение с мощностью  $P_2$  модулируется по амплитуде.

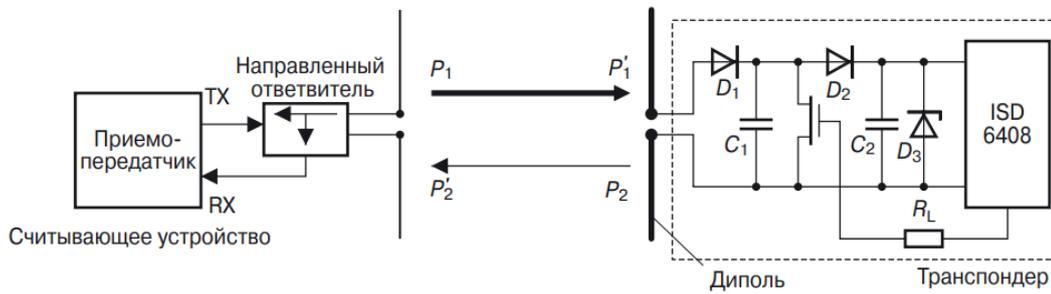


Рисунок 2 – Принцип действия отражательного транспондера. Модуляция импеданса осуществляется путем подачи сигнала на транзистор

Амплитудно-модулированное излучение с мощностью  $P_2$  отражается от транспондера. На считыватель приходит излучение, которое значительно ослабляется. Отраженный сигнал попадает на разъем считывающего устройства и через направленный ответвитель, который позволяет уменьшить влияние более интенсивного сигнала передатчика, поступает на вход приемника считывателя. Соотношение мощности излучаемого и принимаемого сигнала может быть рассчитано с помощью уравнения радиолокации.

Для измерения уровня электромагнитного поля вблизи дифракционных структур необходимо использовать дополнительный передатчик, который взаимодействует с RFID-меткой по каналу с частотой, отличной от частоты канала взаимодействия RFID-метки со считывающим устройством. Калибровка измерения напряженности ЭМП позволяет определять локальный уровень электромагнитного напряжения в зависимости от уровня сигнала обратного рассеивания приходящего на дополнительный передатчик.

Преимуществами RFID-технологии являются большое расстояние считывания, независимость от ориентации метки и считывателя, скорость и точность идентификации, возможность работы через материалы, пропускающие радиоволны, возможность считывания метки сдвигающегося объекта, возможность хранения дополнительной информации на метке и ее перезаписи, сложность подделки RFID-меток, одновременное чтение нескольких меток, устойчивость к воздействиям окружающей среды, длительный срок эксплуатации [3].

Таким образом, использование RFID-меток для исследования электромагнитных полей [4] вблизи дифракционных структур и рассеивающих объектов позволяет не вносить дополнительных помех в виде зонда и проводных соединений, повышая точность измерений, и экономить энергию, так как в качестве питания RFID-метки возможно использовать излучение неиспользуемых базовых станций [5].

**Заключение.** Проведено исследование RFID-технологии, принципа работы RFID-метки, методов измерения уровней электромагнитных излучений. Предложено использование метода обратного рассеивания для измерения локальных уровней электромагнитных излучений вблизи дифракционных структур и рассеивающих объектов и описаны его преимущества.

### Список литературы

1. Rao, K. V. S. An overview of backscattered radio frequency identification system (RFID) / K. V. S. Rao // IEEE Asia Pacific Microwave Conference, 1999 – pp. 746-749.
2. Финкенцеллер, К. RFID-технологии / К. Финкенцеллер. – М. : Додэка-XXI, 2010. – 496 с.
3. Сандип Лахири RFID. Руководство по внедрению / Пер. с англ. – М. : КУДИЦ-ПРЕСС. – 2007. – 312 с.
4. Бахрах, Л.Д. Методы и устройства радио- и акустической голографии / Л.Д. Бахрах, А.П. Курочкин. – Л. : Наука, 1983. – 128 с.
5. Ходенков, А.А. Исследование возможности использования радио- и СВЧ-диапазонов как альтернативных источников энергии / А. А. Ходенков // Решетневские чтения – 2011. – с. 194-196.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НА ПРАКТИКЕ АВТОРЕГРЕССИОННЫХ МЕТОДОВ СПЕКТРАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ГЛУБИННОГО ПОРТРЕТА

*П.С. Томашевская, А.В. Гринкевич*

*Белорусский Государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Минск, Беларусь*

*Гринкевич А.В. – канд. техн. наук, доцент*

**Аннотация.** Все авторегрессионные методы можно разделить на две категории: алгоритмы для обработки блоков данных и алгоритмы для обработки последовательных данных. Блочные методы можно кратко описать как, алгоритмы с фиксированным временем. Такие алгоритмы целесообразно применять в том случае, когда порядок требуемой авторегрессионной модели не известен.

**Abstract.** All autoregressive methods can be divided into two categories: algorithms for processing blocks of data and algorithms for processing sequential data. Block methods can be briefly described as fixed-time algorithms. It is expedient to use such algorithms when the order of the required autoregressive model is not known.

## Введение

Для выбора требуемой модели необходимо оценивать совокупность таких моделей разных порядков и сравнивать полученные результаты. Последовательные методы можно рассматривать как алгоритмы с фиксированным порядком и рекурсивные относительно времени в том смысле, что они применяются для последовательной обработки данных с целью обновления оценок параметров авторегрессионной модели фиксированного порядка.

Такие алгоритмы целесообразно применять в тех случаях, когда необходимо осуществлять «слежение» за спектром, медленно меняющимся во времени. Их целесообразно использовать в тех случаях, когда объем имеющихся данных сильно ограничен, а необходимо получить оценки с наилучшими характеристиками.

## Автокорреляционные методы блочной обработки данных

Из всех автокорреляционных методов блочной обработки данных наиболее известными являются следующие:

метод Юла-Уолкера;

метод спектрального оценивания максимальной энтропии (алгоритм Берга);

ковариационный метод (метод наименьших квадратов);

модифицированный ковариационный метод (модифицированный метод наименьших квадратов).

С помощью методов Юла-Уолкера и Берга получают непосредственно оценки авторегрессионных параметров  $\hat{a}[k]$ . Ковариационный и модифицированный ковариационный методы фактически дают оценки коэффициентов линейного предсказания, которые затем используются в качестве оценок авторегрессионных параметров. Для этого авторегрессионные параметры приравнивают либо к коэффициентам линейного предсказания вперед  $\hat{a}[k] = a^f[k]$ , либо к величинам комплексно сопряженным – коэффициентам линейного предсказания назад  $\hat{a}[k] = (a^b[k])^*$ . После определения (тем или иным методом) оценок авторегрессионных параметров вычисляется авторегрессионная спектральная оценка, которая находится при помощи выражения:

$$\hat{P}_{AP}(f) = \frac{\Delta t \cdot \hat{\rho}_w}{\left| 1 + \sum_{k=1}^p \hat{a}[k] \exp(-j2\pi \cdot f \cdot k \cdot \Delta t) \right|^2} \quad (1.1)$$

где  $\hat{\rho}_w$  – оценка дисперсии возбуждающего шума, которую также получают одним из перечисленных методов;

$p$  – порядок авторегрессионной модели.

Применительно к формированию РГП необходимо проведение анализа блочных методов авторегрессионного спектрального оценивания, определение возможности их применимости для повышения разрешающей способности по глубине и улучшения характеристик обнаружения заглубленных объектов. Для этого рассмотрим наиболее известные методы авторегрессионного спектрального оценивания и определим их возможности по формированию РГП.

### Метод Юла-Уолкера

Матричное уравнение Юла-Уолкера записывается в виде:

$$\begin{pmatrix} \Phi_{xx}[0] & \Phi_{xx}[-1] & \cdots & \Phi_{xx}[-p] \\ \Phi_{xx}[1] & \Phi_{xx}[0] & \cdots & \Phi_{xx}[-p+1] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Phi_{xx}[p] & \Phi_{xx}[p-1] & \cdots & \Phi_{xx}[0] \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ a[1] \\ \vdots \\ a[p] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \rho_w \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (1.2)$$

где  $\Phi_{xx}[k]$  –  $k$ -й коэффициент корреляционной матрицы исследуемого сигнала  $\Phi$ ;

$a[k]$  –  $k$ -й параметр авторегрессии.

Метод Юла-Уолкера состоит в решении одноименного уравнения, в которое вместо значений неизвестной корреляционной матрицы подставляют их оценки.

Существенным недостатком данного метода является то, что при использовании несмещенных оценок корреляционная матрица может оказаться неположительно-определенной. Следовательно, авторегрессионный фильтр будет неустойчивым. При использовании смещенных оценок корреляционная матрица всегда будет положительно-полуопределенной, что гарантирует устойчивость авторегрессионного фильтра. В случае длинных последовательностей данных метод Юла-Уолкера может давать приемлемые спектральные оценки, однако в случае коротких последовательностей получаемые с его помощью спектральные оценки имеют более низкое разрешение, чем другие авторегрессионные методы.

### Заключение

Таким образом, при формировании РГП на основе метода Юла-Уолкера, следует ожидать лучшее разрешение по глубине, чем при классической обработке, однако возможно смещение оценок интенсивности (мощности) сигналов и появление ложных пиков в РГП при неправильном выборе авторегрессионной модели.

### Список использованных источников

1. Орешкин В.И. Оценка степени влияния дестабилизирующих факторов на характеристики цифровой антенной решетки: Автореферат диссертации кандидата технических наук: 05.12.07/ Москва.
2. Вопросы подповерхностной радиолокации. / Под общ. ред. А.Ю. Гринева. – М.: Радиотехника, 2005. – 416 с.
3. Григорьев Л.Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках. - М.: Радиотехника, 2012. – 144с.
4. Гринкевич, А.В. Оценка технического уровня радиотехнических систем методом максимального правдоподобия / А.В. Гринкевич, Е.Ю. Брызгин // Доклады БГУИР. – 2014. – № 7 – С. 14-20.

## АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ С ЧМН

Фам К.Б., магистрант

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

Карпушкин Э.М. – канд. техн. наук, доцент

В докладе исследуются анализ корреляционной характеристики шумоподобных сигналов с ЧМН по результатам моделирования автокорреляционной функций (АКФ) и взаимно-корреляционной функций (ВКФ).

В современных радиосистемах передачи информации всё большой акцент делается на широкополосные радиосистемы (ШПРС). ШПРС позволяет существенно улучшить такие показатели качества как помехозащищенность, скрытность действия возможность борьбы с многолучевостью и замираниями, возможность работы в одной и той же полосе частот множеству других радиосистем в том числе и узкополосных. Полоса частот, занимаемая ШПРС, значитель больше чем полоса частот передаваемого сообщения и обеспечивается применением сложных сигналов с большой базой.

Корреляционные характеристики могут быть использованы для определения эффективности передачи информации через сигналы, а также для разработки методов обработки и фильтрации сигналов. Двумерная АКФ комплексной огибающей псевдослучайного сигнала (ПС-сигнала) с дискретной частотной модуляцией (ДЧМ):

$$\begin{aligned} \rho(\tau, f) &= \int_{-\infty}^{\infty} A(t)A^*(t-\tau)\exp(j2\pi ft)dt \\ &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{\sin \pi [\Delta F(N_{i+e} - N_i) + f](\tau_0 - \varepsilon)}{\pi [\Delta F(N_{i+e} - N_i) + f](\tau_0 - \varepsilon)} \exp\{j\pi [\Delta F(N_{i+e} - N_i) + f][2\tau_0(i+e) - \varepsilon]\} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\sin \pi [\Delta F(N_{i+e} - N_i) + f]\varepsilon}{\pi [\Delta F(N_{i+e} - N_i) + f]\varepsilon} \exp\{j\pi [\Delta F(N_{i+e} - N_i) + f][2\tau_0(i+e) - \varepsilon]\} \exp(j2\pi \Delta F N_i \varepsilon) \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

где  $A(t)$  и  $A^*(t-\tau)$  – соответственно комплексная огибающая сигнала и сопряженная с ней функция;  $0 < \varepsilon \leq \tau_0$ ,  $\tau = e\tau_0 + \varepsilon$ ,  $e = 0, 1, 2, \dots, (N-1)$ .

Анализ (1) показывает, что характер двумерной АКФ зависит от значений разностей модулирующих чисел  $\Delta N_{ie} = N_{i+e} - N_i$ , т.е. числовой псевдослучайной (псевдочетной) последовательности. При условии  $\Delta N_{ie} \neq \Delta N_{ne}$ ,  $i \neq n$  ( $i, n = 1, 2, 3, \dots, N$ ) максимальные боковые остатки ( $\tau \neq 0$ ) достигают своего минимального уровня  $\rho(\tau, f)_{\max} \leq 1/N$ .

Сечение двумерной АКФ плоскостью ( $\tau = 0$ ), для прямоугольной огибающей сигнала с ДЧМ описывается функцией

$$\rho(0, f) = \frac{\sin \pi f N \tau_0}{\pi f N \tau_0} \quad (2)$$

которая имеет первые нули на частотах  $f = \pm 1/N\tau_0$ , не зависит от вида модулирующей числовой последовательности и полностью совпадает с аналогичной функцией для ПС-сигналов с ДФМ.

Сечение двумерной АКФ ПС-сигнала с ДЧМ-плоскостью  $f = 0$  дает выражение для одномерной АКФ во временной плоскости:

$$\rho(\tau, 0) = \left(1 - \frac{|\tau|}{\tau_0}\right) \frac{\sin \pi N f \tau_0}{\pi N f \tau_0} \exp[j\pi(N+1)\Delta F \tau] + \frac{|\tau|}{N\tau_0} \sum_{i=1}^N \frac{\sin \pi \Delta F (N_{i+1} - N_{i+e})\tau}{\pi \Delta F (N_{i+1} - N_{i+e})\tau} \exp[j\pi \Delta F (N_{i+1} - N_{i+e})\tau] \quad (3)$$

Второе слагаемое в (3) определяет форму АКФ в основном при малых  $\tau \ll \tau_0$ , а первое слагаемое – при  $\tau \leq \tau_0$ . Основной пик АКФ во временной плоскости принимает нулевые значения в точках  $\tau = \pm \frac{\tau_0}{N}$

, т.е. интервал корреляции (разрешающая способность по  $\tau$ ) для ПС-сигналов с ДЧМ в  $N$  раз короче длительностью одного элемента модулирующей последовательности чисел.

Результаты расчетов по формуле (3) позволяют сделать следующие выводы:

а) боковые остатки  $|\rho(\tau, 0)|$  при  $\tau_0/N < |\tau| < (N-1)\tau_0$  зависят от вида модулирующей числовой последовательности  $\{N_i\}$ , соизмеримы по величине с  $1/N$  и совпадают для ДЧМ-сигналов с одинаковыми распределениями  $|N_{i+e} - N_i|$ , при  $e = 0, 1, 2, \dots, (N-1)$ ;

б) вид  $\rho(\tau, 0)$  на интервале  $(i-1)\tau_0 \leq \tau \leq i\tau_0$  симметричен относительно ординаты в точке  $\tau = (i-0.5)\tau_0$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, (N-2)$ ;

в) для уменьшения уровня боковых остатков  $|\rho(\tau, 0)|$  необходимо выбирать модулирующие числовые последовательности  $\{N_i\}$  с большими величинами  $|N_{i+e} - N_i|$  при  $e = 0, 1, 2, \dots, (N-1)$ .

Приведенные на следующих рисунках формы АКФ в среде Симулинке. Сигналы  $A_i$  используют M-последовательность значности  $N=15$  с полиномом  $X^4+X^3+1=0$ , а сигналы  $B_i$  – полином  $X^4+X+1=0$ .  $\{N_i\}$  – последовательность случайных чисел,  $i=1, 2, 3, \dots, N$ .

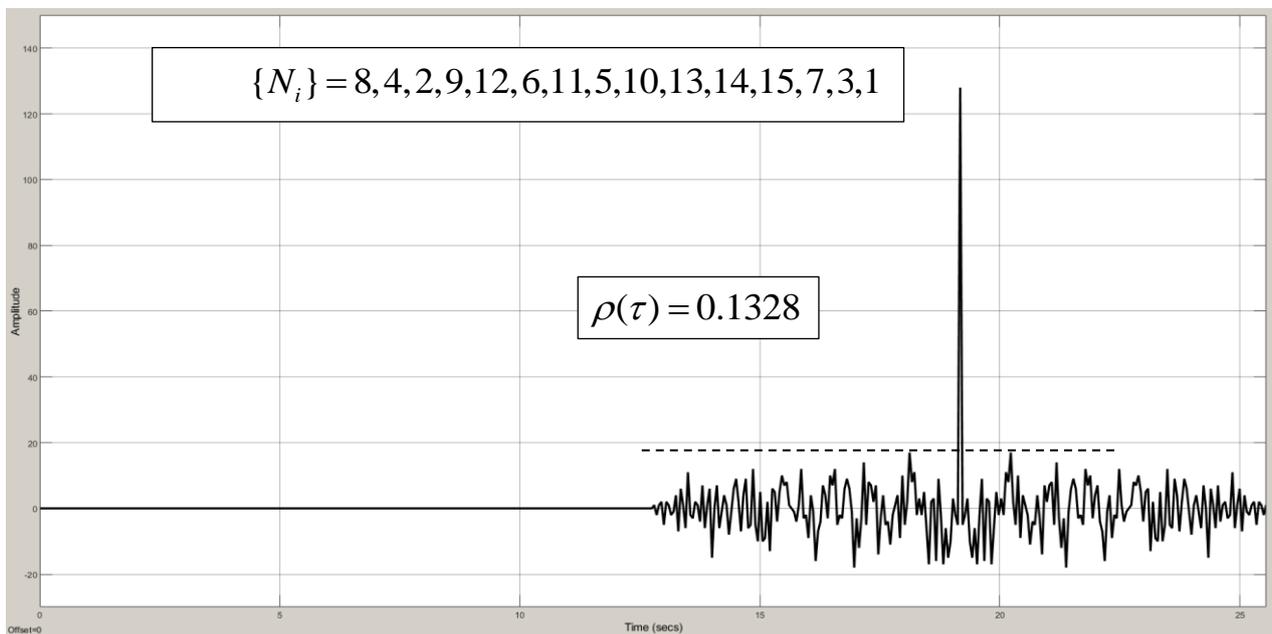


Рисунок 1 – АКФ сигнала  $A_8$

Продолжая делать то же, что и выше, получаем следующую таблицу

Таблица 1 – Результаты компьютерного моделирования АКФ сигналов

АКФ сигнала	Соответствующий $\{N_i\}$	$\rho(\tau)$
$A_8$	8,4,2,9,12,6,11,5,10,13,14,15,7,3,1	0.1328
$A_9$	9,12,6,11,5,10,13,14,15,7,3,1,8,4,2	0.1641
$A_1$	1,8,4,2,9,12,6,11,5,10,13,14,15,7,3	0.1406
$A_2$	2,9,12,6,11,5,10,13,14,15,7,3,1,8,4	0.1875
$A_{10}$	10,13,14,15,7,3,1,8,4,2,9,12,6,11,5	0.1328
$A_{11}$	11,5,10,13,14,15,7,3,1,8,4,2,9,12,6	0.1563
$A_3$	3,1,8,4,2,9,12,6,11,5,10,13,14,15,7	0.1406
$A_4$	4,2,9,12,6,11,5,10,13,14,15,7,3,1,8	0.1719
$A_{12}$	12,6,11,5,10,13,14,15,7,3,1,8,4,2,9	0.1641
$A_{13}$	13,14,15,7,3,1,8,4,2,9,12,6,11,5,10	0.1563
$B_8$	8,12,14,15,7,11,5,10,13,6,3,9,4,2,1	0.1406
$B_1$	1,8,12,14,15,7,11,5,10,13,6,3,9,4,2	0.125
$B_9$	9,4,2,1,8,12,14,15,7,11,5,10,13,6,3	0.125
$B_2$	2,1,8,12,14,15,7,11,5,10,13,6,3,9,4	0.1563
$B_{10}$	10,13,6,3,9,4,2,1,8,12,14,15,7,11,5	0.1406
$B_3$	3,9,4,2,1,8,12,14,15,7,11,5,10,13,6	0.1719

$B_{11}$	11,5,10,13,6,3,9,4,2,1,8,12,14,15,7	0.1563
$B_{12}$	12,14,15,7,11,5,10,13,6,3,9,4,2,1,8	0.1406
$B_4$	4,2,1,8,12,14,15,7,11,5,10,13,6,3,9	0.1406
$B_{13}$	13,6,3,9,4,2,1,8,12,14,15,7,11,5,10	0.1406

Из результатов таблицы 1 и вышеприведенных рисунков видно, что нормированные АКФ сигналов относительно однородны, не сильно различаясь, а значения  $R(\tau=0)$  одинаковы для всех сигналов. Их минимальное значение – 0,125, максимальное – 0,1875. сигналы  $A_8, A_{10}$  ( $\rho(\tau) = 0.1328$ ) и  $B_1, B_9$  ( $\rho(\tau) = 0.125$ ) – сигналы с лучшим значением нормированных АКФ.

Следующие рисунках показывают формы ВКФ и их нормированные

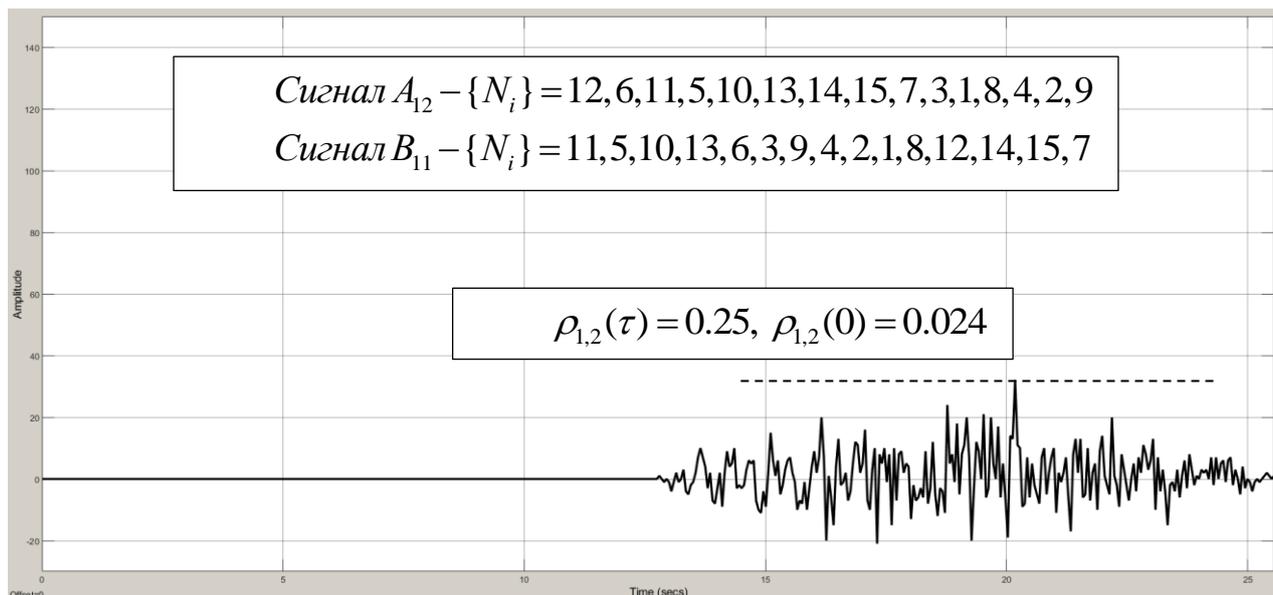


Рисунок 2 – ВКФ сигналов  $A_{12} * B_{11}$

Так же, как указано выше, получаем следующую таблицу

Таблица 2 – Результаты компьютерного моделирования ВКФ сигналов

ВКФ сигналов	$\rho_{1,2}(\tau)$	$\rho_{1,2}(0)$
$A_8 * B_8$	0.2969	0.056
$A_8 * B_9$	0.3125	0.2125
$A_8 * B_1$	0.2969	0.2808
$A_9 * B_1$	0.3281	0.0888
$A_1 * B_9$	0.2656	-0.0495
$A_2 * B_2$	0.4063	-0.178
$A_{12} * B_{11}$	0.25	0.024
$A_{10} * B_{10}$	0.2344	0.154
$A_{10} * B_9$	0.2813	0.0385
$A_{10} * B_1$	0.2344	-0.0808
$A_4 * B_{12}$	0.375	-0.0255
$A_4 * B_{11}$	0.3125	0.0716
$A_4 * B_3$	0.2656	0.0362
$A_4 * B_{10}$	0.2656	-0.0057
$A_4 * B_2$	0.3281	0.0647
$A_4 * B_9$	0.3125	0.178
$A_4 * B_1$	0.3125	-0.032
$A_{13} * A_8$	0.5313	-0.0915
$A_{13} * A_{12}$	0.6094	-0.101
$A_{13} * A_4$	0.4375	-0.0194
$A_{13} * A_3$	0.6875	0.115
$A_{13} * A_{11}$	0.7656	-0.0023
$A_{13} * A_{10}$	0.9219	-0.1246

$A_{13} * A_2$	0.4531	0.0556
$B_4 * B_3$	0.8281	-0.1482
$B_4 * B_{12}$	0.6875	0.0194
$B_4 * B_{11}$	0.4375	0.1402
$B_4 * B_{10}$	0.5938	0.0526

Из результатов таблицы 5 и приведенных выше рисунков видно, что нормированные ВКФ сигналов  $\rho_{1,2}(\tau)$  и степени зависимости  $\rho_{1,2}(0)$  неравномерны, есть большая разница для разных ансамбля сигналов. самый большой  $\rho_{1,2}(\tau)$  – 0,9219, самый маленький – 0,2344. Самый большой  $\rho_{1,2}(0)$  равен 0,2808, самый маленький – 0,0023. Легко видеть, что ансамбли сигналов, сформированные из одного и того же полинома, будут иметь высокие значения  $\rho_{1,2}(\tau)$  и большие разности (от 0,5 до 0,9), а ансамбли, сформированные из 2 разных полиномов, будут иметь меньшие и более устойчивые значения  $\rho_{1,2}(\tau)$  (от 0,23 до 0,32). Кроме того, исходя из основных свойств ВКФ сигналов, можем выбрать ансамбли с низким значением  $\rho_{1,2}(\tau)$  и малой степенью зависимости  $\rho_{1,2}(0)$ :  $A_1 * B_9$ ,  $A_{12} * B_{11}$ ,  $A_{10} * B_1$ ,  $A_4 * B_{10}$ .

**Список использованных источников:**

1. Радиотехнические системы передачи информации / под ред. В. В. Калмыкова. – М.: Радио и связь, 1990.
2. Информационные технологии в радиотехнических системах / под ред. И. Б. Федорова. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003.
3. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – М.: Изд. Дом «Вильямс», 2003.

# СОЗДАНИЕ МОБИЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ НЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ ПРОГРАММИСТАМИ (НА ПРИМЕРЕ ОНЛАЙН-СЕРВИСА «ADALO»)

Федосов А.М.

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

*Славинская О.В. – Доцент кафедры ИРТ, канд. пед. наук, доцент*

*Работа посвящена вопросам эффективного применения мобильных образовательных приложений в традиционном учебном процессе, а также созданию мобильных приложений самими педагогами, не являющимися профессиональными программистами. Алгоритм такой разработки приведен на примере онлайн-сервиса Adalo.*

Цифровая трансформация образования, являющаяся следствием цифровизации всех сфер жизнедеятельности современного общества, потребовала изменений в организации и проведении традиционного образовательного процесса. Она является одной из тенденций развития мирового образования. [1]

«Цифровизация образования предполагает применение современных технологий и интернет-ресурсов при организации образовательных процессов. Они являются необходимыми инструментами для обучения или воспитания. Эти инструменты и соответствующие процессы могут охватывать процесс обучения глобально (дистанционное образование) или частично – совершенствовать традиционное ... обучение путем внедрения отдельных онлайн-элементов в методики преподавания дисциплин [2]».

Современное традиционное обучение может стать более эффективным при использовании мобильных технологий. Они позволяют использовать элементы онлайн-обучения. А оно, в свою очередь, дает преимущества, к которым мы можем отнести: автоматизированное онлайн-тестирование результатов обучения, доступность информации за счет возможности размещения информации для обучающихся в облаке или на интерактивной онлайн-доске, удаленные контакты с педагогом за счет использования платформ онлайн-конференций, онлайн-библиотеки с обширной учебной и научной литературой, видео- и аудиоконтентом, открытые образовательные платформы и др.

Мобильные образовательные технологии актуальны и доступны в связи с рядом факторов [3].

1. Цифровое мышление современных обучающихся. Нынешний состав обучающихся системы профессионального и высшего образования состоит из «миллениалов». Это подростки старшего возраста и учащаяся молодежь, которые выросли на цифровых технологиях (со смартфоном в руках) и привыкли использовать их в повседневной жизни. Им удобно работать с цифровыми устройствами. Еще более привычны к этим технологиям современные школьники и более младшее поколение – пока воспитанники системы дошкольного образования. Использование мобильных образовательных технологий в традиционных образовательных системах делает обучение более доступным для них. С такими технологиями как в обучении, так и в бытовой жизни они справляются лучше, чем поколения «цифровых мигрантов [4]».

2. Гибкость для обучающихся. Мобильное обучение предоставляет обучающимся гибкость при выборе цифрового устройства (компьютер, смартфон и т.п.), времени для самостоятельной работы и темпа такого обучения. Мобильное обучение означает, что обучающиеся могут по своему усмотрению заходить в приложения, чтобы просматривать материалы курса, выполнять задания или тест, возвращаться к ним по мере надобности в них.

3. Удобство для педагога. Педагог может предложить тексты, видео, аудио в разных форматах и формах. Учащиеся могут использовать доступ к информации для работы в аудитории, выполнения домашнего задания и т.п. Они также могут предложить информацию для педагога – выполненное задание, вопросы по материалу и т.п.

4. Обратная связь и моментальная статистика в реальном времени. Во время занятий обучающиеся могут отрефлексировать занятие, выполнить задание, что будет проверено и оценено платформой моментально и сгруппировано в заданную форму (например, в облако тегов) или в разнообразную статистику для анализа.

5. Геймофикация обучения. Мобильное обучение позволяет использовать онлайн-викторины и другие формы игр, создаваемые на онлайн-платформах при помощи предоставляемых шаблонов. Выполнение заданий может быть коллективным или индивидуальным, с оценкой или без нее, в том числе соревновательного типа с выявлением победителя.

6. Удаленные контакты в режиме конференций. Можно использовать для консультаций, индивидуальной работы, обучения при карантине.

Использованию мобильных технологий в традиционном обучении способствует возможность использования концепции BYOD (Bring your own device), когда обучающимся предлагается использовать свои собственные цифровые устройства, например, смартфоны.

Не все возможности мобильных технологий в настоящее время соответствуют возросшим требованиям педагога и учащихся. Педагоги все чаще задумываются над сложными программными средствами обучения, которые можно самостоятельно создать, не будучи программистом. В этом педагогу могут помочь специальные онлайн-сервисы, например, *Buble.IO*, *WebFlow*, *Adalo*.

*Adalo* [5] – онлайн-конструктор для создания нативных мобильных приложений. Его плюсы: 1) простой интерфейс для создания приложений для Android и iOS без написания кода; 2) наличие шаблонов для создания приложений; 3) интеграция с различными сторонними сервисами; 4) бесплатная версия; 5) большое количество возможностей в платной версии. Причем, именно условная бесплатность данного сервиса является его первостепенным достоинством для педагогов нашей страны, не готовых тратить собственные финансовые средства на средства для обучения, используемые на рабочем месте. Минусы сервиса: 1) ограниченный функционал в сравнении с другими подобными платными сервисами; 2) доступно только для создания мобильных приложений.

*Bubble.io* [6] – язык визуального программирования и платформа безкодовой разработки, функционирующая на основе PaaS-модели. Достоинства: 1) возможность создания не только мобильных приложений, но и веб-приложений; 2) расширенный функционал, включающий в себя возможность написания собственного кода; 3) интеграция с различными сервисами и API. Недостатки: 1) усложненный интерфейс, требующий времени для изучения; 2) ограниченный уровень возможностей для разработчиков, не имеющих опыта программирования.

*WebFlow* [7] – облачная платформа, на которой дизайнеры собирают веб-страницы без глубоких знаний в веб-программировании. Плюсы: 1) интуитивный интерфейс и редактор, удобный для работы; 2) возможность создания не только мобильных приложений, но и веб-сайтов; 3) широкий набор инструментов для создания уникального дизайна. Минусы: 1) сложность в настройке и наследовании стилей; 2) ограничения в работе с динамическими параметрами (анимация и переходы).

Наиболее простым в использовании для создания мобильных приложений педагогами, не имеющими опыта программирования, мы полагаем онлайн-сервис *Adalo*. Создание с его помощью мобильных приложений можно разделить на несколько шагов:

Шаг 1. Планирование и проектирование приложения. Он предполагает осмысление планируемого результата – что вы хотите достичь с помощью приложения, какие функции должны быть реализованы, кто будет использовать приложение, какие макеты и дизайн привлекут их.

Шаг 2. Регистрация и начало работы в *Adalo*. Регистрация проста. После этого вы сразу можете начать создание своего приложения.

Шаг 3. Добавление экранов и компонентов. При создании своего приложения в *Adalo* вы можете добавлять экраны и различные компоненты, такие как кнопки, текстовые поля, медиафайлы, другие элементы.

Шаг 4. Изменение внешнего вида приложения. Сервис предоставляет широкий выбор настроек дизайна, чтобы настроить внешний вид и оформление собственного приложения.

Шаг 5. Добавление базы данных и связей между различными компонентами. Вы можете легко создавать базу данных и связи между различными компонентами вашего приложения. Это делает ваше приложение функциональным и удобным.

Шаг 6. Тестирование и публикация. После завершения всех этапов создания приложения, нужно протестировать его и убедиться в том, что все функции работают корректно. Затем вы можете опубликовать приложение на App Store или Google Play.

Мобильное обучение – это популярная, развивающаяся и широко используемая технология. У каждого обучающегося на занятии с собой имеется, как правило, смартфон. Педагогам нет смысла противостоять прогрессу. Преподаватель, успешно изучивший специфику применения мобильных технологий в обучении, усвоивший условия внедрения мобильных технологий, принципы работы с ними, способен усовершенствовать образовательный процесс, сделать его доступнее, легче, увлекательнее, активизировать самостоятельную работу обучающихся, применить новые средства и формы контроля знаний.

**Список использованных источников:**

1. Славинская, О. В. Педагогика. Часть 2: электронный образовательный ресурс по учебной дисциплине направления специальности 1-08 01 01-07 «Профессиональное обучение (информатика)» / О. В. Славинская // Система электронного обучения БГУИР [Электронный ресурс] – Минск : БГУИР, 2022.

2. Славинская, О. В. Опыт использования платформы *Online Test Pad* в методике преподавания психолого-педагогических дисциплин / Славинская О. В. // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : матер. XII Междун. науч.-метод. конф., Минск, 26 мая 2022 г. / редкол.: Е. Н. Шнейдеров [и др.]. – Минск : БГУИР, 2022. – С. 142-143.

3. Воронцова, Е. Г. Использование мобильных приложений для повышения эффективности обучения или образование будущего уже в вашем кармане / Е. Г. Воронцова // Образовательная социальная сеть «Nportal.ru» [Электронный ресурс], 2019. – Режим доступа : <https://nportal.ru/shkola/obshchepedagogicheskie-tehnologii/library/2019/02/07/ispolzovanie-mobilnyh-prilozheniy-dlya>.

4. Славинская, О. В. Осмысление технологий медиадидактики «цифровыми мигрантами» / О. В. Славинская, М. Н. Демидко // Вестник МГИРО. – 2018. – № 2 (34). – С. 82-88.

5. *Adalo* : *Design & Build Custom Apps* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.adalo.com>.

6. *Bubble.io* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://bubble.io>.

7. *Webflow*: *Create a custom website* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [webflow.com](http://webflow.com).

# ПРИЕМНИК МОБИЛЬНОЙ РАДИОСТАНЦИИ ТРАНКИНГОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

Целуев П.В.

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

Титович Н.А. – к.т.н., доцент

В статье рассматривается один из видов профессиональной мобильной радиосвязи – транкинговая радиосвязь. Описаны основные преимущества по сравнению с другими видами связи. Представлена функциональная схема приемника мобильной радиостанции транкинговой радиосвязи.

Транкинговая радиосвязь – система подвижной радиосвязи, которая использует диапазон ультракоротких волн. На практике транкинговая система устроена аналогично сотовой: пользовательские терминалы и базовые станции (БС), оборудование для увеличения дальности связи – ретрансляторы и контроллер, который управляет работой станции, обрабатывает каналы ретрансляторов (коммутирует их) и обеспечивает выход на городскую телефонную сеть. Сети транкинга могут быть однозоновыми (содержать одну БС) или многозоновыми (несколько БС). Существуют аналоговые и цифровые системы транкинговой связи.

Системы транкинговые радиосвязи обладают преимуществами по сравнению с сотовой связью: возможностью связи одновременно с несколькими абонентами; высокой скоростью установления соединения (0,21 с); возможностью организации очередей к ресурсам системы при занятости и автоматическое соединение после появления возможности доступа; возможностью доступа к системе исходя из установленных приоритетов и экстренное предоставление канала связи абоненту с более высоким приоритетом; меньшими затратами на развертывание и эксплуатацию системы.

Основные принципы построения транкинговых систем отражены на обобщенной структурной схеме однозоновой транкинговой системы, представленной на рисунке 1.

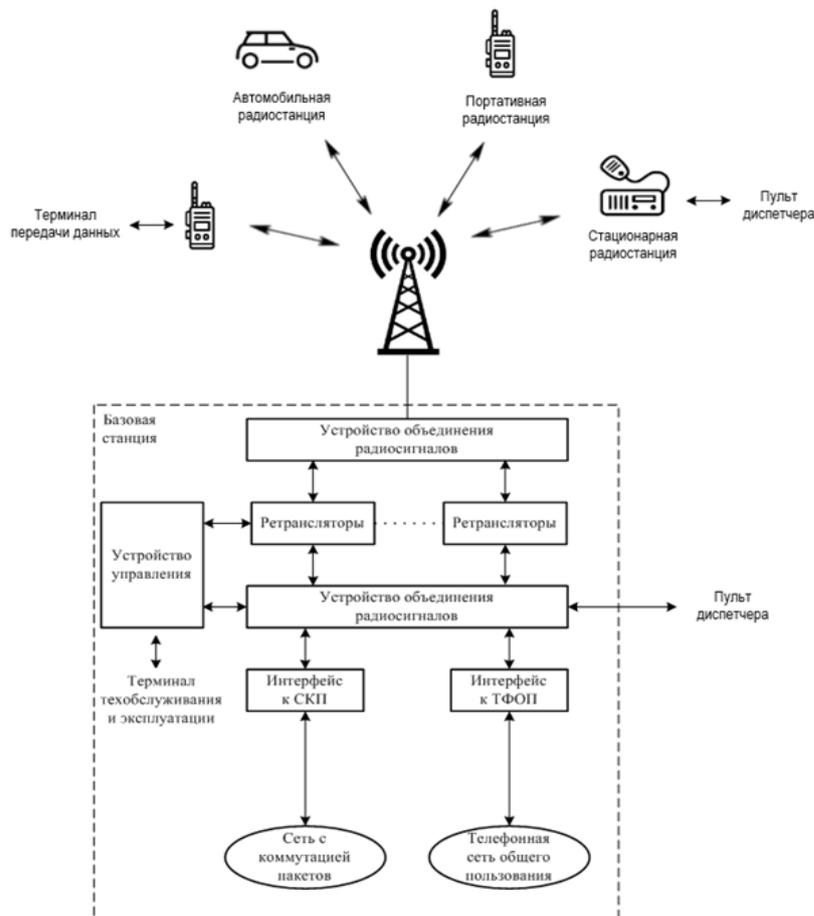


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема однозоновой транкинговой системы

Основная область применения транкинговых систем радиосвязи – крупные коммерческие и государственные организации, МВД, скорая медицинская помощь, МЧС, транспортные компании, муниципальные службы. Важнейшим блоком любой радиостанции является радиоприемное устройство, выполняющее операцию извлечения информации из приходящих радиосигналов. На своем выходе радиоприемник должен сформировать колебание, с заданной степенью точности воспроизводящее передаваемое сообщение.

Для эффективной борьбы с помехами по зеркальному каналу в разработанном приемнике использована инфрадинная схема преобразования частоты. Принцип следующий: приемник принимает сигнал в заданном диапазоне (870...876 МГц) и преобразует его в сигнал промежуточной частоты 1485 МГц, превышающей рабочий диапазон. После усиления сигнал промежуточной частоты 1485 МГц преобразуется в сигнал промежуточной частоты 45 МГц, что упрощает микропроцессорную обработку принятого сообщения.

Функциональная схема приемника и синтезатора частоты радиостанции системы цифровой транкинговой радиосвязи представлена на рисунке 2.

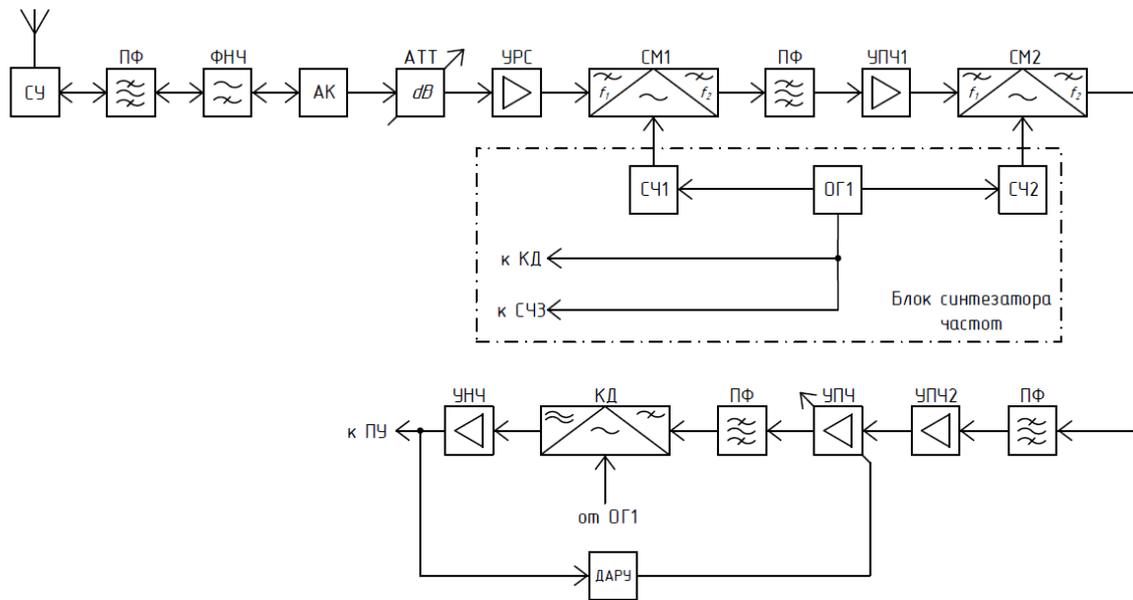


Рисунок 2 – Функциональная схема приемника и синтезатора частоты радиостанции системы цифровой транкинговой радиосвязи

Сигнал от антенны поступает на согласующее антенное устройство (СУ) и далее на неперестраиваемый преселектор, который необходим для подавления побочных каналов приема. В преселектор входят: полосовой фильтр (ПФ) и фильтр нижних частот (ФНЧ). Такая схема позволяет одновременно использовать преселектор приемника в качестве выходного фильтра передатчика радиостанции. С выхода антенного коммутатора (АК) ВЧ сигнал поступает на аттенюатор (АТТ) приемника и далее усиленный в усилителе радиосигналов (УРС) вместе с сигналом с выхода синтезатора частот (СЧ1) поступает на первый смеситель (СМ1). С выхода СМ1 сигнал промежуточной частоты (ПЧ1) поступает на ПФ, который осуществляет ослабление помех по соседнему каналу. После усиления в усилителе промежуточной частоты (УПЧ1) сигнал ПЧ1 и сигнал с выхода СЧ2 поступают на второй смеситель (СМ2). Выделенный фильтром ПФ сигнал промежуточной частоты усиливается в УПЧ2 и регулируемом УПЧ и далее поступает на квадратурный детектор (КД), выделяющий НЧ составляющую модулированного сигнала, которая далее поступает на плату управления и обработки. Для поддержания постоянного уровня сигнала на выходе УНЧ в цепь обратной связи введен детектор автоматической регулировки усиления (ДАРУ), управляющий коэффициентом усиления УПЧ.

Разработанный приемник мобильной радиостанции транкинговой радиосвязи соответствует современным стандартам качества и надёжности. Использование современной элементной базы при проектировании позволяет уменьшить габариты и вес приемника и радиостанции в целом.

**Список использованных источников:**

1. Радиопередающие устройства: учебное пособие / В. В. Шахгильдян [и др.]. – М.: Радио и связь, 2003. – 560 с.
2. Овчинников А. М., Воробьев С. В., Сергеев С. И. Открытые стандарты цифровой транкинговой радиосвязи / А. М. Овчинников, С. В. Воробьев, С. И. Сергеев. – М: Информационно-технический центр "Мобильные коммуникации", 2000. - 166 с
3. Голиков А.М. Системы радиосвязи и сети телерадиовещания: Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2015. – 326 с.

## ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ЖУРНАЛА УСПЕВАЕМОСТИ И ПОСЕЩАЕМОСТИ ЗАНЯТИЙ

*Юркевич В.В., студент гр.244691*

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

*Парафиянович Т.А. – доцент кафедры ИРТ, канд. пед. наук, доцент*

В статье рассматривается актуальность проблемы использования электронного журнала; приведены основные факторы по необходимости замены бумажного журнала в пользу электронного, выявлены недостатки бумажных журналов и особенности использования новых системных технологий в учреждениях образования; проведено исследование внедрения и особенностей использования электронного журнала, в виде анонимного опроса представлена анкета, анализ результатов исследования, сделаны выводы.

Электронный журнал успеваемости и посещаемости занятий имеет большую актуальность в учреждениях образования. Введение электронного журнала позволит значительно упростить процесс ведения учета успеваемости учащихся и упорядочить учебный процесс в целом. Преимущества электронного журнала очевидны.

Во-первых, он позволяет учителям быстро и удобно вести учет оценок и успеваемости обучающихся, а родителям и ученикам получать информацию о результатах обучения в режиме онлайн. Это значительно экономит время на обработку бумажных документов, упрощает доступ к информации и уменьшает вероятность ошибок.

Во-вторых, электронный журнал может содержать информацию о пропущенных уроках, домашних заданиях и замечаниях от учителей. Это позволит родителям и учащимся отслеживать все аспекты учебного процесса и вовремя реагировать на возникающие проблемы.

В-третьих, электронный журнал может быть использован как инструмент для мониторинга успеваемости класса в целом. Учителя могут использовать эту информацию для определения тенденций и проблем в учебном процессе и принятия соответствующих мер. При этом, чтобы электронный журнал был сделан на основе веб-приложения, а не десктопного. Электронный журнал в виде веб-приложения обладает несколькими преимуществами перед десктопным приложением:

- доступность: веб-приложение может быть запущено в любом браузере на любом устройстве с доступом в интернет. Это позволяет ученикам, учителям и родителям получать доступ к журналу из любой точки мира, что делает обмен информацией между всеми участниками образовательного процесса более удобным;

- обновление и поддержка: веб-приложение может быть обновлено централизованно, что означает, что пользователи могут получить доступ к новым функциям и исправлениям ошибок без необходимости обновлять приложение на своем устройстве. Кроме того, также облегчается процесс технической поддержки, так как разработчики могут исправлять ошибки и добавлять новые функции удаленно;

- безопасность: веб-приложение обеспечивает лучшую защиту от хакерских атак и вирусов, поскольку данные хранятся на сервере, а не на устройстве пользователя. Это также означает, что информация может быть легко восстановлена в случае потери или повреждения устройства;

- удобство использования: веб-приложения имеют более привлекательный и интуитивно понятный интерфейс, чем десктопные приложения. Также веб-приложения часто обладают более высокой скоростью работы, чем десктопные приложения, особенно при работе с большим объемом данных [1].

Важные недостатки бумажных журналов включают в себя:

- ручной труд: составление и обработка данных в бумажном журнале требуют большого количества времени и усилий со стороны учителей и администрации школы;

- риск потери данных: бумажные журналы могут быть утеряны или повреждены, что приведет к потере данных о посещаемости, оценках и других важных показателях;

- ограниченность доступа к информации: бумажные журналы могут быть доступны только для просмотра на месте, что может быть неудобно для родителей и учеников;

- ограниченность возможностей анализа и обработки данных: бумажные журналы не позволяют быстро и эффективно анализировать и обрабатывать данные, что может затруднить принятие решений на основе этих данных;

- не экологичность: использование бумажных журналов вредно для окружающей среды, так как требует большого количества древесины и энергии для производства бумаги и транспортировки журналов [2].

Из этих недостатков следует, что бумажные журналы могут быть неэффективным и неудобным средством учета посещаемости, оценок и других важных показателей в образовательном процессе, и их замена на электронные журналы может привести к более эффективному и экологически более безопасному подходу, из этих преимуществ веб-приложение становятся все более востребованным, как для учреждений образования, так и для учителей, обучающихся и их законных представителей.

Веб-приложения – это программные приложения, которые размещаются на веб-сервере и обычно доступны для использования через браузер. В отличие от настольных приложений веб-приложения не требуют установки на локальном компьютере пользователя. Вместо этого пользователи могут получить доступ к веб-приложениям через интернет, используя свой браузер. Они могут выполнять широкий спектр задач, включая работу с базами данных, обработку форм, взаимодействие с пользовательским интерфейсом и т.д. Они часто используются для решения бизнес-задач, например, для управления заказами, учета склада, онлайн-продаж и т.д. [3].

Веб-приложения могут быть созданы на различных языках программирования, таких как PHP, Python, Ruby, Java, JavaScript и т.д. Они могут использовать различные фреймворки и библиотеки для ускорения разработки, повышения производительности и обеспечения безопасности [4].

Электронный журнал – это веб-приложение, которое используется для ведения записей тем урока, посещаемости, успеваемости. Он представляет собой электронную форму журнала, который обычно ведется в письменной форме. Веб-приложение может работать как на сервере для общего доступа, так и встроенный в локальную сеть учреждения для более оптимизированной работы. В нем может быть реализована авторизация, чтобы только авторизованные пользователи имели доступ к изменению журналов [5].

В целом, электронный журнал – это удобный инструмент для ведения записей, облегчающий процесс учета и управления информацией. Ведь он будет предназначен для автоматизации и упрощения в работе с учебными документами для оценки знаний обучающихся.

В целях выявления особенностей использования электронного журнала подведено исследование в виде анонимного опроса.

Для опроса были использованы следующие вопросы:

1. «Как Вы относитесь к использованию электронного журнала вместо бумажного?»
2. «Как часто Вы проверяете результаты успеваемости вашего ребенка по электронному журналу?»
3. «Какая информация важна для Вас в электронном журнале?»
4. «Считаете ли Вы, что электронный журнал позволит лучше контролировать успеваемость обучающегося?»
5. «Какие преимущества видите в использовании электронного журнала в сравнении с бумажным?»
6. «Какие недостатки видите в использовании электронного журнала?»
7. «Как бы Вы предпочли получать уведомления о новых записях в журнале?»
8. «Готовы ли Вы перейти на использование электронного журнала вместо бумажного?»

Опрос был подготовлен на базе «Google Forms» для комфортного использования и быстрого вывода результатов опроса. Опрос показал актуальность данной проблемы и в результате проведенного опроса выяснилось, что абсолютное большинство респондентов выступает за отказ от бумажного журнала в пользу использования электронного журнала, результат обосновывается широким использованием телефонов и возможностью доступа в интернет. Опрос показал, что 82% респондентов интересуется успеваемостью обучающихся, остальные 18% респондентов обращают внимание на посещаемость учебных занятий, что показывает возможность контроля результатов обучения со стороны родителей. Выявлено, что основное преимущество электронного журнала состоит в быстром доступе к нему, что вся важная информация отображается индивидуально каждому пользователю, это повышает конфиденциальность и избавляет респондентов от ненужной информацией. В тоже время 43% респондентов отметили недостаток электронного журнала - необходимостью доступа в интернет, остальные респонденты согласились с тем, что у электронного журнала нет недостатков. При получении уведомления об изменении записей в журнале респонденты посчитали, что лучше всего получать уведомления через мессенджеры (37%) и электронную почту (42%), остальные рассчитывают на уведомления по телефону (21%). Абсолютное большинство респондентов поддерживает замену бумажного журнала на электронным.

Таким образом опрос показал, что имеется заинтересованность как учеников, родителей, так и

учителей. Большинство опрошенных поддерживают идею внедрения электронного журнала. Среди преимуществ, которые выделяют опрошенные, были: удобство использования электронного журнала, возможность получения информации через телефон в режиме реального времени, сохранение ресурсов и сокращение затрат на печать бумажных журналов. На основе данных преимуществ больше подходит вариант веб-приложения, чем десктопные, в связи с его кроссплатформенностью и быстродействием благодаря интернету.

**Список использованных источников:**

1. Как работает в Беларуси «Электронная школа» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/desyatka-na-bolsom-ekrane.html> – Дата доступа: 28.09.2015.
2. Почему бумажная промышленность вредит экологии и как с этим бороться [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://style.rbc.ru/life/5e1e28b29a794779011cc33e> – Дата доступа: 15.01.2020.
3. Общие архитектуры веб-приложений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/architecture/modern-web-apps-azure/common-web-application-architectures> – Дата доступа: 09.03.2023.
4. Как работают веб-приложения [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/450282/> — Дата доступа: 01.05.2019.
5. Электронный журнал и дневник на семейном обучении [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://externat.foxford.ru/polezno-znat/electronic-journal?ysclid=lfzp5jpybw927391890> – Дата доступа: 01.10.2021.

УДК 539.1.074(476)

## РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ, КОМБИНИРОВАННЫЙ ПРИБОР РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

*Яковлев А.С., студент гр.940401*

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

*Научный Руководитель: Рыбаков С.А. – старший преподаватель кафедры ИРТ*

**Аннотация.** В данной работе мы расскажем вам о радиационной обстановке в Республике Беларусь, методах контроля радиационной обстановки, в частности расскажем о комбинированном приборе радиационного контроля окружающей среды.

**Ключевые слова:** радиация, радиационный контроль, универсальный дозиметр, пункты наблюдения радиацией.

**Введение.** Радиационный мониторинг в Республике Беларусь проводится в соответствии с «Инструкцией по технологии работ по организации и проведению радиационного мониторинга», утвержденной приказом Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30.04.2021 г. № 151 – ОД. На территории Республики Беларусь функционируют большое количество пунктов наблюдений радиационного мониторинга атмосферного воздуха.

Универсальный прибор радиационного контроля окружающей среды — это устройство, которое используется для мониторинга радиационного загрязнения окружающей среды. Он может использоваться для измерения радиоактивного загрязнения воздуха, почвы, воды и других объектов.

Такие приборы используются в различных отраслях, включая ядерную энергетику, медицину, науку, экологию и промышленность.

Существует множество различных универсальных приборов радиационного контроля окружающей среды, каждый из которых имеет свои уникальные особенности и преимущества. Некоторые из них могут быть портативными, что позволяет использовать их в полевых условиях, в то время как другие могут быть стационарными и использоваться для постоянного мониторинга в определенной области.

**Основная часть.** На территории Республики Беларусь функционируют пункты наблюдений радиационного мониторинга атмосферного воздуха, включающие:

41 пункт наблюдений, на которых ежедневно проводятся измерения мощности дозы гамма-излучения (далее – МД);

25 пунктов наблюдений, на которых проводятся наблюдения за естественными выпадениями из атмосферы (отбор проб проводится с помощью горизонтальных планшетов ежедневно на 7-ми пунктах, расположенных в зонах влияния работающих АЭС, на остальных пунктах наблюдений – 1 раз в 10 дней);

10 пунктов наблюдений, расположенных в городах Браслав, Гомель, Минск, Могилев, Мозырь, Мстиславль, Пинск, Лынтупы, Нарочь и Ошмяны, на которых проводятся наблюдения за радиоактивными аэрозолями в приземном слое атмосферы (отбор проб проводится с использованием фильтровентиляционных установок на 9 пунктах наблюдений ежедневно, на пункте наблюдений г. Могилев – 1 раз в 10 дней).

В пробах естественных выпадений из атмосферы и аэрозолей определяются такие параметры наблюдений как: суммарная бета-активность; в месячных пробах аэрозолей и в месячных пробах естественных атмосферных выпадений, объединенных по территориальному признаку, – активность гамма-излучающих радионуклидов.

Результаты измерений МД гамма-излучения, суммарной бета-активности естественных выпадений из атмосферы и радиоактивных аэрозолей в воздухе, а также активность гамма-излучающих радионуклидов в объединенных пробах внесены в соответствующие базы данных.

В 4 квартале 2022 г. радиационная обстановка на территории республики оставалась стабильной, не выявлено ни одного случая превышения уровней МД над установленными многолетними значениями.

Средние за 4 квартал 2022 г. значения МД гамма-излучения в пунктах наблюдений Брестской, Витебской, Гродненской и Минской областей не превышали 0,10 мкЗв/ч (10 мкР/ч), на пунктах наблюдений Гомельской и Могилевской областей не превышали 0,12 мкЗв/ч (12 мкР/ч) за исключением уровней, которые зарегистрированы в пунктах наблюдений городов Брагин и Славгород (0,42 мкЗв/ч и 0,18 мкЗв/ч соответственно), находящихся в зонах радиоактивного загрязнения (рис. 1, рис. 2).

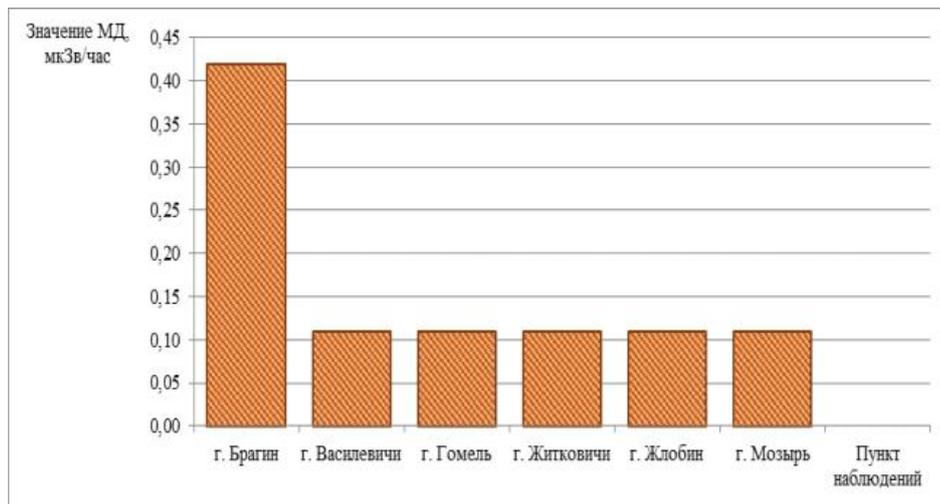


Рисунок 1 – Средние значения МД в пунктах наблюдения радиационного мониторинга Гомельской области в 4 квартале 2022 г.

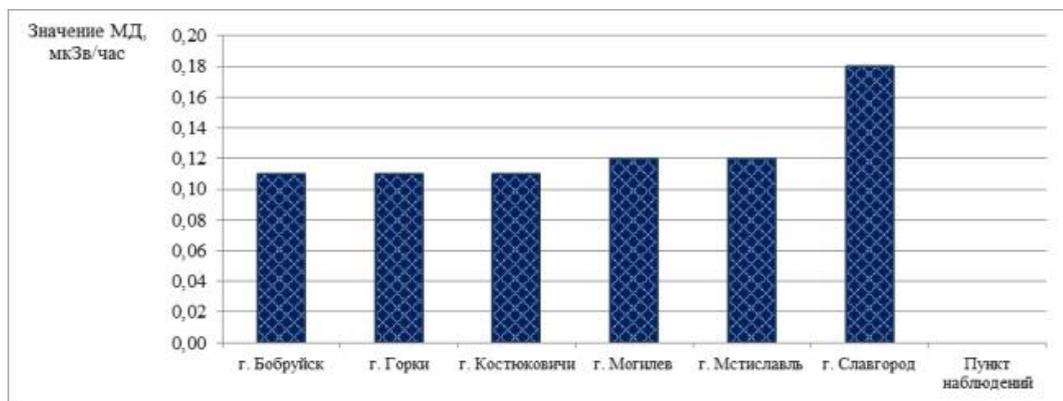


Рисунок 2 – Средние значения МД в пунктах наблюдения радиационного мониторинга Могилевской области в 4 квартале 2022 г.

По данным автоматизированных систем радиационного контроля в 30-км зоне наблюдения Игналинской АЭС, в зоне отчуждения и 100 км зоне Чернобыльской АЭС, а также в 100 км зонах наблюдения Смоленской, Ровенской и Белорусской АЭС в течение 4 квартала 2022 г. превышений уровней МД над установившимися многолетними значениями не установлено.

Комбинированные дозиметры — это портативные приборы, которые используются для измерения уровня ионизирующего излучения в окружающей среде. Они являются незаменимым инструментом для защиты людей, которые работают в области ядерной энергетики, медицины, науки и других отраслях, где есть риск воздействия радиации.

Они обычно имеют три основных функции: измерение дозы радиации, измерение поглощенной дозы и измерение скорости дозы. Эти приборы могут быть использованы как для контроля уровня радиации в местах работы, так и для контроля уровня радиации в окружающей среде.

Одним из главных преимуществ комбинированных дозиметров является их портативность и легкость использования. Они могут быть надежно закреплены на одежде или на поясе, и работают длительное время от батареек или аккумуляторов.

Основной физической величиной в дозиметрии для оценки меры радиационного воздействия на среду является поглощенная доза. Поглощенная доза  $D$  определяется как отношение средней энергии ионизирующего излучения  $dE$ , поглощенной в элементарном объеме вещества, к массе  $dm$  вещества в этом объеме:

$$D = \frac{dE}{dm}$$

За единицу поглощенной дозы излучения в СИ принимается *грей* (Гр).

Внесистемная единица поглощенной дозы излучения *рад*.

Рад соответствует поглощению 100 эрг энергии излучения в 1 г облученного вещества, 1 рад = 0,01 Гр.

В качестве меры воздействия на среду косвенно ионизирующего излучения, к которым относится фотонное излучение, часто используется физическая величина – *керма*.  $K = dE_x / dm$

Чтобы оценить возможность применения газоразрядных счетчиков в дозиметрии фотонного излучения, необходимо установить связь между скоростью счета  $N$  и мощностью воздушной кермы, определяемой соотношением:

$$\dot{K} = \mu_{кмВ} \cdot I_{\gamma} = \mu_{кмВ} \cdot E_{\gamma} \cdot \varphi,$$

где  $I$  – интенсивность излучения;

$\mu_{кмВ}$  – массовый коэффициент передачи энергии фотонного излучения для воздуха;

$E$  – энергия фотонов;

$\varphi$  – плотность потока фотонов.

Счетчик регистрирует только часть фотонов, падающих на поверхность катода. При этом эффективность регистрации определяется соотношением:

$$\varepsilon = \frac{N}{S \cdot \varphi},$$

где  $N$  – число разрядов в счетчике в единицу времени;

$S$  – площадь рабочей поверхности счетчика (катода).

$$\dot{K} = \mu_{кмВ} \cdot E_{\gamma} \cdot \frac{N}{S \cdot \varepsilon}.$$

Используемая при операционном дозиметрическом контроле мощность AMBIENTНОГО эквивалента дозы определяется соотношением:

$$P = H^*(10) = \dot{K} \cdot f(10),$$

где  $f(10)$  – коэффициент перевода мощности воздушной кермы (Гр/с) в мощность AMBIENTНОГО эквивалента дозы, Зв/с.

Таблица 1 - Коэффициенты перевода от кермы в воздухе  $K$  и экспозиционной дозы  $X$  к эквивалентной дозе в зависимости от энергии фотонного излучения.

Энергия фотонов , МэВ	Коэффициент перехода $f(10)$ , Зв/Гр	Коэффициент перехода $f'(10)$ , Зв/100 Р
0.06	1.74	1.52
0.134	1.52	1.34
0.662	1.2	1.03
1.25	1.16	1.02

Коэффициент перевода  $f(10)$  и  $f'(10)$  от воздушной кермы  $K$  и экспозиционной дозы  $X$  к AMBIENTНОМУ эквиваленту дозы  $H^*(10)$  в зависимости от энергии гамма-излучения.

В настоящее время на рынке представлено множество различных моделей универсальных дозиметров. Они различаются по диапазону измерения, точности, времени работы и другим характеристикам. Однако все они имеют одну общую цель - защиту людей от воздействия ионизирующего излучения. Схема комбинированного прибора радиационного контроля окружающей среды представлена ниже (рис. 3).

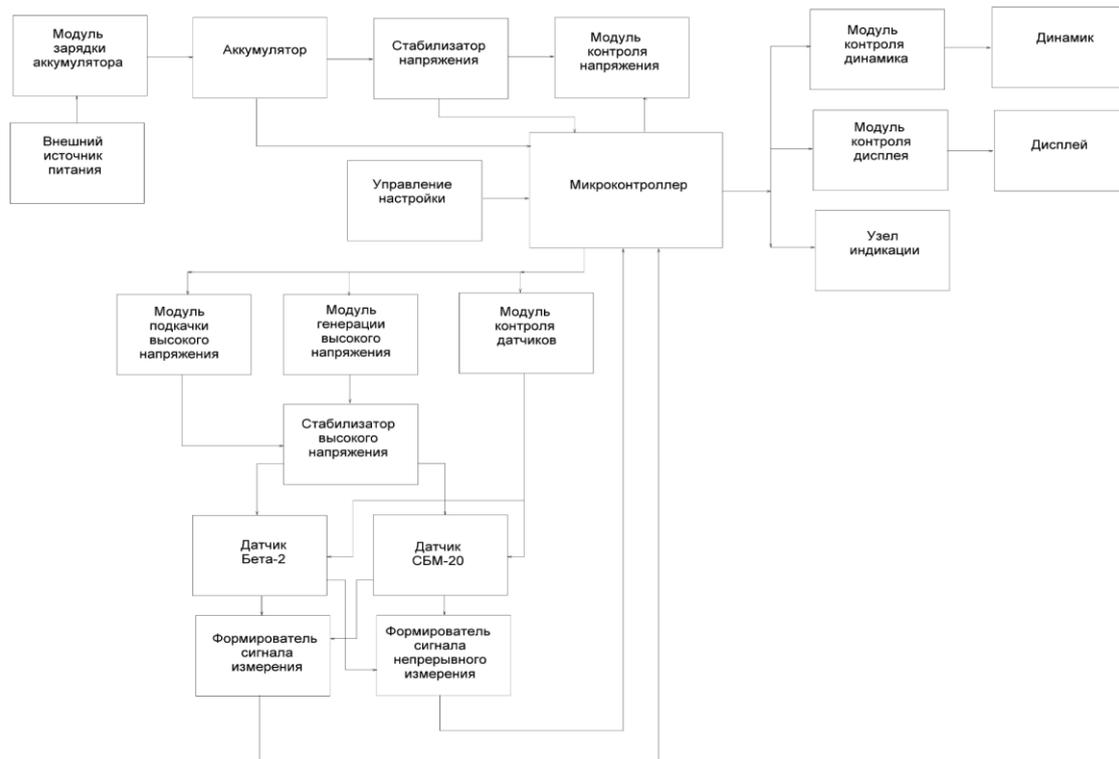


Рисунок 3 – Структурная схема комбинированного прибора радиационного контроля окружающей среды.

Устройство и принцип работы прибора радиационного контроля окружающей среды на примере счетчика Гейгера-Мюллера. Как правило такой счетчик выполняется в виде герметичной трубки, стеклянной или металлической, из которой откачан воздух, а вместо него добавлен инертный газ (неон или аргон или их смесь) под небольшим давлением, с примесью галогенов или спирта. По оси трубки натянута тонкая проволока, а коаксиально с ней расположен металлический цилиндр. И трубка, и проволока являются электродами: трубка – катод, а проволока – анод. К катоду подключают минус от источника постоянного напряжения, а к аноду – через большое постоянное сопротивление – плюс от источника постоянного напряжения. Электрически получается делитель напряжения, в средней точке которого (место соединения сопротивления и анода счетчика) напряжение практически равно напряжению на источнике. Обычно это несколько сотен вольт.

Когда сквозь трубку пролетает ионизирующая частица, атомы инертного газа, и так находящиеся в электрическом поле большой напряженности, испытывают столкновения с этой частицей. Энергии, отданной частицей при столкновении, хватает для отрыва электронов от атомов газа. Образующиеся вторичные электроны сами способны образовать новые столкновения и, таким образом, получается целая лавина электронов и ионов. Под действием электрического поля, электроны ускоряются в направлении анода, а положительно заряженные ионы газа – к катоду трубки. Таким образом, возникает электрический ток. Но так как энергия частицы уже израсходована на столкновения, полностью или частично (частица пролетела сквозь трубку), то кончается и запас ионизированных атомов газа, что является желательным и обеспечивается кое-какими дополнительными мерами, о которых мы поговорим при разборе параметров счетчиков.

При попадании в счетчик Гейгера-Мюллера заряженной частицы, за счет возникающего тока падает сопротивление трубки, а вместе с ним и напряжение в средней точке делителя напряжения, о которой шла речь выше. Затем сопротивление трубки вследствие возрастания ее сопротивления восстанавливается, и напряжение опять становится прежним. Таким образом, мы получаем отрицательный импульс напряжения. Считая импульсы, мы можем оценить число пролетевших частиц. Особенно велика напряженность электрического поля вблизи анода из-за его малых размеров, что делает счетчик более чувствительным.

Использование комбинированных приборов радиационного контроля окружающей среды является важным элементом безопасности при работе с радиоактивными материалами или в зоне воздействия радиации. При правильном использовании эти приборы помогают предотвратить воздействие радиации на здоровье человека.

Комбинированные дозиметры имеют несколько преимуществ перед другими типами дозиметров, так как они могут измерять дозу излучения различных типов (гамма, бета, альфа-излучения), имеют большой диапазон измерений и могут быть перезаписаны и использованы многократно. Однако, несмотря на все преимущества универсальных дозиметров, они не могут полностью заменить специализированные дозиметры, которые могут обладать большей точностью и чувствительностью в

конкретных задачах. Также необходимо учитывать, что универсальные дозиметры не могут защитить от радиации, они лишь предоставляют информацию о дозе излучения.

**Заключение.** В 4 квартале 2022 г. радиационная обстановка в республике Беларусь оставалась стабильной. На территориях, загрязненных в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, в пунктах наблюдения радиационного мониторинга повышенные уровни МД, как и прежде сохранялись в городах Брагин и Славгород (0,42 мкЗв/ч и 0,18 мкЗв/ч соответственно). На остальной территории Республики Беларусь уровни МД составляли от 0,10 до 0,12 мкЗв/ч. Оперативная информация, поступавшая с автоматических пунктов измерений, также свидетельствует о стабильности радиационной обстановки в зонах влияния Чернобыльской, Игналинской, Смоленской, Ровенской и Белорусской АЭС.

Универсальные дозиметры играют важную роль в обеспечении безопасности от излучения и могут быть использованы в различных сферах деятельности, но для более точных и специализированных измерений может потребоваться применение других типов дозиметров.

**Список использованных источников:**

1. Радиационная обстановка 4 кв. [электронный ресурс] // Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Минприроды Республики Беларусь, 2022. URL: <https://rad.org.by/articles/radiation/radiacionnaya-obstanovka-4-kv-2022-2.html>
2. Руководство по работе с приборами радиационного контроля (II) / Гурачевский В.Л[и др.] // Методическое пособие, 2015.

UDC 539.1.074(476)

## **RADIATION SITUATION IN THE REPUBLIC OF BELARUS, COMBINED RADIATION MONITORING DEVICE**

*Yakauleu A.S.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics<sup>1</sup>, Minsk, Republic of Belarus*

*Rybakov S.A. – Senior Lecturer of the Department of IRT*

**Annotation.** In this paper, we will tell you about the radiation situation in the Republic of Belarus, methods of monitoring the radiation situation, in particular, we will tell you about the combined device for environmental radiation monitoring.

**Keywords.** Radiation, radiation monitoring, universal dosimeter, radiation observation points.

## РОЛЬ ЭМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА В ПРОЦЕССЕ СОЦИАЛЬНОГО ПОЗНАНИЯ

*Яскевич В.И., студент гр.144691*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники<sup>1</sup>  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Парафиянович Т.А. – доцент кафедры ИРТ, канд. пед. наук, доцент*

**Аннотация.** Социальное познание - сложный, комплексный процесс познания одного человека другим, одна из областей, изучаемых социальной психологией, где исследуются механизмы того, как человек перерабатывает, хранит и использует информацию о других людях и социальных ситуациях. Проведено исследование по анализу уровня эмоционального интеллекта, проведен анонимный опрос, представлен сравнительный анализ результатов исследования, сделаны выводы.

**Ключевые слова.** Эмоциональный интеллект, эмоции, социальное познание, социальная адаптация.

Одним из основных источников развития социального познания человека является социальная среда – то окружение, которое, воздействуя на него, побуждает согласовывать свои действия, поведения, стиль общения с требованиями морали и культуры общества и данной социальной группы, в частности.

Воздействие социальной среды человек испытывает на протяжении всей жизни, начиная с самого раннего возраста. Особенно оно значимо в психологически сложные периоды жизни – периоды психологического кризиса – перестройки взаимоотношений с окружающими людьми, формирования ценностных представлений о себе и окружающем мире [1]. Для человека социум является той средой, в которой он реализует свои потребности, где он приобретает главные личностные черты. Человек не играет пассивной роли в своем социальном становлении. Он имеет определенные задатки, у него формируется индивидуальность, он активен в социальном познании. Социальное познание — это процесс взаимного познания людьми друг друга в рамках общения и других способов взаимодействия. Кроме того, социальное познание – это область знаний, которая изучает особенности взаимодействия людей и всевозможные социальные ситуации [2].

Так как человек живет и формируется социуме через отношение к другим людям у него устанавливается отношение к самому себе. У человека формируются правильные и неправильные чувственные восприятия мира, преувеличенная или преуменьшенная самооценка, уверенность в себе или мнительность, самолюбие, гордость, обидчивость, тщеславие, неуверенность, честолюбие и т.д. Поэтому для лучшей адаптивности и эффективности в общении человеку необходимо понимать свои эмоции и эмоции других людей. Для оценки способности к управлению и пониманию собственных эмоций и эмоций других людей используется оценка уровня эмоционального интеллекта.

В ряде современных теорий эмоция рассматривается как особый тип знания. В соответствии с данным подходом к пониманию эмоций выдвигается понятие эмоциональный интеллект, который определяется как: способность действовать с внутренней средой своих чувств и желаний; способность понимать отношения личности, репрезентируемые в эмоциях, и управлять эмоциональной сферой на основе интеллектуального анализа и синтеза; совокупность эмоциональных, личных и социальных способностей, которые оказывают влияние на общую способность кого-либо эффективно справляться с требованиями и давлением окружающей среды [3].

Обобщая данные определения, можно отметить, что индивиды с высоким уровнем развития эмоционального интеллекта обладают выраженными способностями к пониманию собственных эмоций и эмоций других людей, к управлению эмоциональной сферой, что обуславливает более высокую адаптивность и эффективность в общении. В отличие от абстрактного и конкретного интеллекта, которые отражают закономерности внешнего мира, эмоциональный интеллект отражает внутренний мир и его связи с поведением личности и взаимодействием с реальностью [4].

Проведенное исследование представляло собой онлайн-опрос среди студентов, целью которого была оценка уровня эмоционального интеллекта. Для проведения опроса был выбран опросник «Эмоциональный интеллект» (ЭМИн) разработанный Люсиным Дмитрием Владимировичем [5].

В структуре опросника выделяется 4 шкалы: МЭИ (межличностный эмоциональный интеллект); ВЭИ (внутриличностный эмоциональный интеллект); ПЭ (понимание эмоций); УЭ (управление эмоциями). В свою очередь, в эти шкалы объединены пять субшкал:

- МП (понимание чужих эмоций). Диагностирует способность к пониманию эмоционального состояния человека на основе внешних проявлений эмоций и/или интуитивно (чуткость к внутренним состояниям других людей).

- МУ (управление чужими эмоциями). Диагностирует способность вызывать у других людей те или иные эмоции, снижать интенсивность нежелательных эмоций. Возможно, склонность к манипулированию людьми.

- ВП (понимание своих эмоций). Диагностирует способность к осознанию своих эмоций: их распознавание и идентификация, понимание причин их возникновения, способность к вербальному описанию.
- ВУ (управление своими эмоциями). Диагностирует способность и потребность управлять своими эмоциями, вызывать и поддерживать желательные эмоции и держать под контролем нежелательные.
- ВЭ (контроль экспрессии) Диагностирует контролировать внешние проявления своих эмоций [5].

В качестве опрашиваемых выбраны обучающиеся БГУИР. Принято решение проводить опрос в онлайн формате с помощью платформы «OnlineTestPad». В опросе приняло участие 23 респондента в возрасте от 18 до 21 года.

На основании данных полученных в результате опроса можно определить уровень общего эмоционального интеллекта респондентов. Сведения об уровне общего эмоционального интеллекта респондентов представлены на рисунке 1 в виде круговой диаграммы.

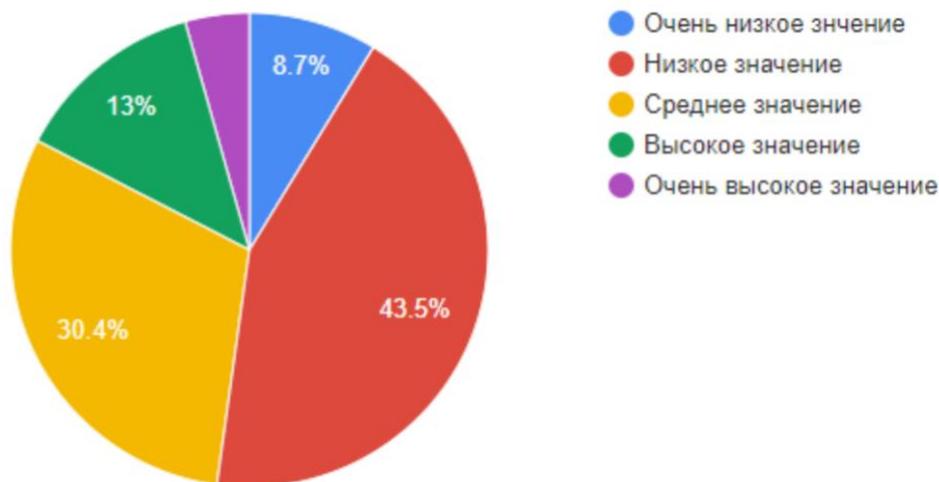


Рисунок 2.2.4 – Сведения об уровне общего эмоционального интеллекта респондентов

По результатам опроса, полученная информация была обработана и сгруппирована. На её основе определено, что у 47,8% респондентов общий уровень эмоционального интеллекта средний или выше среднего. Таким образом, особого внимания заслуживает вопрос развития и совершенствования эмоционального интеллекта в процессе обучения, поскольку эмоции являются неотъемлемой частью нашей жизни и умение распознавать, осознавать и управлять ими необходимо человеку для комфортного взаимодействия с социумом. Навык помогает решать практические задачи и достигать поставленных целей в жизни и на работе. Люди с развитым эмоциональным интеллектом умеют договариваться с другими людьми, принимать решения и правильно реагировать на негативные ситуации. Через эмоции мы реагируем на события, слова и обстоятельства. Если их не понимать, происходящее будет искажаться. Человек с развитым эмоциональным интеллектом реагирует на причины, а не действия или эмоции. Это помогает ему правильно воспринимать критику, понимать других людей и отвечать им адекватной реакцией.

В настоящее время наиболее эффективными методами развития эмоционального интеллекта являются следующие: групповой тренинг; индивидуальный тренинг; коучинг; тренинг в семейно-общественных центрах; семейное воспитание.

Важность развития эмоционального интеллекта подтверждают многочисленные исследования, свидетельствующие о том, что около 80% успеха в социальной и личной сферах определяет именно уровень развития эмоционального интеллекта, и лишь 20% всем известный IQ – коэффициент умственного развития. Этот вывод ученых изменил традиционные взгляды на природу личностного успеха и развития человеческих способностей: совершенствование логического мышления и расширение кругозора еще не является залогом успеха в жизни.

**Список использованных источников:**

1. Андреева Г. М. Социальная психология. - М.: Изд-во МГУ, 2014.
2. Социальное познание: понятие, методы, функции, особенности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dnevnik-znaniy.ru/obshestvo/socialnoe-poznanie.html>
3. Понятие и структура эмоционального интеллекта (Андреева И.Н.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://psixologiya.org/socialnaya/emocionalnyj-intellekt/1593-ponyatie-i-struktura-emocionalnogo-intellekta-andreeva-in.html>
4. Эмоциональный интеллект: исследования феномена [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://andreeva.by/emocionalnyj-intellekt-issledovaniya-fenomena.html>
5. Люсин Д. В. Опросник на эмоциональный интеллект ЭМИн: новые психометрические данные // В кн.: Социальный и эмоциональный интеллект : от процессов к измерениям / Отв. ред.: Д. В. Люсин, Д. Ушаков. М. : Институт психологии РАН, 2009

## Секция «Микро- и нанoeлектроника»

- Моделирование выходных характеристик полевых транзисторов на однослойном графене..... 111**  
*М. В. Харевич*  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь
- Эффект Холла в наноразмерной пленке моносилцида железа ..... 113**  
*Н. В. Медведева, Д. Б. Мигас*  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь
- Корреляционные функции случайной анизотропии двумерной системы ферромагнитных наночастиц..... 115**  
*Е. С. Назаренко*  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь
- Электронные свойства бистабильных электронных состояний в диоксиде гафния..... 118**  
*А. А. Назаренко*  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь
- Влияние эффекта взаимодиффузии на границах раздела на поперечную фононную теплопроводность в слоистых тонкопленочных структурах Ge/Si(001) ..... 121**  
*А. Л. Хомец, Д. Б. Мигас*  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь
- Фазовый состав, магнитные и электрические свойства магнетита, синтезированного методом термобарического воздействия. .... 123**  
*И. А. Греков<sup>1,2</sup>, Д. Б. Мигас<sup>1</sup>, А. В. Труханов<sup>2</sup>*  
<sup>1</sup> Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь  
<sup>2</sup> ГО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», г. Минск, Республика Беларусь
- Вольт-амперные характеристики структур  $p$ -Si/BaTiO<sub>3</sub> в условиях монохроматического освещения в диапазоне 400–800 нм ..... 127**  
*Г. М. Гришин, Ю. Д. Корнилова, Е. В. Чубенко, Н. В. Гапоненко, Д. А. Голосов*  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь
- Аппаратные тройны: внедрение и проблемы обнаружения ..... 129**  
*А. Ю. Воронов, В. Р. Стемпицкий*  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь
- Формирование наноразмерных пленок оксида титана электрохимическим анодированием и исследование их гидрофильных свойств ..... 132**  
*К. А. Антипов, Н. Н. Стешин, С. К. Лазарук, А. А. Ярмольчик, В. Н. Дударенко, В. В. Мазуров.*  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

**Построение и применение систем генерации плазмы диэлектрического барьерного разряда с жидкостным электродом ..... 137**

*Е. К. Железнова, Д. А. Котов*

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

**Наноразмерные транзисторы с кольцевым затвором на основе сегнетоэлектриков ..... 140**

*К. О. Волчик, И. Ю. Ловшенко*

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

**Дальнодействующее обменное взаимодействие в углеродных нанотрубках с наночастицами железа ..... 142**

*М. В. Шарейко*

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

**Влияние рассеяния заряженных частиц на рабочем газе на профиль выработки мишени при магнетронном распылении ..... 144**

*В. В. Шекелевский, Д. А. Котов*

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

**Влияние УФ-излучения на оптические свойства оксида цинка ..... 147**

*К. О. Янушкевич*

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

**Влияние концентрации цитрата натрия на SERS-активность наночастиц серебра, полученных методом Туркевича ..... 150**

*А. А. Борисюк, А. В. Бондаренко*

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

**Влияние внешнего магнитного поля в реакторе осаждения алмазоподобных углеродных покрытий на генерацию индуктивно-связанной плазмы ..... 154**

*П. Д. Товт, Н. В. Леонович, Д. А. Котов*

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

**Сравнение параметров и возможностей моделей гетеропереходных биполярных транзисторов на основе GaAs ..... 157**

*П. С. Кратович<sup>1,2</sup>, И. Ю. Ловшенко<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> ОАО «Минский НИИ радиоматериалов», г. Минск, Беларусь

**Микроболометры на основе пленок аморфного кремния и оксида ванадия ..... 159**

*Н. С. Ган, К. В. Корсак, Ч. В. Чиеу, И. Ю. Ловшенко*

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

**Базовый логический элемент программируемой логической интегральной схемы ..... 161**

*П. Э. Новиков, К. В. Корсак, И. Ю. Ловшенко*

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

**Выбор схемотехнического решения генератора для формирования плазмы диэлектрического барьерного разряда ..... 163**

*К. И. Меледин, А. В. Аксютин*

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

**Гистерезис вольтамперных характеристик пленочных структур g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. 167**

*В.Т. Фам, С. Е. Максимов*

**Синтез и исследование фотокаталитически активных тонкопленочных гетероструктур TiO<sub>2</sub>+g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ..... 169**

*М. А. Евсейчик<sup>1,2</sup>, С. Е. Максимов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

**Устойчивость пленок графитоподобного нитрида углерода в жидких средах ..... 171**

*Д. Д. Морозова, С. Е. Максимов, В. Е. Борисенко*

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

**Применение графена в строительстве и архитектуре ..... 173**

*С. И. Тузик, В. В. Янушкевич, Д. О. Колос, Д. Ч. Гвоздовский*

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

**Ап-конверсионная фотолюминесценция в многослойных структурах BaTiO<sub>3</sub>:(Er, Yb), сформированных золь-гель методом..... 176**

*Е.И. Лашковская, Ю.Д. Корнилова, Н.В. Гапоненко*

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

**Формирование и оптические свойства нанокompозитов из графитоподобного нитрида углерода в ПММА..... 178**

*С. Е. Максимов, Е. Д. Паршаков, В. Е. Борисенко*

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

**Напряжение холостого хода в гетероструктуре оксид молибдена/кремний при облучении солнечным светом..... 183**

*И. Д. Самойлич*

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

**Технология холодной атмосферной плазмы и ее применение для обработки поверхности и нанесения покрытий ..... 185**

*Б.З. Хамаде, Д.А. Котов*

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

## **Моделирование выходных характеристик полевых транзисторов на однослойном графене**

*М. В. Харевич*

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

Графен находится в центре постоянно расширяющейся области исследований. Оптические, электрические и механические свойства графена идеально подходят для создания микро- и наномеханических систем, прозрачных и роводящих электродов и фотоники. Графен по сравнению с известными полупроводниковыми материалами обладает рядом уникальных свойств, что позволяет на его основе создавать перспективные приборные структуры наноэлектроники. На сегодняшний момент не существует промышленного способа получения графена, но предполагается, что его хорошая проводимость поможет создать транзисторы с высокой подвижностью носителей и по этому показателю превзойти подвижность в полевых транзисторах на основе кремниевой технологии.

**Ключевые слова:** графен, полевой транзистор, выходные характеристики, моделирование, однослойный графен, многослойный графен, передаточные характеристики.

Графен – это однослойный материал, состоящий из углерода, который обладает уникальными свойствами, такими как высокая электропроводность, высокая прочность и гибкость. Из-за этих свойств, графен имеет потенциал для использования в микро и наноэлектронике.

Одной из перспектив использования графена является создание новых поколений транзисторов. Транзисторы на основе графена могут работать на более высоких частотах, иметь большую скорость переключения и быть более энергоэффективными, чем традиционные кремниевые транзисторы. Графен имеет очень маленькую длину свободного пробега для электронов. Это означает, что электроны могут быстро перемещаться через материал, что позволяет создавать транзисторы с очень маленьким временем реакции.

Графен также может использоваться для создания более эффективных и компактных микрочипов, так как он может быть использован для создания более маленьких транзисторов и других компонентов электронных устройств. Еще одним потенциальным применением графена является создание новых видов сенсоров. Графен может быть использован для создания сенсоров, которые могут обнаруживать газы, химические вещества и другие загрязнители в окружающей среде. Кроме того, графен может использоваться в микроэлектронике для создания электродов и других компонентов, которые могут использоваться в электронных устройствах, таких как солнечные батареи, батареи и дисплеи.

Однако, несмотря на все перспективы использования графена в микро и наноэлектронике, до сих пор его промышленное производство и применение ограничены из-за технологических сложностей и высокой стоимости производства. На данный момент графен является одним из самых перспективных материалов с точки зрения своих свойств, как оптических, так и электрических и электромеханических, что позволяет на его основе создавать приборы с перспективными характеристиками, однако на данном этапе приборы на основе графена содержат некоторые минусы, как пропускание тока в закрытом состоянии [3].

Расчеты выходных характеристик полевого транзистора на однослойном графене проводились с применением комбинированных моделей [1,2]. Программы, реализующие модель, являются частью программного комплекса NANODEV, разрабатываемую в БГУИР с 1995 г. [1,2].

На рис. 1 представлено влияние температуры на выходные характеристики полевого транзистора на однослойном графене. Измерения были проведены при постоянном напряжении на стоке  $V_d = 0,4$  В и при различной температуре, изменяющейся на 20 К в диапазоне 280 – 340 К.

Исходя из проведенных измерений выявлена зависимость выходных характеристик от температуры. Как видно из графика при повышении температуры увеличивается и плотность тока, а также увеличивается напряжение Дирака для верхнего затвора, при котором наблюдается минимальное пропускание тока в полевом транзисторе на однослойном графене. Подобного рода исследования позволяют путём моделирования и низких затрат определить рентабельность производства практических экземпляров, а также заранее выявить влияние тех или иных свойств на заданный транзистор, что позволяет получать экспериментально приборы с заданными свойствами.

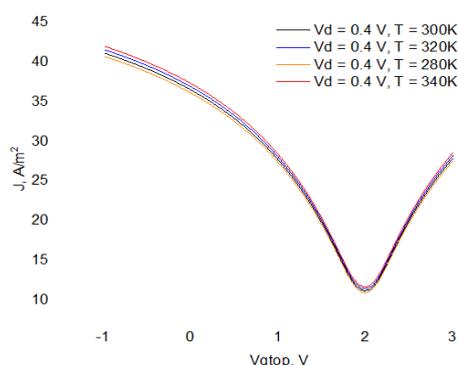


Рис. 1. Выходные характеристики полевого транзистора на однослойном графене

Несмотря на многообещающие свойства графена, есть несколько основных минусов, которые могут ограничить его использование в производстве микроэлектроники. Производство графена требует очень высоких технологических требований и дорогостоящего оборудования. Также существует проблема с качеством и чистотой полученного графена, что может влиять на производительность конечного продукта. Отсутствие запретной зоны – графен является полупроводником с нулевой запретной зоной, что делает его не подходящим для создания конденсированных структур, таких как транзисторы с положительным и отрицательным типами проводимости. Нестабильность – графен очень чувствителен к окружающей среде и может легко деградировать под воздействием влаги, тепла и других факторов, что делает его неустойчивым и не надежным материалом для использования в микроэлектронике. На данный момент нет единой технологии для производства графена, что означает, что каждый производитель должен разрабатывать свои собственные методы производства и оптимизировать их под свои нужды. Это усложняет стандартизацию и масштабирование производства графена [3].

В целом, графен имеет огромный потенциал для использования в микроэлектронике и нанoeлектронике, но на данный момент есть ряд технологических и экономических проблем, которые ограничивают его применение в промышленности. Развитие технологий моделирования позволит избежать лишних затрат в будущем.

#### Список источников

- [1] **Абрамов, И. И.** Основы моделирования элементов микро- и нанoeлектроники / И. И. Абрамов. – Germany, Saarbrücken, 2016. – 444с.
- [2] **Абрамов, И. И.** Моделирование полевых графеновых транзисторов с одним и двумя затворами / И. И. Абрамов и др. // Нано- и микросистемная техника. – 2017. – С 714 – 717.
- [3] **F. Schwierz.** Graphene transistors. Nature Nanotech. – 2010. – Vol.5. – P.487 – 496.

## Эффект Холла в наноразмерной пленке моносилицида железа

*Н. В. Медведева, Д. Б. Мигас*

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

В данной работе проведен анализ и обработка экспериментальных данных по измерению удельного сопротивления, магнитосопротивления и коэффициента Холла наноразмерной пленке моносилицида железа толщиной 3,8 нм. На основе результатов измерений коэффициента Холла и удельного сопротивления проведены расчеты компонентов тензора проводимости и установлены закономерности влияния на них напряженности магнитного поля. Представлены возможные механизмы для объяснения полученных результатов по измерению эффекта Холла.

**Ключевые слова:** моносилицид железа, коэффициент Холла, тензор проводимости, магнитосопротивление.

Синтез и исследование свойств наноразмерных пленок моносилицида железа FeSi актуально для поиска новых материалов в области спинтроники и наноэлектроники. Проблема наведенного магнетизма в наноструктурах, созданных на основе моно- и дисилицидов железа привлекает большое внимание экспериментаторов и теоретиков [1]. В этой связи важны исследования транспортных свойств наноразмерных пленок моносилицида железа, в том числе магнитосопротивления и проявления эффекта Холла. В данной работе проведен анализ и обработка экспериментальных данных по измерению удельного сопротивления, магнитосопротивления и коэффициента Холла наноразмерной пленки моносилицида железа толщиной 3,8 нм. Температурные зависимости магнитосопротивления при фиксированных напряженностях магнитного поля носят немонотонный характер. Они характеризуются одним максимумом в области 100–150 К. Измеренные температурные зависимости коэффициента Холла при различных напряженностях магнитного поля говорят о том, что его величина также экстремально зависит от температуры. Характерные величины коэффициента Холла лежат в области 0,02–0,5 см<sup>3</sup>/Кл, а его знак положительный. Это говорит о том, что основными носителя заряда являются дырки, а изменение в 5 раз в области  $T=50\text{--}100$  К обуславливается по всей видимости резким изменением концентрации носителей заряда. Также из экспериментальных данных следует что коэффициент Холла зависит от напряженности магнитного поля, что указывает на наличие или аномального эффекта Холла, или на существование вклада в проводимость также и носителей заряда противоположного знака (электронов). Измерения Холла обычно используются для определения электротранспортных свойств материалов. В этих экспериментах измеряют удельное сопротивление  $\rho(H)$  и коэффициент Холла  $R_H$ , которые связаны с компонентами электропроводности соотношениями [2]

$$\rho(H) = \left[ \frac{\sigma_{xx}(H)}{[\sigma_{xx}^2(H) + \sigma_{xy}^2(H)]} \right], \quad (1)$$

$$R_H(H) = - \left( \frac{1}{H} \right) \left[ \frac{\sigma_{xy}(H)}{[\sigma_{xx}^2(H) + \sigma_{xy}^2(H)]} \right], \quad (2)$$

где  $H$  — напряженность магнитного поля,  $\sigma_{xx}$  — продольная проводимость,  $\sigma_{xy}$  — холловская (поперечная) проводимость. С помощью (1), (2) были рассчитаны компоненты тензора проводимости в магнитном поле. На рис.1 приведены рассчитанные из экспериментальных данных по измерению удельного сопротивления и коэффициента Холла зависимости продольной и поперечной проводимости от напряженности магнитного поля при различных температурах. Как можно видеть, наблюдается снижение продольной

проводимости с ростом магнитного поля и ее немонотонный характер с ростом температуры. В зависимости от температуры величина продольной проводимости меняется более существенно, достигая почти 3 раз. Максимум приходится на температуры 100–150 К. Зависимость холловской проводимости от температуры является немонотонной с одним максимумом. Существенный рост поперечной проводимости приходится на температурный диапазон 100–150 К, когда ее изменение в магнитном поле достигает 2–2,5 раза. При температуре 50–70 К ее величина почти не меняется, а при 250 К увеличивается почти в 2 раза, но в области 12–25 См/см.

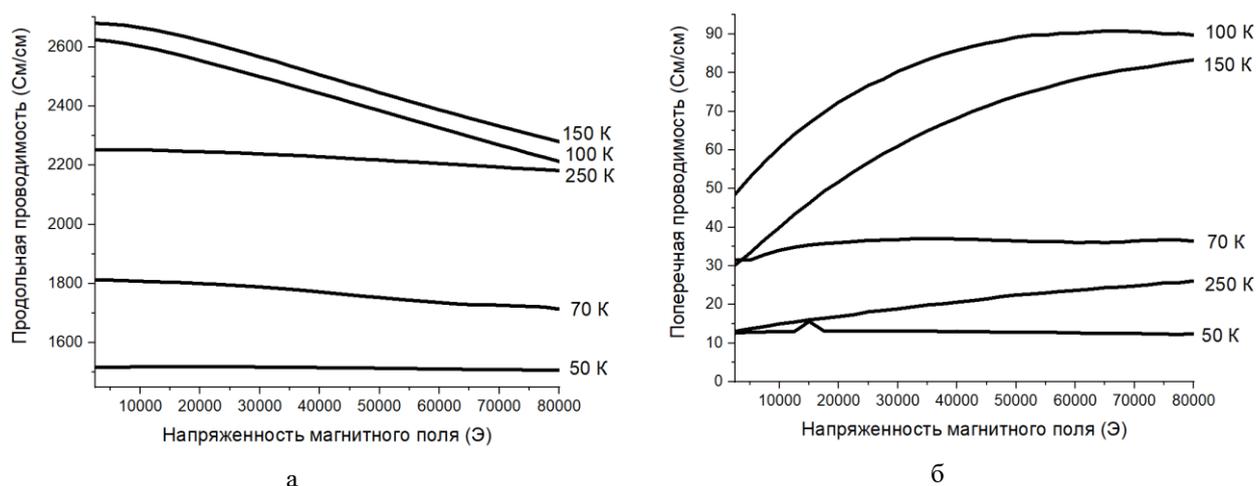


Рис. 1. Зависимости продольной (а) и поперечной (б) проводимости от напряженности магнитного поля моносилцида железа толщиной 3,8 нм

Полученные результаты говорят о том, что пленки моносилцида железа показывают нетривиальные транспортные свойства, связанные по всей видимости с проявлением различных спин-зависимых механизмов рассеяния носителей заряда, в том числе, возможно, эффекта Кондо, слабой локализации на фоне влияния спин-орбитального взаимодействия, индуцированного магнитными атомами железа. Проявление эффекта Кондо может быть связано со спин-зависимым рассеянием на атомах железа. Проявление слабой локализации состоит в росте сопротивления, что и наблюдается. Однако приложение магнитного поля с такой напряженностью обычно приводит к подавлению эффекта слабой локализации и возникновению слабой антилокализации (отрицательное магнитосопротивление). Однако экспериментально это не зафиксировано, а наоборот, магнитное поле приводит к росту сопротивления. В связи с тем, что в данном случае нормальный эффект Холла отсутствует, из-за наличия зависимости коэффициента Холла от магнитного поля, то предполагается, что в данном случае существенен вклад спин-орбитального взаимодействия, которое как раз и ведет к сохранению слабой локализации в магнитном поле. Данный эффект связан с процессом спин-орбитального рассеяния носителя заряда

#### Список источников

- [1] **Liang, S.** Magnetic iron silicide nanowires on Si(110) / S. Liang, R. Islam, D. J. Smith, P. A. Bennett, J. R. O'Brien, B. Taylor // *Applied Physics Letters*. — 2006. — Vol 88. — № 11. — P. 113111(3pp.). — DOI: 10.1063/1.2185610.
- [2] **Beck, W. A.** Determination of electrical transport properties using a novel magnetic field dependent Hall technique / W. A. Beck, J. R. Anderson // *Journal of Applied Physics*. — 1987. — Vol 62. — № 2. — P.541-554. — DOI: 10.1063/1.339780.

## Корреляционные функции случайной анизотропии двумерной системы ферромагнитных наночастиц

*Е. С. Назаренко*

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

В данной работе представлены результаты расчетов корреляционных функций осей случайной анизотропии двумерной системы ферромагнитных наночастиц на поверхности твердого тела с помощью интегрального преобразования Мейера, описывающего закон приближения к намагниченности насыщения. Рассмотрены примеры, характеризующие экспериментальные данные в виде аналитических функций-образов, на основании которых получены корреляционные функции двух видов – колебательные с нарастающей и затухающей амплитудами, а также немонотонные.

**Ключевые слова:** случайная анизотропия, массив наночастиц, корреляционная функция, преобразование Мейера.

Системы ферромагнитных наночастиц на поверхности твердых тел – металлов, диэлектриков, а также двумерных кристаллов, в частности, графена, вызывают большой интерес у исследователей. Создание и исследование таких магнитных композиционных структур является весьма актуальной задачей для разработки приборов спинтроники. Подобные композиционные структуры могут успешно синтезироваться посредством осаждения на поверхность твердого тела наночастиц различных ферромагнитных металлов (Co, Ni и др.) [1]. Из экспериментальных данных по измерению намагниченности  $M(H)$  структур получена функция-образ  $F(p) = kp^{3/2} \delta M(p) / M_S$  для массива CoO/Co на меди при температуре 4 К. Здесь  $k$  – постоянный коэффициент, параметр  $p = (H/H_{ex})^{1/2}$ ,  $M_S$  – намагниченность насыщения,  $H_{ex}$  – поле обмена. Проведенное фитирование показало, что экспериментальные данные хорошо укладываются на аналитические зависимости, описываемые спадающими монотонными функциями.

Для анализа результатов магнитных измерений таких магнитных структур и их интерпретации обычно используется модель случайной анизотропии (RAM). Однако известно, что она имеет ограничения, связанные с лежащими в ее основе приближениями – выбором корреляционной функции, описывающей корреляции осей случайной анизотропии, только одного типа, а также необходимостью учитывать соотношения между внешним магнитным полем и полем обмена. Указанных недостатков лишен подход, развитый в работе [2]. Он описывает закон приближения к намагниченности насыщения (LAS) в интегральной форме и позволяет находить корреляционные функции для случайной анизотропии непосредственно из функций-образов, определяющих этот закон. Также данный подход свободен от ограничивающих RAM соотношений между внешним полем и полем обмена. LAS для 2D магнитных систем соответствует интегральному преобразованию Мейера (K-transform). С его помощью возможно определить корреляционные функции осей случайной магнитной анизотропии  $C(z)$ , а также поля обмена  $H_{ex}$  и случайной анизотропии  $H_a$ . LAS для 2D магнитной системы, полученный в [2], может быть записан в виде преобразования Мейера [3]

$$F(p) = \frac{32p^{3/2}}{4\pi} \left( \frac{H_{ex}}{H_a} \right)^2 \frac{\delta M(p)}{M_S} = \int_0^\infty z^2 C(z) \sqrt{pz} K_1(pz) dz, \quad (1)$$

где  $\delta M(p) = M_S - M(H)$ ,  $K_1$  – модифицированная функция Бесселя второго рода первого порядка,  $M(H)$ ,  $M$  – намагниченность в области LAS,  $H$  – напряженность внешнего магнитного поля.

Из интегрального уравнения (1) следует, что корреляционная функция однозначно определяется функцией образом  $F(p)$  и должна меняться при ее изменении. Как показали предварительные исследования, получаемые из экспериментальных данных функции-образы характеризуются немонотонной зависимостью от параметра  $p$  с наличием максимума. Область LAS обычно лежит на падающей части кривой  $F(p)$  с ростом параметра  $p$ . Рассмотрим корреляционные функции для двух функций-образов  $F(p)$ , которые могут характеризовать LAS. Проведенные предварительные оценки показали, что экспериментальные данные хорошо укладываются на аналитические зависимости, описываемые функцией

$$F_1(p) = kp^{3/2}/[(p^2 + a^2)^{m+2}], \quad (2)$$

где  $k$  – постоянный коэффициент,  $a$ ,  $m$  – параметры, зависящие от величины поля обмена  $H_{ex}$ . В этом случае, согласно интегральному преобразованию Мейера, корреляционная функция

$$C_1(z) = z^m J_m(az), \quad (3)$$

где  $J_m(az)$  – функция Бесселя первого рода  $m$ -го порядка,  $z$  – координата, нормированная на радиус наночастицы,  $a$  – параметр, определяющий период  $C(z)$ .

Вторая функция-образ имеет вид

$$F_2(p) = kp^{-3/2} J_3[(2ap)^{1/2}] \cdot K_3[(2ap)^{1/2}], \quad (4)$$

для нее корреляционная функция

$$C_2(z) = z^{1/2} J_{3/2}(a/z). \quad (5)$$

Здесь  $J_3$ ,  $J_{3/2}$  – функции Бесселя первого рода 3-го и 3/2-го порядка соответственно,  $K_3$  – модифицированная функция Бесселя второго рода 3-го порядка.

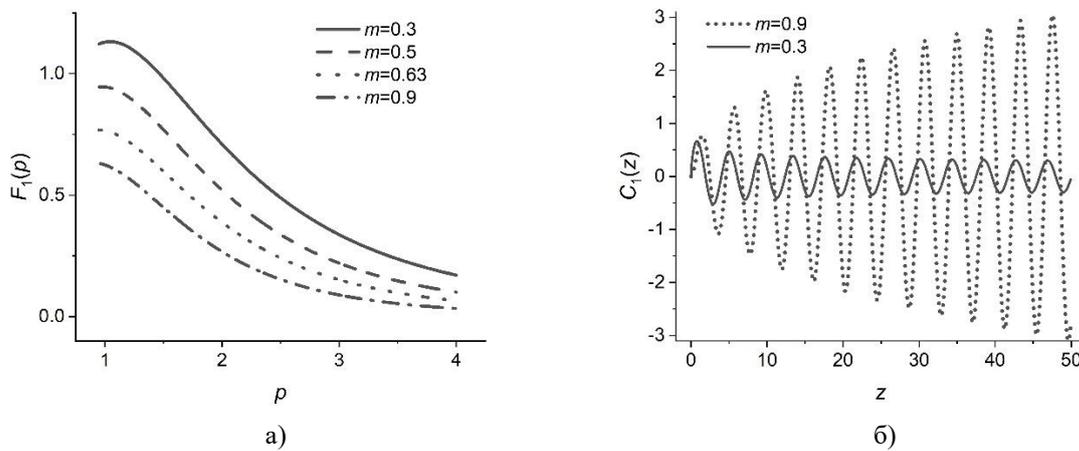


Рис. 1. Функции  $F_1(p)$  (а) и  $C_1(z)$  (б) при  $m=0,3$  и  $0,9$ ,  $a=1,5$

На рис. 1 приведены результаты расчетов функции-образа  $F_1(p)$  и соответствующие ей корреляционные функции, определенные из обратного преобразования Мейера. Для функции-образа первого типа корреляционная функция носит колебательный характер с постоянным периодом, амплитуда которой затухает при  $m=0,3$  и растет при  $m=0,9$ .

Функция образ второго типа аналогична, рис. 2,а, аналогична функции первого типа, но ее корреляционная функция носит колебательный характер только в начале координат при  $z < 2$ , рис. 2,б, а затем показывает немонотонный ход с одним максимумом в области  $z=3-5$  и последующий спад при  $z > 5$ . Это значит, что для качественно одинаковых функций-образов корреляционные функции качественно различаются.

Таким образом, проведенные расчеты показали, что корреляционные функции осей магнитной анизотропии двумерной систем ферромагнитных наночастиц для похожих законов приближения к намагниченности насыщения могут качественно различаться, показывая, как осциллирующий характер, так и немонотонное поведение. Для магнитной системы, характеризующейся наличием колебательной незатухающей по амплитуде с расстоянием корреляционной функции, может иметь место усиление корреляций осей анизотропии под влиянием магнитодипольного взаимодействия, обменного смещения при наличии антиферромагнитной оболочки, или сильной анизотропии оболочки. Для магнитных систем, характеризующейся немонотонной корреляционной функцией с одним максимумом можно предполагать существенное превышение поля случайной анизотропии над полем обмена в области, где корреляционная функция растет с расстоянием.

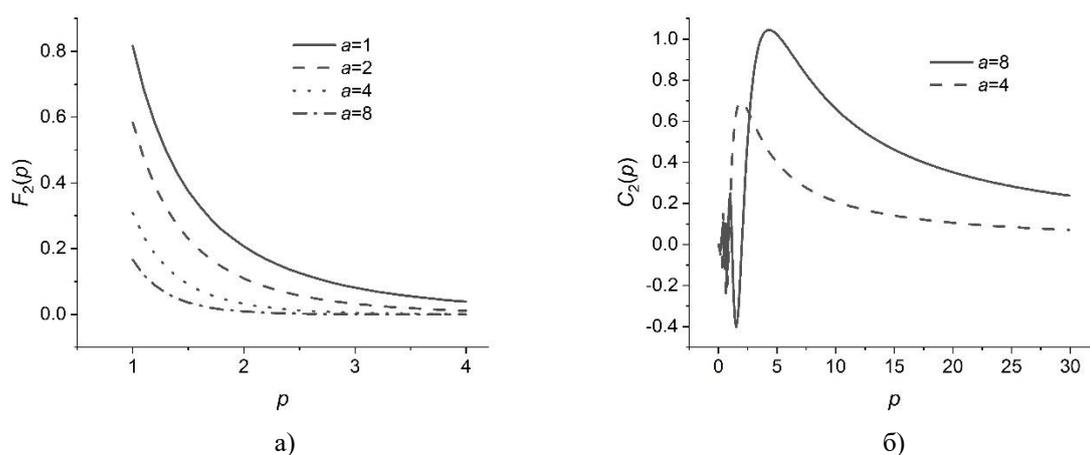


Рис. 2. Функции  $F_2(p)$  (а) и  $C_2(z)$  (б) при  $a=1-8$

#### Список источников

- [1] С.П. Губин, Ю.А. Кокшаров, Г.Б. Хомутов, Г.Ю. Юрков. Магнитные наночастицы: методы получения, строение и свойства. Успехи химии 2005. – Том 74. – № 6. – С. 539–574.
- [2] Chudnovsky, Eugene M. The magnetism of amorphous metals and alloys / Fernandez-Baca, J. A. and Ching, W.-Y. (World Scientific, Singapore). – 1995. – Ch. 3. – p.143-175.
- [3] Danilyuk, A. L., Komissarov, I. V., Kukharev, A. V., Le Normand, F., Hernandez, J. M., Tejada, J. and Prischepa, S. L. Impact of CNT medium on the interaction between ferromagnetic nanoparticles // Europhys. Lett. – 2017. – 117: 27007(1-7).

### Correlation functions of random anisotropy of a two-dimensional system of ferromagnetic nanoparticles

*K. S. Nazarenka*

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

#### Annotation

This paper presents the results of calculations of the correlation functions of the random anisotropy axes of a two-dimensional system of ferromagnetic nanoparticles on a solid surface using the Meyer integral transformation, which describes the law of approximation to saturation magnetization. Examples describing experimental data in the form of analytical functions-images are considered, on the basis of which correlation functions of two kinds – oscillatory with increasing and decaying amplitudes, as well as non-monotone functions – are obtained.

**Keywords:** random anisotropy, nanoparticle array, correlation function, Meyer transform.

## Электронные свойства бистабильных электронных состояний в диоксиде гафния

*А. А. Назаренко*

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

В данной работе моделируются электронные свойства бистабильных электронных состояний, возникающих в диоксиде гафния при формовке в электрических полях. Приведены результаты расчетов зависимости формы ангармонических конфигурационных потенциалов от параметров дефектной структуры. Установлено, что в зависимости от значений параметров ангармонический бистабильный потенциал изменяет свою симметрию, а также глубину и ширину потенциальных ям. Проведенные расчеты влияния на электронные свойства бистабильных состояний параметров конфигурационных потенциалов показали, что при наличии периодического воздействия и шума возможны переходы из одного бистабильного состояния в другое.

**Ключевые слова:** бистабильные состояния, диоксид гафния, резистивная память, многофононные взаимодействия.

В настоящее время наноструктуры на основе диоксида гафния перспективны для использования в энергонезависимой резистивной памяти с произвольной выборкой (RRAM). Диоксид гафния имеет высокую диэлектрическую проницаемость, относительно высокую энергию запрещенной зоны, и образует термодинамически устойчивый интерфейс с кремнием. Электрический пробой диэлектрика приводит к переключению в состояние с низким сопротивлением и создает высокую плотность ловушек, что делает возможным долговременное хранение заряда (до  $10^6$ - $10^7$  с). Электрические, структурные и спектроскопические характеристики диоксида гафния, возникающие в результате пробоя, активно изучаются [1]. В этой области достигнуты практические результаты, основным из которых является формирование стабильных наноразмерных слоев диоксида гафния, сопротивление которых переключается при относительно низком электрическом потенциале. Тем не менее, есть еще много нерешенных проблем, связанных с выявлением наиболее важных механизмов переключения диоксида гафния из состояния с высоким сопротивлением в состояние с низким сопротивлением. Одна из таких проблем связана с наличием случайного телеграфного шума в диоксиде гафния в условиях электрической формовки и переключения сопротивления. В данной работе, исходя из гипотезы о бистабильном характере ловушечных состояний, представлены результаты моделирования электронных свойств бистабильных ловушечных состояний в диоксиде гафния. Электронные свойства метастабильных и бистабильных дефектных состояний существенно меняются при изменении их конфигурации или заряда, а их модель включает в себя представление о конфигурационной и зарядовой зависимости, как энергии связи электрона, так и энергии самого дефектного состояния в матрице. В наноразмерных оксидных диэлектриках при их формовке электрическим полем возникают проводящие филаменты (нити), содержащие или обедненные кислородом области (кислородные вакансии), или межузельные атомы кислорода. Такие дефекты кристаллической решетки, притягивающие электроны, способствуют образованию автолокализованных электронных состояний, в то время как такое состояние не существует в регулярном кристалле. Эти дефекты проявляют метастабильные свойства, что ведет к сильной зависимости их свойств от внешних условий: электрических полей и температуры. Сильное взаимодействие носителя заряда с такой атомной подсистемой приводит к электронной или дырочной автолокализации. В неупорядоченных (или сильно разупорядоченных) структурах,

к которым относятся образующиеся проводящие филаменты в оксидных диэлектриках при их электрической формовке, характерен значительный разброс параметров и автолокализация может сопровождаться большими смещениями атомов. При этом существен вклад ангармонических составляющих атомного потенциала. Выражение для этого потенциала может быть записано в виде

$$V(x) = V_0(ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx) \quad (1)$$

где  $V_0 = (1/2)k_0a_0^2$ ,  $k_0$  - характерная атомная квазиупругая константа,  $a_0^2 \sim 0,1$  нм – характерная атомная длина,  $a, b, c, d$  – параметры дефектной структуры,  $x$  – конфигурационная координата [2]. В этом случае автолокализация в атомной ангармонической конфигурации при значительной гибридизации состояний описывается гамильтонианом вида [2]:

$$G(x) = -(dV(x)/dx). \quad (2)$$

Также дополнительно следует учитывать наличие периодической силы, связанной с электрон-фононным взаимодействием и влияние шума. Общий вид зависящего от времени  $t$  гамильтониана

$$G(x, t) = -dV(x)/dx + A \cos(\omega t + \varphi) + \sqrt{2D}Noise(t) \quad (3)$$

где  $\varphi$  – сдвиг по фазе,  $A$  – амплитуда периодического воздействия,  $D$  – уровень шума [2].

С помощью приведенных выше выражений проведены расчеты зависимости формы бистабильных конфигурационных потенциалов и производной величины  $G(x)$ , а также их влияния на электронные свойства бистабильных электронных состояний.

Для моделирования переключения бистабильных состояний используется модель бистабильного переключения при наличии периодической силы, связанной с электрон-фононным взаимодействием и воздействие шума. Общий вид зависящего от времени  $t$  обобщенной конфигурационной координаты ловушки  $x(t)$  [3]:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dV(x)}{dx} + A \cos(\omega t + \varphi) + \sqrt{2D}Noise(t). \quad (4)$$

С помощью выражения (4) проведены расчеты кинетики переходов между бистабильными уровнями в зависимости от параметров конфигурационного потенциала, амплитуды периодического воздействия и уровня шума.

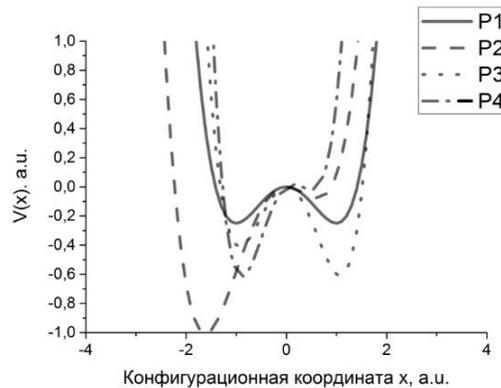


Рис. 1. Ангармонические потенциалы бистабильного центра, отливающиеся значениями параметров  $a, b, c, d$  (P1-P4)

Установлено, что в зависимости от значений параметров  $a, b, c, d$  ангармонический бистабильный потенциал изменяет свою симметрию, а также глубину и ширину потенциальных ям, рисунок 1. Соответствующим образом меняется также и функция  $G(x)$ . Конфигурационные параметры  $a, b, c, d$  позволяют управлять электронными свойствами бистабильного центра, что отражается на его электронных свойствах, в частности зарядовых.

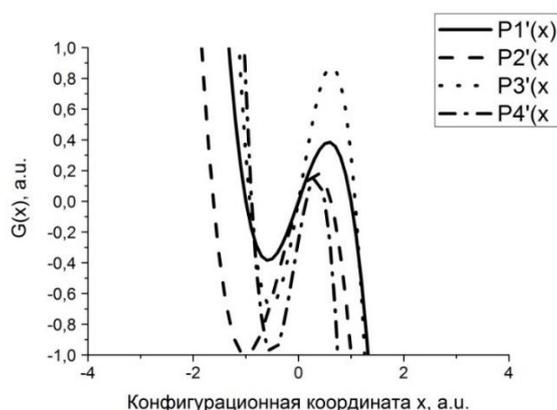


Рис. 2. Гамильтониан  $dV/dx$  в зависимости от сочетания параметров  $a, b, c, d$  (P1'-P4')

Проведенные расчеты влияния на электронные свойства бистабильных состояний параметров конфигурационного потенциала показали, что при наличии периодического воздействия и шума возможны переходы из одного бистабильного состояния в другое. При этом такие переходы существенно зависят от соотношения глубин потенциальных ям и определяются уровнем шума. Показано, что управление параметрами ангармонического бистабильного потенциала позволяет менять параметры перехода из одного метастабильного состояния в другое, в частности, регулировать время нахождения в каждом из них.

Полученные результаты могут быть использованы для выявления механизма быстрого (электронного) переключения проводимости оксидных диэлектриков в электрическом поле для разработки перспективных элементов резистивной памяти.

### Список источников

- [1] Recent progress in resistive random access memories: Materials, switching mechanisms, and performance/ **F. Pan** [et al.] // Materials Science and Engineering Report. – 2014. – Vol. 83. – No.1. – P. 1-59.
- [2] **Klinger, M.I.** Atomic quantum diffusion, tunnelling states and some related phenomena in condensed systems// Physics Reports. – Vol. 94. – No. 5. – P. 183-312.
- [3] Stochastic resonance / **L. Gammaitoni** [et al.] // Rev. Mod. Phys. – 1998. – Vol.70. – No. 1. – P. 223-287.

### Electronic properties of bistable electronic states in hafnium dioxide

*A. A. Nazarenka*

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

### Annotation

This paper simulates the electronic properties of bistable electronic states arising in hafnium dioxide during molding in electric fields. The results of calculations of the dependence of the form of anharmonic configuration potentials on the parameters of the defective structure are presented. It is established that depending on the values of the parameters the anharmonic bistable potential changes its symmetry, as well as the depth and width of the potential wells. Calculations of the effect of configuration potentials parameters on the electronic properties of bistable states have shown that transitions from one bistable state to another are possible in the presence of periodic action and noise.

**Keywords:** bistable states, hafnium dioxide, resistive memory, multiphonon interactions.

## **Влияние эффекта взаимодиффузии на границах раздела на поперечную фононную теплопроводность в слоистых тонкопленочных структурах Ge/Si(001)**

*А. Л. Хомец, Д. Б. Мигас*

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

В данной работе представлены результаты исследования поперечной фононной теплопроводности для тонкопленочных структур Ge/Si(001) с резкими и перемешанными границами раздела. Было установлено, что при толщине тонкопленочных структур Ge/Si(001) более 5 нм имеет место существенное снижение теплопроводности при увеличении толщины перемешанных границ раздела.

**Ключевые слова:** теплопроводность, молекулярная динамика, границы раздела.

### **Введение**

Для увеличения эффективности термоэлектрических материалов используются структуры пониженной размерности, которые могут рассеивать фононы в широком диапазоне частот и существенно снижать их теплопроводность. Ранее нами было продемонстрировано, что поперечная теплопроводность существенно снижается в слоистых структурах Si/Ge за счет наличия резких границ раздела, которые компенсируют вклад более теплопроводящих слоев Si и теплопроводность таких структур ниже, чем для аналогичных по толщине Ge пленок, что свидетельствует о сильном фонон-интерфейсном рассеянии [1]. Целью данной работы является исследование влияния толщины перемешанных границ раздела на фононную теплопроводность в слоистых тонкопленочных структурах Ge/Si(001).

### **Результаты моделирования**

В данной работе рассматривались слоистые пленки Ge/Si(001) с резкими и перемешанными границами раздела. Для всех пленок проводилась  $p(2 \times 1)$  реконструкция поверхности. Слои Si и Ge имели толщину по 8 моноатомных слоев (далее МС), которые образовывали один Ge/Si бислой толщиной 2.2 нм. Перемешанные границы раздела формировались при 300 К гибридным методом Монте-Карло-молекулярная динамика (программный пакет LAMMPS), и имели толщину в 2 и 4 МС. Расчет теплопроводности проводился с помощью метода неравновесной молекулярной динамики при 300 К. Межатомное взаимодействие описывалось с помощью потенциала Терсоффа. Коэффициент фононной теплопроводности определялся спустя 5 нс после моделирования из закона Фурье.

Основываясь на результатах расчетов, было установлено, что для слоистых пленок Ge/Si с толщиной более 5 нм наблюдается снижение теплопроводности при увеличении толщины перемешанных границ раздела до 2 и 4 МС (рис. 1). При этом с повышением толщины с 5 до 20 нм увеличивается разница в значениях теплопроводности в сравнении с пленками с резкими границами раздела с 1 % до 37 % для 2 МС и с 16 % до 51 % для 4 МС границ раздела вследствие уширения области разупорядочения. Более низкое значение теплопроводности для слоистой пленки Ge/Si толщиной 2.2 нм с резкой границей раздела в сравнении со структурами с перемешанными границами раздела обусловлено повышением теплового граничного сопротивления [2]. С увеличением толщины границы раздела тепловое граничное сопротивление снижается, а затем снова повышается [2], при этом этот эффект более ярко выражен в случае, когда тепловой поток распространяется из Ge в Si. Также в слоистой пленке Ge/Si с толщиной 2.2 нм для случая 4 МС перемешанных границы раздела теплопроводность ниже, чем для случая 2 МС, что связано с повышением теплового граничного сопротивления

с увеличением толщины перемешанных границ раздела вследствие увеличения фононного рассеяния внутри границ раздела [2].

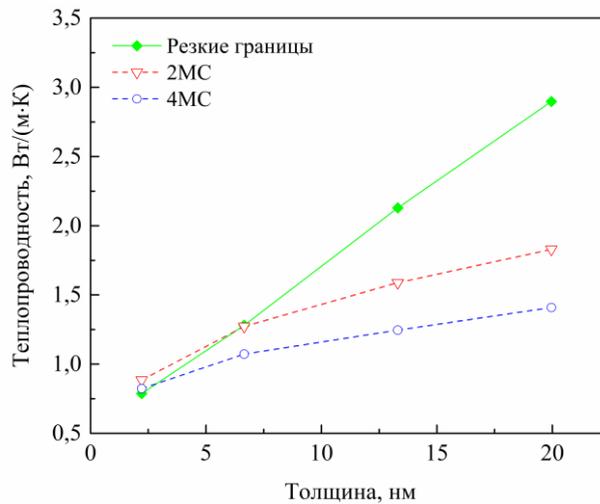


Рис. 1. Зависимость поперечной фононной теплопроводности при 300 К от толщины тонкопленочных структур Ge/Si(001) для различных типов границ

### Заключение

Проведен расчет поперечной фононной теплопроводности в слоистых тонкопленочных структурах Ge/Si(001) с помощью метода неравновесной молекулярной динамики. Полученные зависимости показывают, что для однопериодических структур теплопроводность ниже в случае резких границ раздела, однако при увеличении числа периодов перемешанные границы раздела начинают более эффективно рассеивать фононы, что приводит к более низким значениям теплопроводности. Также имеет место влияние толщины перемешанной границы раздела, где разница в теплопроводности, при толщине пленки в  $\sim 20$  нм, может составлять 23 %.

### Список источников

- [1] **Khamets, A.L.** Orientation and size effects on phonon thermal conductivity in silicon/germanium multilayer structures / A.L. Khamets, I.I. Khaliava, A.B. Filonov, D.B. Migas // Japanese Journal of Applied Physics. — 2023. — Vol. 62. — P. SD0804. — DOI:10.35848/1347-4065/acad0c.
- [2] **Hahn, K.R.** Thermal boundary resistance at Si/Ge interfaces determined by approach-to-equilibrium molecular dynamics simulations / K.R. Hahn, M. Puligheddy, L. Colombo // Physical Review B. — 2015. — Vol. 91. — P. 195313. DOI:10.1103/PhysRevB.91.195313.

## Effect of interdiffusion at interfaces on the cross-plane phonon thermal conductivity in layered thin-film Ge/Si(001) structures

*A. L. Khamets, D. B. Migas*

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

In this paper we present the results of studying the cross-plane phonon thermal conductivity for Ge/Si(001) layered thin-film structures with sharp and mixed interfaces. It was found that, when Ge/Si(001) thin-film structures are thicker than 5 nm, there is a significant decrease in thermal conductivity with an increase in the thickness of mixed interfaces.

**Keywords:** Thermal conductivity, Molecular dynamics, Interfaces

## Фазовый состав, магнитные и электрические свойства магнетита, синтезированного методом термобарического воздействия.

И. А. Греков<sup>1,2</sup>, Д. Б. Мигас<sup>1</sup>, А. В. Труханов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> ГО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», г. Минск, Республика Беларусь

Исследованы магнитные и электрические свойства магнетита, полученного методом термобарического путем частичного восстановления гематита железом. Фазовый состав исследован методом рентгеновского фазового анализа. Магнитные характеристики измеряли с помощью вибрационного магнитометра. Электрические свойства (удельное электрическое сопротивление) в зависимости от фазового состава. Показано максимально содержания фазы магнетит, является смесь с содержание карбонильного железа 6%.

**Ключевые слова:** твердо фазный синтез, термобарическое воздействие, магнетит.

### Введение

Магнитные свойства магнетита, описанные в работе [1,2] показали, что магнетит ферримангнетик, т.е. магнитное упорядочение в нем обусловлено отрицательными обменными взаимодействиями. Магнитный железняк (магнетит) принадлежит к семейству ферритов-шпинелей— это смешанный оксид железа с зарядом ионов железа (2+) и (3+),  $Fe_3O_4$  ( $Fe^{2+}Fe^{3+}_2O_4$ ). Он имеет, кубическую кристаллическую решётку, пространственная группа –  $Fd\bar{3}m$ . В стехиометрическом магнетите соотношение ионов с зарядами железа  $Fe^{2+}/Fe^{3+} = 0.5$ . Магнитные катионы железа в магнетите  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  размещаются в кристаллических многогранниках— тетра- и октаэдрах (А- и В-позициях) кубической решетки шпинели:

$$\frac{Fe^{3+}}{A} \frac{Fe^{3+} + Fe^{2+}}{B} \quad (1)$$

Катионы А и В образуют две магнитные подрешетки со спонтанными намагниченностями, ориентированными антипараллельно. Такая ферримангнитная структура, называемая неелевской, была доказана в исследованиях [3,4].

Электрические свойства магнетита обоснованы ионами железа  $Fe^{2+}$   $Fe^{3+}$  находящимися в октаэдрических и тетраэдрических позициях, которые участвуют в механизме прыжковой проводимости [5].

### Синтез магнетита

Образцы были синтезированы методом термобарического воздействия (комбинация высоких температуры и давления), в качестве шихты использовались навески железа (III) оксида (гематита) и карбонильного железа. Формула получения магнетита имеет следующий вид:



Навески шихты были приготовлены путем смешивания гематита и карбонильного железа (с концентрацией от 2% до 10% масс.) с шагом 2% масс. Навески перемешивались с добавлением спирта, просушивались и просеивались. Процесс синтеза образцов исследования проведен путем термобарических воздействий в условиях  $P=100$  т. и  $T=1100^\circ$  С в течении 1 мин [6]. В результате данного воздействия были получены образцы магнетита с различным фазовым составом, магнитными и электрическими свойствами.

### Фазовый состав

Исследования фазообразования проводились с использованием дифрактометра ДРОН-3 М в  $Co-K\alpha$  -излучении при комнатной температуре. Шаг сканирования составлял не

более  $0,03^\circ$  время экспозиции – не менее 3 с. Фиксация данных производилась автоматически. Исследования кристаллической структуры осуществлялись методом полнопрофильного анализа Ритвельда рентгеноструктурных данных. Спектры рентгеновской дифракции представлены на рис. 1, данные о фазовом составе и особенности кристаллической структуры магнетита в таблице 1.

При анализе спектров рентгеновской дифракции образцов магнетита видно. Фаза магнетит присутствует во всех образцах и достигает максимума в образце с содержанием железа 6% в исходной смеси затем уменьшается. Фаза гематит присутствует в образцах с содержанием железа 2%, 4% в исходной смеси и линейно уменьшается, достигает нуля с образца содержанием железа 6% в исходной смеси.

Фаза вюстита присутствует во всех образцах и линейно увеличивается и начинает играть значительную роль при концентрации 8% карбонильного железа в исходной смеси. Из этих данных можно сделать вывод, при малых долях железа (от 2% до 4%) в исходной смеси остается фаза гематита, которой не хватило карбонильного железа для образования фазы магнетит. При увеличении доли железа (8% и 10%) проходит реакция восстановления магнетита, до фазы вюстита

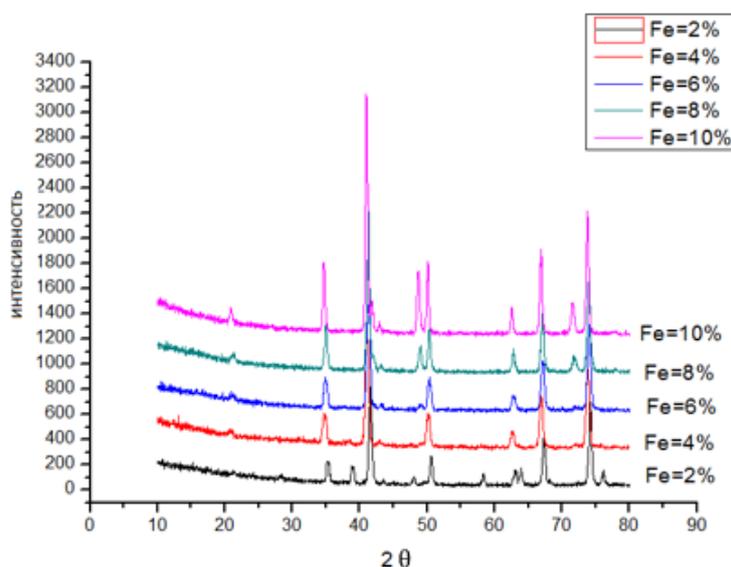


Рис. 1. Спектры рентгеновской дифракции для образцов магнетита

Таблица 1 – Фазовый состав, и особенности кристаллической структуры объектов исследований

№ обр.	Fe % в исх. смеси	Фазовый состав и параметры решетки синтезированных образцов				
		Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (%) Магнетит П.Г. Fd-3m	FeO (%) Вюстит П.Г. Fm-3m	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) Гематит П.Г. R-3c	Параметры ячейки для фазы Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	
					a (Å)	V (Å <sup>3</sup> )
1	2 масс.%	76.6	0.4	22.9	8.4189	595.22
2	4 масс.%	95.3	1.9	2.9	8.4077	594.34
3	6 масс.%	97.2	2.8	0	8.4076	594.32
4	8 масс.%	87.5	12.5	0	8.4063	594.0
5	10 масс.%	77.8	22.2	0	8.4059	593.97

### Магнитные свойства

Полевые зависимости удельной намагниченности образцов магнетита представлены на рис. 2, значения максимальной намагниченности  $M_s$ , коэрцитивной силы  $H_c$  и остаточной намагниченности  $M_r$  даны в таблице 2. Исследования были проведены методом вибрационной магнитометрии в диапазоне внешних магнитных полей до 3 Тл при  $T = 300$  К. Кривые для всех образцов практически вышли в насыщение при комнатной температуре уже в полях около 1 Тл ( $H_l = 10^4$  Ое).

Таблице 2. Значения намагниченности насыщения  $M_s$ , коэрцитивной силы  $H_c$  и остаточной намагниченности  $M_r$ 

Fe % в исх. смеси	$M_s$ (emu/g)	$H_c$ (Oe)	$M_r$ (emu/g)
2 масс.%	57,42	16	0,53
4 масс.%	84,82	20	1,46
6 масс.%	86,37	27	2,42
8 масс.%	79,65	36	2,37
10 масс.%	75,59	34	3,26

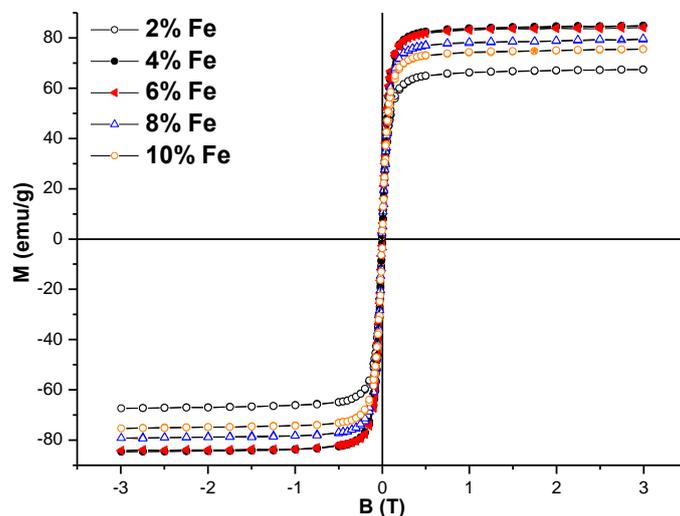


Рис. 2. Полевые зависимости удельной намагниченности синтезированных образцов магнетита

Можно заметить, что максимальные значения намагниченности насыщения характерны для образцов с максимальным содержанием фазы магнетита:  $M_s = 84,82$  emu/g (для образца с Fe 4% в исходной смеси, где содержание фазы магнетита 95,3%) и 86,37 emu/g (для образца с Fe 6% в исходной смеси, где содержание фазы магнетита 97,2%).

### Исследования электрических свойств

Объектам исследования измерили высоту  $l$ , диаметр  $D$  и сопротивление  $R$ . Электрические свойства измеряли при температуре 300 К с помощью мультиметра. Удельное сопротивление  $\rho$  рассчитывалось по формуле 3:

$$\rho = R * S/l \quad (3)$$

Данные измерения высоты, диаметра, сопротивления, рассчитанные данные удельного сопротивления синтезируемого магнетита в таблице 3 в даны значения: геометрические параметры и электрические свойства (удельного сопротивления). Самое низкое удельное сопротивление у объекта исследования с Fe 4%, 6% и 8% в исходной смеси – это свидетельствует о высоком содержании магнетита, что подтверждается данными рентгенофазового анализа и хорошо коррелирует с данными магнитных измерений.

Таблица 3 – Геометрические параметры и электрические характеристики образцов магнетита

Fe % в исх. смеси	$l$ , мм	$S$ , мм <sup>2</sup>	$R$ , Ом	$\rho$ , Ом*мм
2 масс.%	2,95	17,72	1160	6,968
4 масс.%	3,34	18,19	322	1,754
6 масс.%	3,34	16,56	74,5	0,355
8 масс.%	2,98	18,66	89,1	0,558
10 масс.%	2,92	20,16	108	7,18

Минимальная величина удельного сопротивления отмечена для образца с 8% Fe, что может быть обусловлено наличием фазы железа (II) оксида FeO в небольшой концентрации,

что приближает соотношение  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  к 1:1, усиливая механизм прыжковой проводимости (т.к. соотношение  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  в  $Fe_3O_4$  составляет 1:2) и способствуя межгранульному переносу заряда (т.к. концентрация примесных фаз, в частности FeO, максимальна на границах зерен).

### Заключение

Методом термобарических воздействий синтезированы образцы магнетита в системе Fe- $Fe_2O_3$ . Комбинирование высоких температуры и давлений позволяет сократить время синтеза до 1 мин. с формированием итогового продукта.

Проведены исследования корреляции химического состава исходной шихты (концентрация карбонильного железа в исходных навесках), структурно-фазовых характеристик, магнитных и электрических свойств.

Методом дифракции рентгеновских лучей проведены исследования фазового состава и кристаллической структуры полученного магнетита. Показано, что в образцах с малыми концентрациями Fe в исходной смеси (2% и 4% масс.) отмечены 3 фазы (FeO- $Fe_2O_3$ - $Fe_3O_4$ ). С ростом концентрации Fe (свыше 4% масс.) зафиксированы только фазы FeO- $Fe_3O_4$ . Минимальное количество примесной фазы отмечено для состава, синтезированного из смеси с содержанием 6% масс. Fe.

Проведены исследования магнитных характеристик магнетита методом вибрационной магнитометрии. Показано, что максимальные значения намагниченности насыщения характерны для образцов с максимальным содержанием фазы магнетита:  $M_s = 84,82$  emu/g (для образца 4% масс. Fe, где фаза магнетита 95,3%) и 86,37 emu/g (для образца 6% масс. Fe, где фаза магнетита 97,2%).

Проведены исследования электрических характеристик объектов исследований. Показано, что минимальное значение удельного электрического сопротивления отмечено для состава, синтезированного из смеси с содержанием 6% и 8% масс. Fe.

### Литературные источники

- [1] Parkinson G. S. Iron oxide surfaces / Parkinson G. S //Surface Science Reports. – 2016. – Т. 71. – №. 1. – С. 272-365.
- [2] Shull C. G., Neutron scattering and polarization by ferromagnetic materials/ Shull C. G., Wollan E. O., Koehler W. C //Physical Review. – 1951. – Т. 84. – №. 5. – С. 912.
- [3] de Boer J. H., Semi-conductors with partially and with completely filled 3d-lattice bands/ de Boer J. H., Verwey E. J //Proceedings of the Physical Society. – 1937. – Т. 49. – №. 4S. – С. 59.
- [4] Белов К. П. Электронные процессы в магнетите ("Загадки магнетита") / Белов К. П //Успехи физических наук. – 1993. – Т. 163. – №. 5. – С. 53-66.
- [5] Желудкевич А. Л. синтез при воздействии высоких давлений и температур соединения  $CuBS_2$  / Желудкевич А. Л., Игнатенко, О. В., Коновалова, А. В., Гончаров, В. С. //Перспективные материалы и технологии. – 2017. – С. 116-118.

### Phase composition, magnetic and electrical properties of magnetite synthesized by thermobaric action.

*I. A. Grekov<sup>1,2</sup>, D. B. Migas<sup>1</sup>, A. V. Trukhanov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup> Scientific-Practical Materials Research Centre, Minsk, Republic of Belarus

The magnetic and electrical properties of magnetite obtained by the thermobaric method by partial reduction of hematite with iron are investigated. The phase composition was investigated by X-ray phase analysis. Magnetic characteristics were measured using a vibration magnetometer. Electrical properties (electrical resistivity) depending on the phase composition. The maximum content of the magnetite phase is shown to be a mixture with a carbonyl iron content of 6%.

**Keywords:** solid-phase synthesis, thermobaric effect, magnetite

## Вольт-амперные характеристики структур $p\text{-Si}/\text{BaTiO}_3$ в условиях монохроматического освещения в диапазоне 400–800 нм

Г. М. Гришин, Ю. Д. Корнилова, Е. В. Чубенко, Н. В. Гапоненко, Д. А. Голосов  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь

Исследованы вольт-амперные характеристики тонкопленочной структуры  $p\text{-Si}/\text{BaTiO}_3/\text{Ni}$ , в которой слой титаната бария сформирован золь-гель методом при температуре термообработки 450 °С. Показано, что полученная структура обладает выпрямляющими свойствами. Также обнаружена генерация фототока при освещении монохроматическим светом с длиной волны 400–800 нм, величина которого изменяется в соответствии со спектральной чувствительностью кремния.

**Ключевые слова:** золь-гель синтез, титанат бария, воль-амперные характеристики, фототок.

Титанат бария ( $\text{BaTiO}_3$ ) – электрокерамический материал, широко используемый для изготовления многослойных конденсаторов, чувствительных элементов для сенсоров газов и паров воды, фотокатализаторов, а также в области нелинейной оптики и оптических запоминающих устройств [1, 2]. Для фотовольтаических и оптоэлектронных применений представляет интерес фоточувствительность плёночных структур титанат бария/кремний. В данной работе представлены измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) тонкопленочной структуры из титаната бария, сформированной золь-гель методом на подложке низколегированного монокристаллического кремния дырочного типа проводимости ( $p\text{-Si}$ ).

Для получения плёнок титаната бария использовался золь на основе тетраизопророксида титана и ацетата бария приготовленный по методике, изложенной в работе [1]. Получена структура из трёхслойной плёнки титаната бария, толщина которой, согласно эллипсометрическим измерениям, составила 220 нм на подложке из монокристаллического кремния марки КДБ-20. На плёнку титаната бария наносились контактные площадки из никеля со стороной 0,8 мм, а также электрод большой площади, обеспечивающий омический контакт к кремнию. ВАХ образца измерялись при помощи источника-измерителя Keithley 2450 при комнатной температуре в интервале напряжений  $U = \pm 10$  В. Освещение образца производилось с использованием ксеноновой лампы мощностью 1 кВт, из спектра излучения которой двойным монохроматором Solar TII DM 160 выделяли монохроматическую линию в диапазоне длин волн 400–800 нм с шагом 50 нм.

На рис. 1 представлены ВАХ структуры  $p\text{-Si}/\text{BaTiO}_3/\text{Ni}$  в темновом режиме и при освещении. Низкий ток при обратном смещении и экспоненциальное увеличение тока при росте прямого смещения указывают на выпрямляющие свойства перехода  $p\text{-Si}/\text{BaTiO}_3$ . Освещение образца монохроматическим излучением в диапазоне 400–800 нм практически не влияет на прямую ветвь ВАХ. Дифференциальное сопротивление структуры, вычисленное на линейном участке прямой ветви ВАХ при смещении 10 В, составляет около 210 кОм.

Ток обратносмещенного перехода  $p\text{-Si}/\text{BaTiO}_3$  при росте напряжения насыщается при напряжении больше 1 В (рис. 2). Его величина при отсутствии освещения не превышает 1 нА. При облучении монохроматическим светом ток обратной ветви увеличивается от 0,032 мкА до 0,6 мкА при изменении длины волны освещения от 800 до 470 нм, и затем снова снижается при дальнейшем уменьшении длины волны освещения от 470 до 400 нм. Поведение фототока обусловлено генерацией носителей заряда в кремниевой подложке. При этом тонкая пленка широкозонного  $\text{BaTiO}_3$  выполняет функцию прозрачного проводящего электрода и служит для разделения носителей заряда на гетеропереходе.

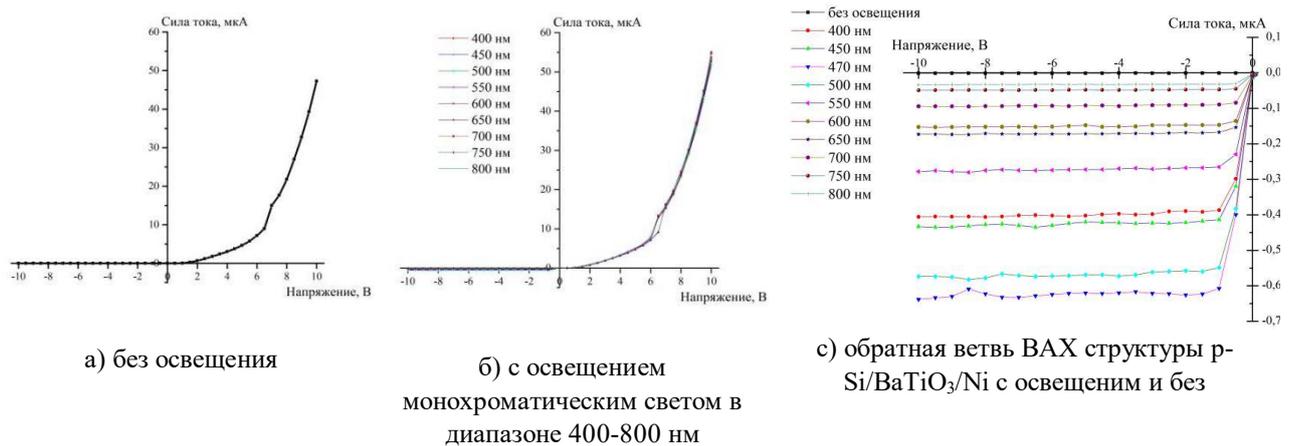


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики структуры  $p\text{-Si/BaTiO}_3/\text{Ni}$

Показано, что полученные структуры  $p\text{-Si/BaTiO}_3/\text{Ni}$  обладают выпрямляющими свойствами и демонстрируют фототок при облучении светом с длиной волны от 400 до 800 нм, связанный с генерацией носителей заряда в кремниевой подложке. Наличие тонкой пленки  $\text{BaTiO}_3$  способствует разделению носителей заряда на гетеропереходе. Структуры  $p\text{-Si/BaTiO}_3/\text{Ni}$  могут быть использованы в оптоэлектронных и фотовольтаических применениях.

#### Список источников

- [1] Холов, П. А. Конденсаторные структуры на основе пленок титаната бария, сформированных золь-гель методом / П. А. Холов, Н. В. Гапоненко, К. В. Шейдакова, В. И. Крымский, В. А. Филипеня, Т. В. Петлицкая, В. В. Колос, А. Н. Петлицкий // Доклады БГУИР. — 2020. — № 18 (1). — С. 74–80. — DOI: <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-1-74-80>.
- [2] Корнилова, Ю. Д. Вольт-амперные характеристики структур с пленками титаната бария на кремнии / Корнилова Ю. Д. // Радиотехника и электроника : сборник тезисов докладов 58-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, апрель 2022 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. — Минск, 2022. — С. 44–46.

### Current–voltage characteristics of $\text{BaTiO}_3/\text{Si}$ structures under monochromatic illumination in the 400–800 nm range

*G. M. Grishyn, Yu. D. Karnilava, E. B. Chubenko, N. V. Gaponenko, D. A. Golosov*  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

#### Annotation

The current-voltage characteristics of the structure  $\text{Si/BaTiO}_3/\text{Ni}$ , in which barium titanate films were synthesized by the sol-gel method at a heat treatment temperature of 450 °C, are obtained. Photocurrent was observed under illumination conditions with monochromatic radiation in the wavelength range of 400–800 nm.

**Keywords:** Sol-gel synthesis, Barium titanate, Volt-ampere characteristics, Photocurrent

## Аппаратные трояны: внедрение и проблемы обнаружения

*А. Ю. Воронов, В. Р. Стемпицкий*

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

Увеличение разнообразия и спектров применения интегральных микросхем (далее – ИС) приводит к росту числа участников их производства и проектирования. Стороннее программное обеспечение для проектирования ИС, использование IP-блоков (Intellectual Property) других компаний значительно увеличивает риск внедрения в устройства вредоносных схем, называемых аппаратными троянами. Аппаратные трояны могут вызвать изменение функциональной работы устройства, утечку информации или вывод из строя [1]. В этом тезисе рассмотрен процесс внедрения аппаратных троянов с разными механизмами активации с помощью стороннего IP-блока, проведен анализ полученной структуры на схемотехническом уровне и на уровне программируемых блоков ПЛИС.

**Ключевые слова:** аппаратная безопасность, аппаратные трояны, ПЛИС.

С быстрым ростом информатизации общества популярность электронных устройств становится все выше и выше. В повседневной жизни люди используют электронные устройства для общения, совершения покупок и записи информации. В компаниях и банках данные обрабатываются и хранятся электронным оборудованием. Развивающиеся концепции умной окружающей среды, интернета вещей потребуют не только еще большего использования электронных устройств, но и увеличения их функционала и, следовательно, объема.

Как и программное обеспечение, аппаратное обеспечение имеет риски, связанные с безопасностью, а люди долгое время не знали о проблемах безопасности аппаратного обеспечения. В последние годы эксперты и ученые провели определенные исследования в области аппаратной безопасности, особенно в области безопасности микросхем, которые являются основной частью аппаратного обеспечения [2]. Как известно, процесс проектирования и производства ИС очень сложен. Для получения большей прибыли, привлекаются сторонние кампании, такие как проектировщики IP-блоков, поставщики программного обеспечения для автоматизированного проектирования и производственные предприятия. Перечисленные факторы сильно увеличивают риски внедрения аппаратных троянов а одном из этапов проектирования и производства ИС.

Стандартное определение аппаратным трояном было предложено фирмой IBM в 2007 году: аппаратные трояны относятся к вредоносным схемам или вредоносным изменениям исходной схемы, которые существуют от стадии проектирования микросхемы до стадии тестирования упаковки микросхемы [3]. В данной работе будет рассмотрен процесс и результат внедрения аппаратного трояна в устройство, отвечающее за определение частоты и вывода ее значения на семисегментные индикаторы.

Для внедрения аппаратного трояна выбран определитель частоты, описанный на языке описания аппаратуры Verilog. Предполагается, что аппаратный троян встроен в IP-блок, реализующий UART-приемник (Universal Asynchronous Receiver / Transmitter), через который реализуется включение и выключение определителя частоты. Механизм активации первого встроенного аппаратного трояна является внутренним и представляет собой обычный восьмибитный счетчик. При достижении определенного значения, аппаратный троян переходит в состояние, при котором перестает отображаться реальное значение подаваемой частоты. Схематичное изображение устройства со встроенным трояном и реализация с помощью программируемых ресурсов ПЛИС изображена на рис. 1.

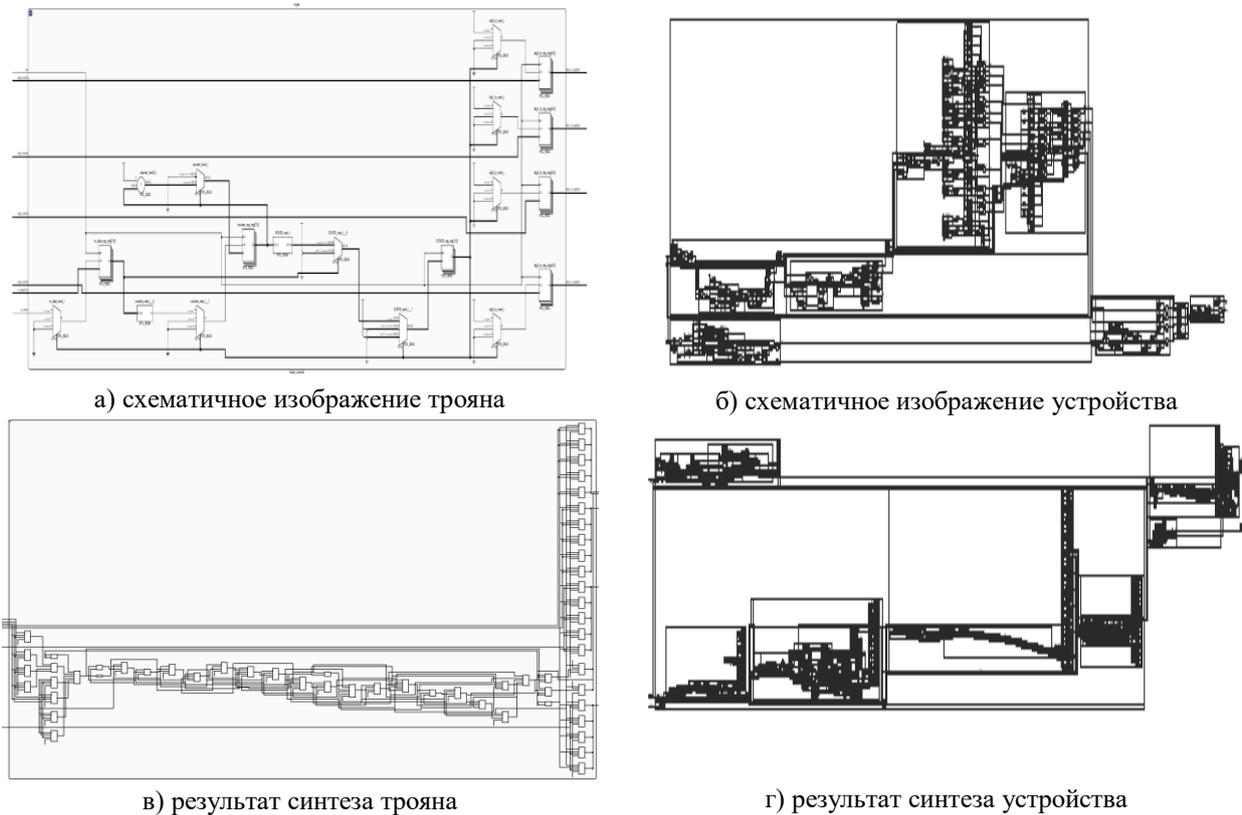


Рис. 1. Определитель частоты с аппаратным трояном с внутренним механизмом активации (счетчик)

Механизм активации второго аппаратного трояна, встроенного в рассматриваемое устройство, является внешним: при получении определенного значения по UART-приемнику, закладка влияет на схему также, как и в первом аппаратном трояне. Схематичное изображение устройства с трояном с внешним механизмом активации и его реализация с помощью программируемых ресурсов ПЛИС изображена на рис. 2.

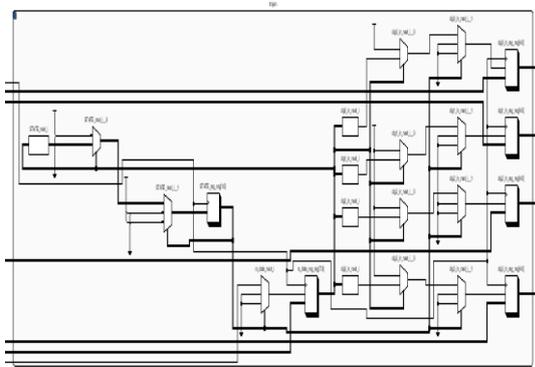
Как видно из рис. 1 и 2, встроенные трояны, описанные на языках описания аппаратуры в виде автоматов с конечным состоянием, требуют малых ресурсов для их реализации. На примере малого цифрового устройства, такого как определитель частоты, они занимают менее семи процентов, от общей схемы. Это делает крайне сложным определение внесения изменений в устройство путем анализа по потреблению электроэнергии, а для сверхбольших ИС и вовсе невозможным.

Легкость внедрения аппаратных троянов в ИС на одном из этапов проектирования и трудность их обнаружения делает их главной проблемой безопасности современных электронных устройств. На основе приведенных аппаратных закладок подтверждается их опасность.

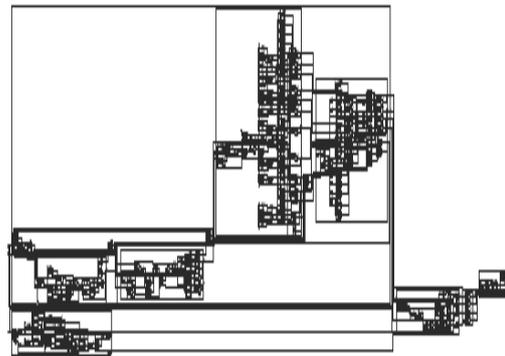
### Список источников

- [1] Белоус, А. И. Программные и аппаратные трояны – способы внедрения и методы противодействия. Первая техническая энциклопедия / А. И. Белоус, В. А. Солодуха, С. В. Шведов под общей редакцией А. И. Белоуса – М.: Техносфера, 2019 – 688 с
- [2] Dong, Ch. Hardware Trojans in chips: A Survey for Detection and Prevention / Ch. Dong, Yi Xu, X. Liu – MDPI, Sensors 2020 – 37 p
- [3] Agrawal, D. Trojan detection using IC fingerprinting. In Proceedings of the 2007 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP'07) / D. Agrawal, S. Baktir, D. Karakoyunlu, P. Rohatgi, B. Sunar – Berkeley, CA, USA, 20–23 May 2007 – p. 296–310.

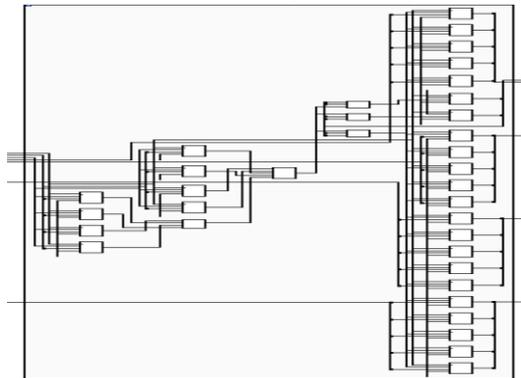
- [4] **Tripathi, A.** The economics of hardware trojans: An expert's opinion / A. Tripathi – Journal of Information Technology Case and Application Research, 2020 – 17 p
- [5] **Xiao, K.** Hardware Trojans: Lessons Learned after One Decade of Research / K. Xiao, D. Forte, Y. Jin – ACM Transactions on Design Automation of Electronic Systems – 2016 – Vol. 22 – № 1 – Article 6
- [6] **Xue, M.** Ten years of hardware Trojans: a survey from the attacker's perspective / M. Xue, Ch. Gu, W. Liu – IET Computers & Digital Techniques, 2020 – 16 p



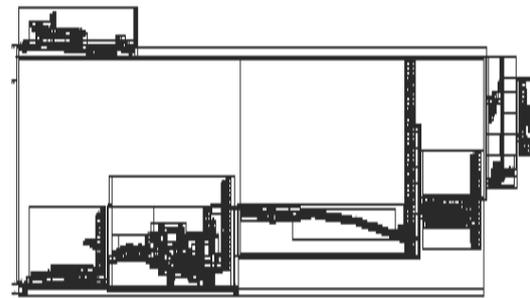
а) схематичное изображение трояна



б) схематичное изображение устройства



в) результат синтеза трояна



г) результат синтеза устройства

Рис. 2. Определитель частоты с аппаратным трояном с внешним механизмом активации

## Hardware trojans: implementation and detection's issues

*A. Y. Voronov, V. R. Stempitsky*

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

**Annotation.** The increase of integrated circuits (IC) diversity and range of applications leads to an increase participants number in their production and design. Third-party IC design software, the use of IP blocks (Intellectual Property) from other companies greatly increases the risk of implementation malicious schemes called hardware trojans into devices. Hardware trojans can cause a change in the functional operation of the device, information leakage or devise failure. This thesis considers the process of introducing hardware trojans with different activation mechanisms using a third-party IP block, analyzes the resulting structure at the schematic level and at the level of programmable FPGA blocks.

**Keywords:** Hardware security, Hardware trojans, FPGA.

## **Формирование наноразмерных пленок оксида титана электрохимическим анодированием и исследование их гидрофильных свойств**

*К. А. Антипов, Н. Н. Стешиц, С. К. Лазарук, А. А. Ярмольчик, В. Н. Дударенко, В. В. Мазуров.*  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь

Биомедицинские имплантаты из наноструктурированного титана и его оксида нашли широкое применение в хирургии благодаря их развитой поверхности, которая способствует прорастанию костной ткани внутрь имплантата, что в свою очередь ускоряет процесс его вживления после хирургических операций. Оксид титана, обладающий отрицательным электростатическим зарядом, обеспечивает тромборезистивные свойства, что также способствует регенерации костной ткани на поверхности имплантатов. В данной работе представлены результаты исследования пленок оксида титана, обладающих гидрофильными свойствами.

**Ключевые слова:** титан, анодирование титана, гидрофильность.

В данном исследовании использовался титан в качестве основного материала, поскольку он — один из самых привлекательных материалов для огромного спектра современных технологий [1–3]. А все из-за того, что данный металл одновременно обладает рядом следующих свойств:

1) Легкий вес: титан на 40% легче стали, что делает его идеальным для изготовления легких конструкций [4].

2) Прочность и стойкость: титан имеет высокую прочность на растяжение и стойкость к различным типам коррозии, что делает его надежным и долговечным материалом [5].

3) Высокая устойчивость к коррозии: титан не реагирует с большинством химических веществ, что дает ему преимущество при использовании в условиях, где необходима высокая устойчивость к коррозии [6].

4) Биосовместимость: титан считается одним из самых биосовместимых металлов, что делает его идеальным для использования в медицине и стоматологии [7].

5) Удобство обработки: титан легко обрабатывается и можно создать из него сложные формы и конструкции [8].

6) Свойства светопропускания: титан имеет уникальные свойства, которые могут быть использованы для производства линз и других оптических приборов [9].

7) Экологически чистый: производство титана не требует большого количества энергии и не загрязняет окружающую среду, что делает его экологически чистым материалом [10].

Формирование оксидных плёнок титана с гидрофильными свойствами позволит создавать имплантаты, обладающие высоким остеоинтеграционным потенциалом — коэффициентом смачиваемости поверхности. Чем выше данный коэффициент, тем лучше происходит взаимодействие между поверхностью имплантата и биологическими тканями, что способствует более быстрому и качественному вживлению имплантата [11–13].

Установлено, что при определенных условиях анодирования титана в водных и безводных электролитах, содержащих ионы фтора, может происходить формирование оксидных пленок с образованием самоорганизованной нанотрубчатой структуры. В данном исследовании в качестве электролита выступал водный раствор хлорида натрия, поскольку он не является токсичным по сравнению с ионами фтора [13, 14].

Нанотрубки диоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ) вызывают большой интерес по ряду причин. Исследования показали, что нанотрубки  $\text{TiO}_2$  имеют лучшие свойства по сравнению с

коллоидальной или любой другой формой диоксида титана для изготовления имплантатов. В добавок ко всему оксид титана является биоактивным, за счет чего имеет большое преимущество в биомедицине. А также наноструктурированный оксид титана показал высокую эффективность как в солнечных элементах, так и в газовых сенсорах и фотокаталитических устройствах [15, 16].

В ходе проведения научных исследований было рассмотрено и проанализировано множество методов электрохимического анодирования. Все исследования осуществлялись на установке, приведенной на рис. 1.

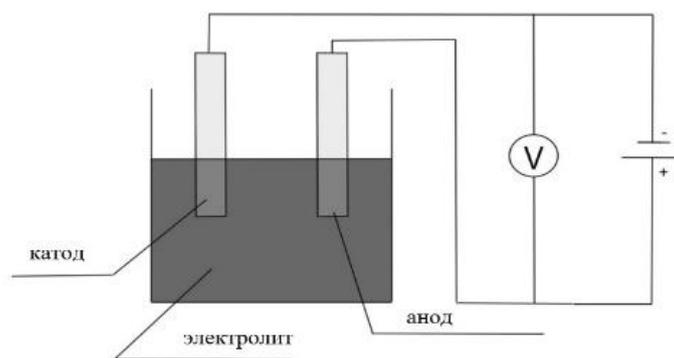


Рис. 1. Схема установки для проведения экспериментов

Были выбраны наиболее подходящие параметры анодирования для получения пленки на поверхности титана, обладающей гидрофильными свойствами. Эти параметры отбирались на основе необходимого результата анодирования для достижения угла смачиваемости менее  $90^\circ$  у оксидной пленки титана. Оксидные пленки должны обладать:

- нанотрубками необходимого размера, обладающих максимальной структуризацией по большей части поверхности;
- отрицательным зарядом, сохраняющим свою величину на наиболее долгий срок.

В результате было установлено, что для получения нанотрубок на поверхности оксидной пленки необходима плотность тока при анодировании не меньше  $5 \text{ mA/cm}^2$  и концентрация раствора хлорида натрия ( $\text{NaCl}$ ) не более 5 %. Так же было выяснено, что получение нанотрубок малого размера возможно при сверхнизкой концентрации электролита (0,1 %), что эквивалентно обычной водопроводной воде. На рис. 2 изображена получаемая оксидная пленка титана в растворе хлорида натрия концентрацией 5 % и 0,1 % соответственно.



Рис. 2. Оксидная пленка на обработанной механическим путем поверхности титана, полученная в 5 % растворе хлорида натрия и оксидная пленка на поверхности титана, полученная в 0,1 % растворе хлорида натрия

Однако получаемые нанотрубки на поверхности локализованы, т.е. не обладают необходимой структуризацией, что видно на рис. 3 и, чтобы это исправить, было сделано предположение о температурной зависимости формирования трубок: при низкой температуре нанотрубки будут более распространены по поверхности и иметь одинаковую ориентацию. Так же степень распространения трубок по поверхности зависит и от механической обработки титана непосредственно перед самим процессом анодирования и ультрафиолетовая или температурная обработка поверхности после процесса.

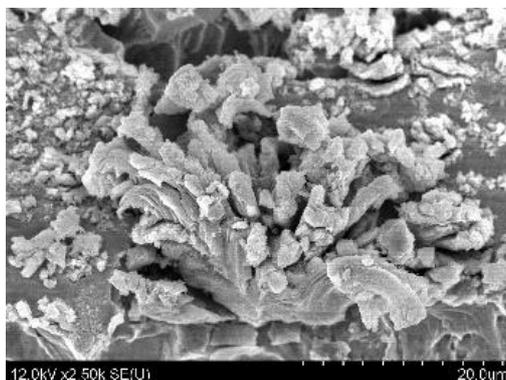


Рис. 3. Локализованные нанотрубки на поверхности оксида титана

Для получения необходимого отрицательного поверхностного заряда на пленке и дальнейшего его сохранения, после завершения процесса, необходимо проводить анодирование не менее 10 минут, так же этому способствует механическая и термическая обработка образца перед анодированием.

Отличительной особенностью проводимых экспериментов является то, что нанотрубки на поверхности титана можно получать на достаточно малом токе, а в качестве электролита использовать безвредный малопрцентный раствор хлорида натрия. На рис. 4 изображены трубчатые структуры оксида титана, полученные при помощи сканирующего электронного микроскопа.

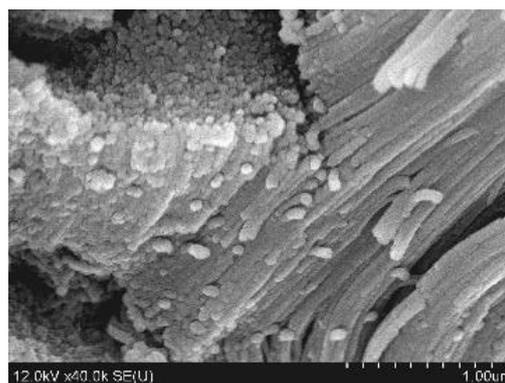
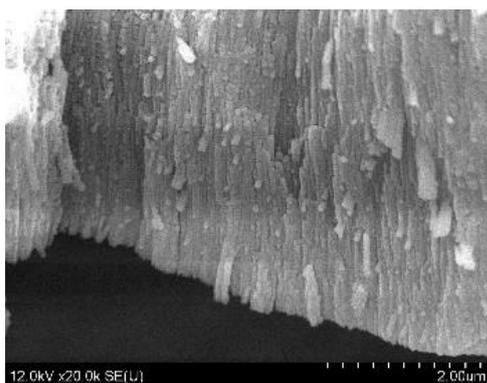


Рис. 4. Нанотрубки на поверхности оксида титана, полученные в 1 % растворе хлорида натрия, при плотности тока равной 25 мА/см<sup>2</sup>

В добавок ко всему получаемые данным способом нанотрубки имеют размер менее 50 нм и распространены по большей части поверхности материала. Это можно увидеть на рис. 5.

На данной поверхности удалось достичь угла смачиваемости порядка 38°, что соответствует термину «гидрофильная поверхность». На рис. 6 изображены капли воды на поверхности наноструктурированной оксидной пленки титана, полученной в 0,1 % растворе

хлорида натрия с послеанодной термической обработкой и в 0,1 % растворе хлорида натрия с предварительной механической обработкой и термической обработкой. При дальнейших исследованиях методика получения пленок оксида титана будет улучшаться, в результате планируется получить еще меньший угол смачивания поверхности.

Исходя из проведенного исследования, можно сделать вывод о том, что наноструктурированные пленки оксида титана, обладающие гидрофильными свойствами, представляют наибольший интерес в биомедицине и могут быть применены как покрытия медицинских имплантатов.

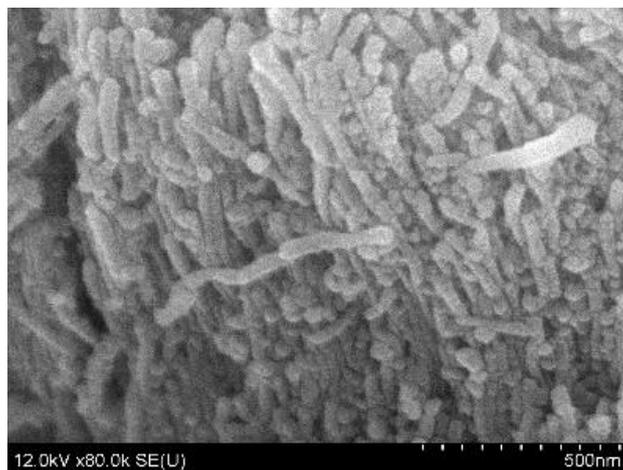


Рис. 5. Нанотрубки размером менее 50 нм, на поверхности оксида титана, полученной в 0,1 % растворе хлорида натрия



а) послеанодная термическая обработка



б) термическая и механическая обработка

Рис. 6. Углы смачивания гидрофильной наноструктурированной оксидной пленки титана, полученной в 0,1 % растворе хлорида натрия с послеанодной термической обработкой (а) и полученной в 0,1 % растворе хлорида натрия с предварительной термической и механической обработкой (б)

#### Список источников

- [1] **Косолапов, В.А.** Перспективы и проблемы нанофармакологии / В.А. Косолапов, А.А. Спасов // Вестник ВолГМУ. – 2009. – №4 (32). – С. 12–16.
- [2] **Зиганшин, А.У.** Наночастицы: фармакологические надежды и токсикологические проблемы / А.У. Зиганшин, Л.Е. Зиганшина // Казанский медицинский журнал. - 2008. - №1. – С. 1-7.
- [3] **Soares, S.** Nanomedicine: Principles, Properties, and Regulatory Issues / S. Soares, J. Sousa, A. Pais, C. Vitorino // *Frontiers in chemistry*. – 2018.- 6 360 – С. 12–14.
- [4] **Самсонова, М.В.** Наномедицина: перспективы развития / М.В. Самсонова // Практическая пульмонология. – 2008. – №1. – С. 13–17.
- [5] **Вихров, С.П.** Методы адресного введения наноконструкций для диагностики и терапии / С.П. Вихров, Т.А. Холомина // Биотехносфера. – 2010. – №5-6. – С. 59–68.

- [6] **Swami, N.** Titania Nanotubes: Novel Nanostructures for Improved Osseointegration / N. Swami, Z. Cui, L.S. Nair // *Journal of Heat Transfer*. - 2011. - 133(3). – С.
- [7] **Denyer, S.P.** Mechanism of action disinfectants / S.P. Denyer, G.S.A.B. Stewart // *International Biodeterioration & Biodegradation* – 1998. – 41. — С. 261—268.
- [8] **Леонтьев, В.К.** Антибактериальные эффекты наночастиц металлов / В.К. Леонтьев, Д.В. Кузнецов, Г.А. Фролов, И.П. Погорельский, Н.В. Латута, Я.Н. Карасенков // *Российский стоматологический журнал*. — 2017. — №6. – С. 304—307.
- [9] **Абдуллин, И.Ш.** Нанодисперсные материалы на основе оксида титана в микробиологической, медицинской и пищевой промышленности / И.Ш. Абдуллин, З.А. Канарская, А.А. Хубатхузин, Д.И. Калашников, Э.Б. Гатина // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2012. – №15(10). – С. 158–165.
- [10] **Ibanez, J.A.** Photocatalytic Bactericidal Effect of TiO<sub>2</sub> on Enterobactercloacae / J.A. Ibanez, M.I. Litter, R.A. Pizarro // *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* – №157(1). – С 81– 85.
- [11] **Забелин, С.Ф.** Совершенствование технологии получения металлических имплантантов биомедицинского назначения / С.Ф. Забелин, А.А. Дорожков // *Учёные записки ЗабГУ. Серия: Физика, математика, техника, технология*. – 2011. - №3. – С. 85–92.
- [12] **Каркищенко, Н.Н.** Наноинженерные лекарства: новые биомедицинские инициативы в фармакологии / Н.Н Каркищенко // *Биомедицина*. – 2009. – №1(2). – С. 5-27.
- [13] **Алчинова, И. Б.** Взаимодействие наночастиц диоксида титана и сыворотки крови больных аутоиммунными заболеваниями / И.Б. Алчинова, Е.Н. Яковенко, А.Г. Санадзе, М.Ю. Карганов // *Клиническая лабораторная диагностика*. – 2016. - №7. – С. 401–404.
- [14] **Карганов, М.Ю.** Сравнительный анализ информативности радиоиммунологического исследования и лазерной корреляционной спектроскопии при миастении и миастенических синдромах / М.Ю. Карганов, О.И. Ковалева, А.Г. Санадзе, Д.В. Сиднев, В.В. Пивоваров, С.Б. Ланда // *Неврологический журнал*. – 2003. – №8. – С. 26—29.
- [15] **Карлов, А.В.** Влияние продуктов деградации титановых имплантатов с модифицированной поверхностью на активность щелочной и кислой фосфатаз в культуре клеток костного мозга / А.В. Карлов, И.В. Хлусов // *Гении ортопедии*. – 2002. – № 4. – С. 89–92.
- [16] **Мейснер, В.В.** Влияние ионно- и электронно-лучевой модификации поверхности на коррозионные свойства и биосовместимость никелид титана в экспериментах *in vivo* / В.В. Мейснер, И.В. Никонова // *Перспективные материалы*. – 2008. – № 3. – С. 15–27.

## **Formation of nanoscale titanium oxide films by electrochemical anodizing and study of their hydrophilic properties**

*K. A. Antipov, N. N. Stseshyts, S. K. Lazaruk, A. A. Yarmolchik, V. N. Dudarenko, V. V. Mazurov.*  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Biomedical implants made of nanostructured titanium and its oxide are widely used in surgery due to their developed surface, which promotes the growth of bone tissue into the implant, in turn accelerates the process of implantation after surgical operations. Titanium oxide has a negative electrostatic charge, provides thromboresistive properties, also promotes bone tissue regeneration on the implant surface. This article presents the results of a study of titanium oxide films with hydrophilic properties.

**Key words:** Titanium, Titanium anodizing, hydrophilicity.

## Построение и применение систем генерации плазмы диэлектрического барьерного разряда с жидкостным электродом

*Е. К. Железнова, О. М. Чернаусик, Д. А. Котов*

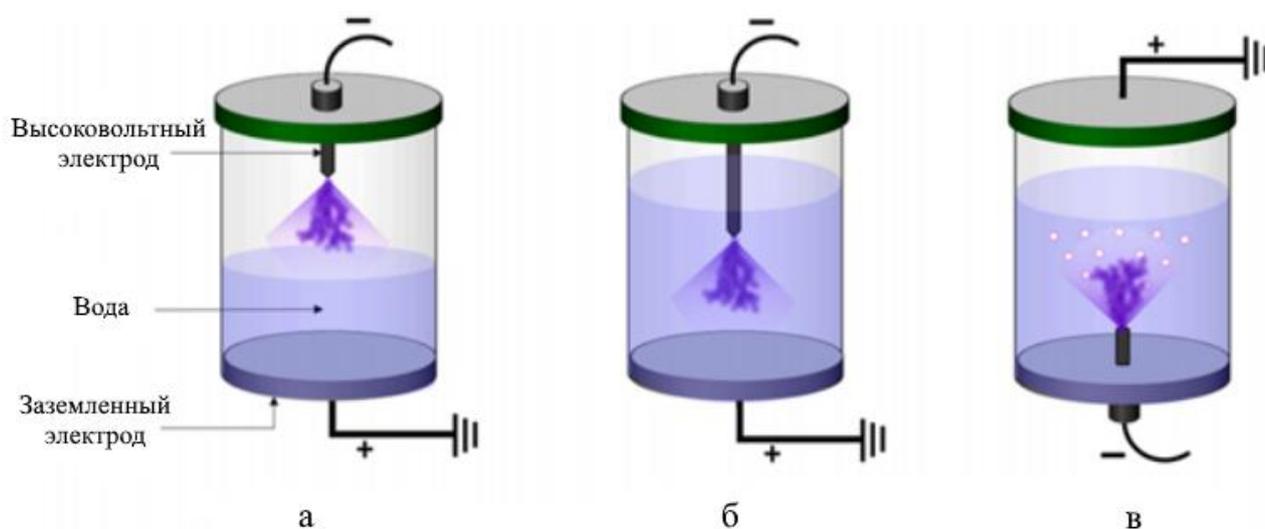
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь

В работе представлены результаты аналитических исследований трёх форм плазменно-жидкостных разрядов. Описаны их особенности и области их потенциальных применений. Большой интерес представляет собой газовый и гибридный разряды в связи с их возможностью для обработки биологических объектов.

**Ключевые слова:** диэлектрический барьерный разряд, жидкостный электрод, плазма при атмосферном давлении.

В последние годы плазменно-жидкостные системы привлекли значительное внимание исследователей в различных областях применения, включая очистка окружающей среды и сточных вод [1,2], процессы создания наноразмерных структур [3,4], лечение раковых клеток [5], стерилизация и дезинфекция [6], предотвращение и уничтожение бактериальной биопленки [7] и аналитическая химия [8] и т. д. В частности, были опробованы методы обработки плазмой: 1) для разложения многих вредных соединений из воды, в том числе: гербициды [9], пестициды [10], фенолы [1, 11], органические красители [12],  $As^{3+}$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  [13,14], биомолекулы, инактивация вирусов и бактерий [15–17], фармацевтические препараты [18] и ветеринарные антибиотики [19]; 2) для возможного удаления химических и биологических отходов во всех трех состояниях: газ, жидкость и твердое тело [20].

На данный момент существует 3 основных конфигурации плазменно-жидкостных систем: газовый, жидкостный и гибридный разряды. На рис. 1 показаны схемы данных разрядов.



а) газовая разрядная система; б) жидкостная разрядная система; в) гибридная (газ-жидкость) разрядная система  
Рис.1. Схема различных разрядно-плазменных систем, используемых для очистки воды

Газовый разряд создает большое количество активных форм кислорода, а также радикалов нитратов, нитритов и NO. Такой разряд имеет сходство с контактным электролизом тлеющего разряда, когда металлический анод залит жидкостью, а плазма создается в слое пара. Здесь значительная часть мощности разряда теряется в жидкости, вызывая в ней высокие

скорости испарения. В такой разрядной системе для генерации активных частиц используется меньше энергии.

Жидкостный разряд генерируется под действием импульсов длительностью в несколько наносекунд, напряжением постоянного тока и/или возбуждением переменным током с частотами от 50–60 Гц до ГГц. Также здесь требуется больше энергии, чем в газовом разряде. Кроме того, время существования плазмы в воде очень мало из-за активного обмена высокоэнергетическими электронами с окружающей водной средой. Прямой электрический разряд, применяемый в воде, генерирует плазменные каналы с повышенной температурой (стримеры), создавая электрогидравлическую кавитацию, сверхкритическое окисление воды, а также образование короткоживущих радикалов путем ультрафиолетового фотолиза. Тем не менее жидкостный разряд представляет собой достаточно простую систему и позволяет формировать химически активные частицы непосредственно в воде, которые способны эффективно воздействовать на растворенные загрязнения.

Гибридный разряд характеризуется большой площадью контактной поверхности, что приводит к высокой эффективности диффузии газообразных частиц внутри жидкости и меньшим затратам энергии на создание плазмы, чем прямой разряд в жидкости. Кроме того, на границе раздела газ-жидкость могут образовываться чрезвычайно реактивные частицы, такие как  $\text{H}_2\text{O}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{OH}$  или  $\text{HO}^{\bullet}_2$ , и эти частицы будут поддерживать разрушение целевых загрязняющих веществ. А также, в плазме атмосферного разряда массивный поток электронов сталкивается с границей раздела фаз вода-воздух, индуцируя высокоактивные электроны, растворенные в жидкости, с высокой концентрацией. В том числе значительное количество активных форм кислорода и радикалов  $\text{OH}^{\bullet}$  также образуются вблизи границы раздела фаз.

Исходя из вышепредставленных описаний разрядных систем можно сделать выводы о том, что газовая и гибридная разрядные системы представляют наибольший интерес для реализации процессов обработки поверхностей объектов, в том числе биологической природы.

#### Список источников

- [1] **Jiang, B.** Review on electrical discharge plasma technology for wastewater remediation / B. Jiang, J. Zheng, S. Qiu, M. Wu, Q. Zhang // *Chemical Engineering Journal*. — 2014. Vol. 236. — P. 348–368.
- [2] **Jufang, Z.** Remove of Phenolic Compounds in Water by Low-Temperature Plasma: A Review of Current Research / Z. Jufang, C. Jierong, L. Xiaoyong // *Journal of Water Resource and Protection*. — 2009. — Vol. 1. — P. 99–109.
- [3] **Sato, S.** Synthesis of nanoparticles of silver and platinum by microwave-induced plasma in liquid / S. Sato, K. Mori, O. Ariyada, H. Atsushi, T. Yonezawa // *Surface Coatings Technology*. — 2011. — Vol. 206. — P. 955–958.
- [4] **Chen, L.** Synthesis of zirconium carbide (ZrC) nanoparticles covered with graphitic “windows” by pulsed plasma in liquid / L. Chen, C. Iwamoto, E. Omurzak // *RSC Advances*. — 2011. — Vol. 1. — P. 1083–1088.
- [5] **Fridman, G.** Applied plasma medicine / G. Fridman, G. Friedman, A. Gutsol, A. Shekhter, V. Vasilets, A. Fridman // *Plasma Processes and Polymers*. — 2008. — Vol. 5. — P. 503–533.
- [6] **Ziuzina, D.** Atmospheric Cold Plasma Inactivation of Escherichia Coli in Liquid Media Inside a Sealed Package / D. Ziuzina, S. Patil, P. Bourke, K. Keener, P. Cullen // *Journal of Applied Microbiology*. — 2013. — Vol. 114. — P. 778–787.
- [7] **Ermolaeva, S.A.** Atmospheric pressure nonthermal plasmas for bacterial biofilm prevention and eradication / S.A. Ermolaeva, E.V. Sysolyatina, A.L. Gintsburg // *Biointerphases*. — 2015. — Vol. 10. — № 029404. — P. 1–11.

- [8] **Profrock, D.** Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) "for quantitative analysis in environmental and life sciences: A review of challenges, solutions, and trends / D. Profrock, A. Prange // *Applied Spectroscopy*. — 2012. — Vol. 66. — P. 843–868.
- [9] **Nani, L.** ROS production and removal of the herbicide metolachlor by air non-thermal plasma produced by DBD, DC- and DC+ discharges implemented within the same reactor / L. Nani, F. Tampieri, E. Ceriani, E. Marotta, C. Paradisi // *Journal of Physics D: Applied Physics*. — 2018. — Vol. 51. — № 274002.
- [10] **Misra, N.N.** The contribution of non-thermal and advanced oxidation technologies towards dissipation of pesticide residues / N.N. Misra // *Trends in Food Science and Technology*. — 2015. — Vol. 45. — P. 229–244.
- [11] **Lukes, P.** Degradation of substituted phenols in a hybrid gas–liquid electrical discharge reactor / P. Lukes, B.R. Locke // *Industrial and Engineering Chemistry Research*. — 2005. — Vol. 44. — P. 2921–2930.
- [12] **Tao, X.** A novel two-level dielectric barrier discharge reactor for methyl orange degradation / X. Tao, G. Wang, L. Huang, Q. Ye, D. Xu // *Journal of Environmental Management*. — 2016. — Vol. 184. — P. 480–486.
- [13] **Jiang, B.** A green approach towards simultaneous remediations of chromium (VI) and arsenic (III) in aqueous solution / B. Jiang, J.B. Guo, Z.H. Wang, X. Zheng, J.T. Zheng, W.T. Wu, M.B. Wu, Q.Z. Xue, // *Chemical Engineering Journal*. — 2015. — Vol. 262. — P. 1144–1151.
- [14] **Khlyustova, A.** Plasma-induced precipitation of metal ions in aqueous solutions / A. Khlyustova, N. Sirotkin, V. Titov // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. — 2019. — Vol. 94. — P. 3987–3992.
- [15] **Rossi, F.** Decontamination of surfaces by low pressure plasma discharges / F. Rossi, O. Kyli'an, M. Hasiwa // *Plasma Processes and Polymers*. — 2006. — Vol. 3. — P. 431–442.
- [16] **Scholtz, V.** The influence of parameters of stabilized corona discharge on its microbicidal effect / V. Scholtz, L. Kommova, J. Julak // *Acta Physica Polonica A*. — 2011. — Vol. 119. — P. 803–806.
- [17] **Alshraiedeh, N.** Atmospheric pressure, nonthermal plasma inactivation of MS2 bacteriophage: effect of oxygen concentration on virucidal activity / N. Alshraiedeh, M. Alkawareek, S. Gorman, W. Graham, B. Gilmore // *Journal of Applied Microbiology*. — 2013. — Vol. 115. — P. 1420–1426.
- [18] **Magureanua, M.** Degradation of antibiotics in water by non-thermal plasma treatment / M. Magureanua, D. Piroia, N.B. Mandachea, V. Davidb, A. Medvedovicb, C. Braduc, V.I. Parvulescu // *Water Research*. — 2011. — Vol. 45. — P. 3407–3416.
- [19] **Kim, K.-S.** Degradation of veterinary antibiotics by dielectric barrier discharge plasma / K.-S. Kim, C.-S. Yang, Y.S. Mokb // *Chemical Engineering Journal*. — 2013. — Vol. 219. — P. 19–27.
- [20] **Cheng, H.-H.** Non-thermal plasma technology for degradation of organic compounds in wastewater control: a critical review / H.-H. Cheng, S.-S. Chen, Y.-C. Wu, D.-L. Ho // *Environmental Engineering and Management Journal*. — 2007. — Vol. 17 (6). — P. 427–433.

## **Construction and application of systems for generating plasma of a dielectric barrier discharge with a liquid electrode**

*E. K. Zheleznova, V. M. Charnavusik, D. A. Kotov*

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

### **Annotation**

This work presents the results of analytical studies of three forms of plasma-liquid discharges. Their characteristics and potential application areas are described. The particular interest are the gas and hybrid discharges due to their ability to process biological objects.

**Keywords:** Dielectric barrier discharge, Liquid electrode, Atmospheric pressure plasma

## **Наноразмерные транзисторы с кольцевым затвором на основе сегнетоэлектриков**

*К. О. Волчик, И. Ю. Ловшенко*

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

Представлены результаты исследования наноразмерных транзисторов с кольцевым затвором на основе сегнетоэлектриков. Рассмотрены проблемы масштабирования элементов интегральных схем, особенности наноразмерных структур, в частности их квантовые эффекты. Изучены технологии формирования и эксплуатационные характеристики GAAFET. Выявлено, что полная диэлектрическая изоляция днища снижает мощность на 18%, увеличивая производительность на 4%. Данные устройства демонстрируют лучшую устойчивость к изменениям процесса в отношении контроля утечки подканала.

**Ключевые слова:** масштабирование элементов интегральных микросхем, наноразмерные приборные структуры, GAAFET.

### **Введение**

В настоящее время в связи с проблемами, связанными с уменьшением размера чипов, была представлена значимая конструкция транзистора под названием Gate-All-Around или GAAFET, которая призвана соответствовать закону Мура и, возможно, продолжить продвижение в области полупроводников на уровне транзисторов. По сути, GAAFET представляет собой переработку традиционной конструкции транзистора, в которой материал затвора окружает кремниевый полупроводниковый канал с четырёх сторон, а не с трёх сторон (как это используется в современных устройствах FinFET). Двумя основными преимуществами этой конструкции транзистора являются уменьшение размера конструкции и повышенный потенциал масштабирования длины канала, что связано с увеличением плотности транзисторов.

### **Основная часть**

Интеграция полевых транзисторов с нанолитами GAA включает в себя несколько новых шагов, требующих ряда инноваций для реализации этой технологии. Ключевые модули интеграции перечислены ниже:

1. Формирование стопки нанолитов: стопка SiGe и Si эпитаксиально выращивается на подложке Si; Толщина каждого слоя может контролироваться с высокой точностью.
2. Вскрытие ребер и STI: устройства определяются литографически, и выполняется неглубокая изоляция траншеи, чтобы изолировать соседние устройства.
3. Формирование холостого затвора: формируется затвор из поликремния, чтобы обеспечить последующую обработку.
4. Формирование внутренней прокладки и соединения: эпитаксиальные слои истока/стока n-типа или p-типа выборочно формируются на обеих сторонах открытых концов нанолитов.
5. Замена металлических ворот:
  - Вытягивание фиктивных ворот: фиктивные ворота вытравливаются, открывая полость, на дне которой расположены нанолиты,
  - Высвобождение каналов SiGe: каналы SiGe между нанолитами вытравливаются, чтобы их можно было заполнить металлическими затворами high-k,

– Формирование металлического затвора с высоким значением  $k$  (HKMG): выборочно осаждаются межфазный оксид, диэлектрический слой с высоким значением  $k$  и рабочие функции  $n$ -типа или  $p$ -типа.

Сейчас производители процессоров считают, что трехзатворные транзисторы — пройденный этап, и начинают разрабатывать новые архитектуры транзисторов. [5] Усовершенствован плавниковый транзистор (FinFET). Его плавник разделен на три части, за счет чего еще больше увеличилась длина затвора. Такой транзистор с кольцевыми затворами получил название GAAFET (gate-all-around FET).

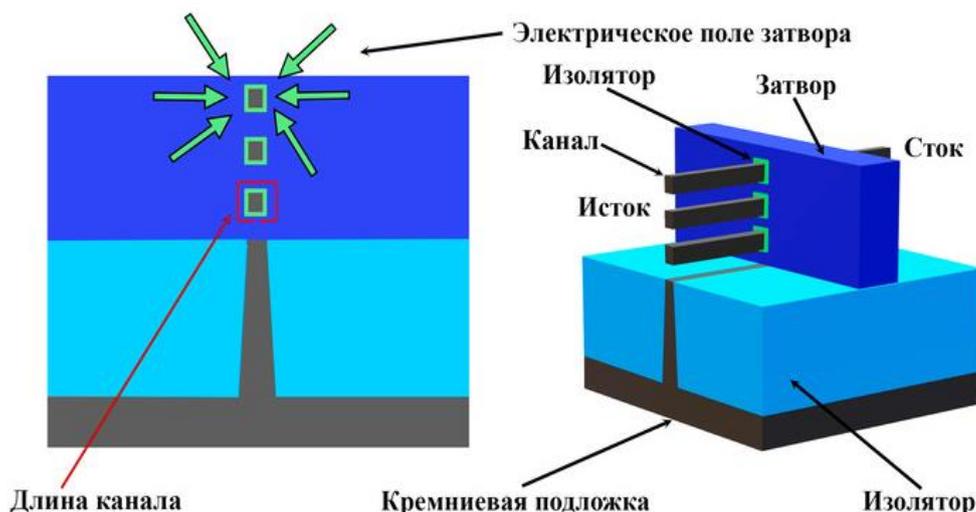


Рис. 1. Упрощенная модель GAAFET

### Заключение

Одним из аспектов изготовления нанолитов, который следует тщательно учитывать, является механическая стабильность этих листов в процессе высвобождения канала. Хотя нанолиты обеспечивают гибкость конструкции, соотношение сторон листов и механическая целостность внутренней прокладки играют важную роль в общей стабильности этих листов. Другим аспектом оптимизации является изменчивость устройства, которая может быть вызвана несколькими причинами, включая, помимо прочего, шероховатость края линии, шероховатость края затвора, неравномерное осаждение металла при работе выхода и случайные колебания легирующей примеси.

### Список источников

- [1] Consumer electronics (2020) Available at: <https://www.statista.com/outlook/251/100/consumer-electronics/worldwide>(Accessed 14 May 2020).
- [2] **Karbalaei M, Dideban D.** A nanoscale silicon on insulator transistor with superior performance using dual material gate and retrograde/halo doping in source/drain sides. *J Phys Chem Solids* 2019;109247.
- [3] **Kumar P, Singh S, Singh NP, Modi B, Gupta N.** Germanium v/s silicon Gate-allaround junctionless nanowire transistor. In: 2nd International Conference on Devices, Circuits and Systems (ICDCS).
- [4] **Narang R, Saxena M, Gupta R, Gupta M.** Drain current model for a gate all around (GAA)  $p$ - $n$ - $p$ - $n$  tunnel FET. *Microelectron J* 2013;44:479–88.
- [5] **V. Moroz et al.**, “FinFET/Nanowire design for 5nm/3nm technology nodes: Channel cladding and introducing a “bottleneck” shape to remove performance bottleneck,” 2017 IEEE Electron Devices Technology and Manufacturing Conference (EDTM), pp. 67–69, Feb. 2017.

## Дальнодействующее обменное взаимодействие в углеродных нанотрубках с наночастицами железа

*М. В. Шарейко*

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

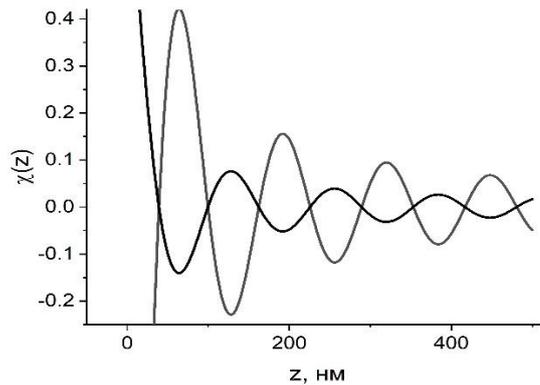
В данной работе приводятся результаты моделирования дальнодействующего обменного взаимодействия в массиве углеродных нанотрубок (УНТ), содержащих наночастицы железа. Используется модельный гамильтониан, учитывающий диаметр, хиральность, химический потенциал и спин-орбитальное взаимодействие (СОВ) системы. Рассчитана спиновая восприимчивость вдоль оси УНТ и показано, что при условии попадания химического потенциала в щель, открываемую СОВ, реализуется дальнодействующий косвенный обмен типа РККИ, который проявляется на расстояниях в сотни нанометров. Получена также оценка энергии обменного взаимодействия между наночастицами железа внутри УНТ.

**Ключевые слова:** углеродные нанотрубки, ферромагнитные наночастицы, косвенное обменное взаимодействие, модельный гамильтониан, спин-орбитальное взаимодействие.

Исследование магнитных свойств УНТ с наночастицами ферромагнитных металлов актуально для разработки углеродной спинтроники. В работе рассматривается полупроводниковая УНТ с внутренним диаметром  $D$  и индексами хиральности  $(m, n)$ , причем  $m > n > 0$ . Координата  $z$  направлена вдоль оси УНТ. Косвенное обменное взаимодействие типа РККИ описывается статической спиновой восприимчивостью свободных электронов  $\chi$ , которая входит в модельный обменный гамильтониан [1]. Рассматриваются только электроны проводимости внутренней стенки. Учитывается также вклад СОВ, которое может быть на порядки больше, чем у графена за счет разных факторов, таких как кривизна УНТ, дефекты или примесные состояния УНТ, наличие магнитных наночастиц. Чтобы определить эволюцию спиновой восприимчивости  $p$ -электронов проводимости вдоль оси УНТ в присутствии СОВ мы будем рассматривать только низкочастотную огибающую осцилляций  $\chi(z)$ . В этом случае [1]

$$\chi(z) = \chi_0 [\text{si}(2k_+|z|) + 2\text{si}(2k_-|z|)], \quad (1)$$

где  $\chi_0 = a^2 k_G / \hbar v_F$ ,  $v_F$  – скорость Ферми,  $k_G \approx 2N/3D$  ( $N = (m-n) \bmod 3$ ) квантованный импульс в циркулярном направлении,  $a$  – постоянная решетки,  $\hbar$  – постоянная Планка, волновые векторы  $k_{\pm} = \text{Re}[(2k_G \delta_{\pm} / \hbar v_F)^{1/2}]$ . Здесь  $\delta_{\pm} = E_F - \hbar v_F k_G \mp \beta_{\pm}$  а параметр  $\beta_{\pm} = \alpha + \beta$  характеризует вклад СОВ,  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты спин-орбитального взаимодействия в гамильтониане исследуемой системы, зависящие от  $\Delta_{SO}$  – константа СОВ, функция  $\text{si}(x) = \int_0^x \frac{\sin t}{t} dt - \frac{\pi}{2}$ . Использовались следующие фундаментальные прыжковые амплитуды в присутствии  $sp^2$  гибридизации:  $V_{pp}^{\pi} = -3,0$  эВ,  $V_{pp}^{\sigma} = 5,0$  эВ,  $V_{sp} = 5,6$  эВ. В рамках модели (1) рассчитывались значения  $\chi$  как функции от  $E_F$ ,  $\Delta_{SO}$  и индексов хиральности  $(m, n)$ , которые определяют значения  $D$ ,  $\theta$  и  $k_G$ . Расчеты  $\chi$  проводились в зависимости от параметра  $\delta_{\pm}$ , величину которого можно легко подстраивать через энергию Ферми  $E_F$  [2]. Наиболее важный случай дальнодействующего РККИ взаимодействия происходит, когда положение  $E_F$  такое, что  $\delta_+ > 0$  и  $\delta_- < 0$ , т.е. когда она находится внутри щели, открытой СОВ. На рис. 1 приведена зависимость  $\chi(z)$  для УНТ со следующими параметрами:  $(m, n) = (235, 129)$  ( $D = 25$  нм,  $\theta = 20.45^\circ$ ,  $k_G = 0,027$  нм<sup>-1</sup>),  $\Delta_{SO} = 6$  мэВ. Видно, что спиновая восприимчивость затухает на расстоянии более 500 нм.

Рисунок 1 - Зависимость  $\chi(z)$  для  $E_F = 50$  мэВ и  $\Delta_{SO} = 6$  мэВ

Было установлено, что поведение спиновой восприимчивости вдоль оси УНТ весьма чувствительно к положению энергии Ферми. Важным параметром, который оказывает влияние на спиновую восприимчивость, является константа СОВ  $\Delta_{SO}$ . По мере роста  $\Delta_{SO}$  щель СОВ увеличивается. Для УНТ диаметром  $D = 30,6$  нм,  $(m,n)=(222,221)$ ,  $\theta = 29,93^\circ$ ,  $k_G = 0,022$  нм<sup>-1</sup> и  $\Delta_{SO} = 20$  мэВ дальнедействующий порядок РККИ обмена обеспечивается, если энергия Ферми находится в интервале  $14,62 \pm 0,2$  мэВ. Обменную энергию можно выразить как  $E_{ex} = J^2 \chi(z)$  где  $J$  – константа обменной связи, определяющая взаимодействие между  $d$ -электронами ферромагнитной наночастицы и проводящими  $p$ -электронами УНТ. Для Fe  $J \approx 0,8 - 1,5$  эВ. В результате получено, что  $E_{ex} \sim (1-2) \times 10^{-5}$  эВ, что соответствует обменному полю  $H_{ex} = (2-4)$  кЭ.

Таким образом, в работе установлено, что в УНТ диаметром в несколько десятков нанометров косвенное обменное взаимодействие РККИ-типа может распространяться на расстояния порядка сотен нм вдоль оси нанотрубки. Необходимое условие для этого – энергия Ферми должна находиться внутри энергетической щели, открываемой СОВ. Влияние параметров УНТ на дальнедействующий характер обменной связи между ферромагнитными наночастицами посредством взаимодействия РККИ-типа является самосогласованным. Это связано с тем, что такие параметры УНТ, как индексы хиральности, энергия Ферми и угол хиральности, должны быть соотнесены с константой СОВ, чтобы обеспечить условие нахождения энергии Ферми внутри энергетической щели, открытой СОВ. Увеличение индексов хиральности, которое вызывает увеличение диаметра УНТ, приводит к уменьшению сдвига энергии Ферми до диапазона 10 мкэВ. Точная регулировка положения уровня Ферми в энергетической щели, создаваемой СОВ, позволяет усилить косвенный обмен и обеспечить его дальнедействующий характер. Таким образом, обменное взаимодействие РККИ-типа может эффективно контролироваться электрическим полем. Точная регулировка положения энергии Ферми в энергетической щели, создаваемой СОВ, позволяет усилить косвенный обмен и обеспечить его дальнедействующий характер, до сотен нм. Оценка энергии косвенного обменного взаимодействия посредством электронов проводимости УНТ между наночастицами Fe показала, что ее значение хорошо коррелирует с полем обмена, получаемым из анализа магнитных характеристик УНТ.

#### Список источников

- [1] **Klinovaja J., Loss D.** *RKKY interaction in carbon nanotubes and graphene nanoribbons.* Phys. Rev. B. 2013;87(4);045422.
- [2] **Klinovaja J., Schmidt M.J., Braunecker B., Loss D.** *Helical modes in carbon nanotubes generated by strong electric fields.* Phys. Rev. Lett. 2011;106(15);156809.

## Влияние рассеяния заряженных частиц на рабочем газе на профиль выработки мишени при магнетронном распылении

*В. В. Шекелевский, Д. А. Котов*

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

В работе представлена методика для оценки влияния давления в рабочей зоне над поверхностью мишени магнетронной распылительной системы при использовании метода Монте-Карло для заряженных частиц. Проведены расчетные исследования процесса формирования профиля зоны эрозии мишени при разном давлении, а также проведена верификация расчетных и экспериментальных данных для магнетрона диаметром 80 мм с плоской мишенью, показывающая хорошую эффективность применяемого подхода.

**Ключевые слова:** магнетронное распыление, расчет процесса магнетронного распыления, зона эрозии мишени, рассеяние электронов на рабочем газе, метод Монте-Карло.

Современная промышленность, занимающаяся производством изделий микро-, нано- и оптоэлектроники, при нанесении тонкопленочных покрытий обычно использует магнетронное распыление. В связи с этим возникает важный вопрос о равномерном нанесении покрытий на подложки больших размеров. Изменение конфигурации поверхности мишени как в процессе распыления, так и при изменении давления в камере оказывает влияние на процесс осаждения материала на подложку, поэтому необходимо иметь методики для оценки этих факторов при расчетах.

Одним из основных факторов, влияющим на форму эрозии мишени, является давление в рабочей области над поверхностью мишени. Электроны, движущиеся в магнитной ловушке, испытывают столкновения с атомами рабочего газа и изменяют свою траекторию. Тем самым, в зависимости от концентрации частиц рабочего газа, изменяется картина пространственного распределения ионов над мишенью [1].

Из экспериментальных данных известно, что повышение давления ведет к уменьшению длины свободного пробега частиц в газе, что в случае магнетронных распылительных систем приводит к сужению профиля зоны эрозии мишени и уменьшению коэффициента использования мишени.

В нашем случае оценка зоны плазмообразования производится с помощью метода Монте-Карло для заряженных частиц, движущихся в скрещенных магнитном и электрическом полях [2].

Для учета рассеяния частиц на рабочем газе на каждом шаге вычисления значение скорости частицы подставляется в уравнение 4 для вероятности рассеяния и с помощью генератора случайных величин определяется будет ли меняться направление частицы. Новое направление движения выбирается случайно с одинаковым шансом для любого направления.

Концентрация частиц в  $1 \text{ м}^3$  определяется как

$$N = p/kT, \quad (1)$$

где  $p$  – давление в рабочей зоне,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура газа.

$$\sigma = \pi R_{Ar}, \quad (2)$$

где  $R_{Ar}$  – эффективный радиус атома аргона,  $2,8 \text{ \AA}$ .

Длина свободного пробега частицы

$$\lambda = 1/\sigma n. \quad (3)$$

Вероятность рассеяния

$$P = 1 - e^{-vdt/\lambda}, \quad (4)$$

где  $v$  – мгновенная скорость частицы,  $dt$  – шаг времени, с которым производятся вычисления.

Расчеты проводились для круглого магнетрона диаметром 80 мм внешний вид которого представлен на рис. 1. Рабочее давление порядка 0,15 Па. Потенциал катода –450 В, ионный источник в качестве анода заземлен. На рис. 2 представлены рассчитанные нормированные профили эрозии мишени для разного давления и сравнение с экспериментом, где контур зоны эрозии на экспериментальном образце оцифровывался с помощью фотосъемки. Давлению в 0 Па соответствует случай без учета рассеяния на рабочем газе.

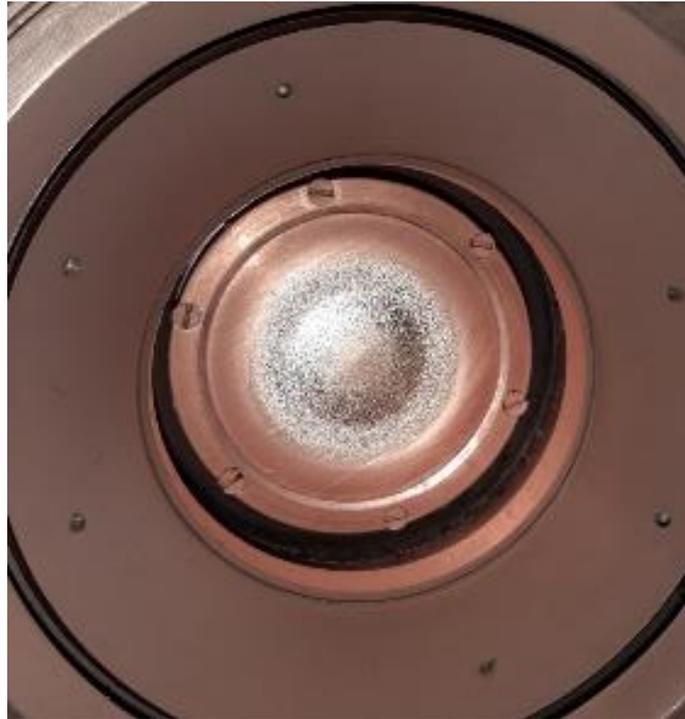


Рис. 1. Внешний вид системы в установке с частично распыленной мишенью из меди

Сравнение рассчитанного профиля для давления 0,15 Па и экспериментального показывает высокую степень соответствия с погрешностью менее 10 %. Следует отметить, что мишень распылялась при разных рабочих параметрах, поэтому профиль эрозии является усредненным.

Из результатов расчета видно, что увеличение давления приводит к смещению максимума зоны распыления мишени и сужению самого профиля. Аналогичные данные наблюдаются и при экспериментальных исследованиях, что говорит о верности предложенной методики.

Таким образом показана методика оценки влияния давления в рабочей зоне над поверхностью мишени магнетронной распылительной системы с помощью численных расчетов с использованием метода Монте-Карло. В дальнейшем полученный профиль зоны эрозии позволяет, используя законы распределения распыляемых атомов, получить распределение потока распыленных частиц на подложке, что является важным при решении прикладных задач по разработке новых распылительных систем и модернизации существующего в республике вакуумного технологического оборудования.

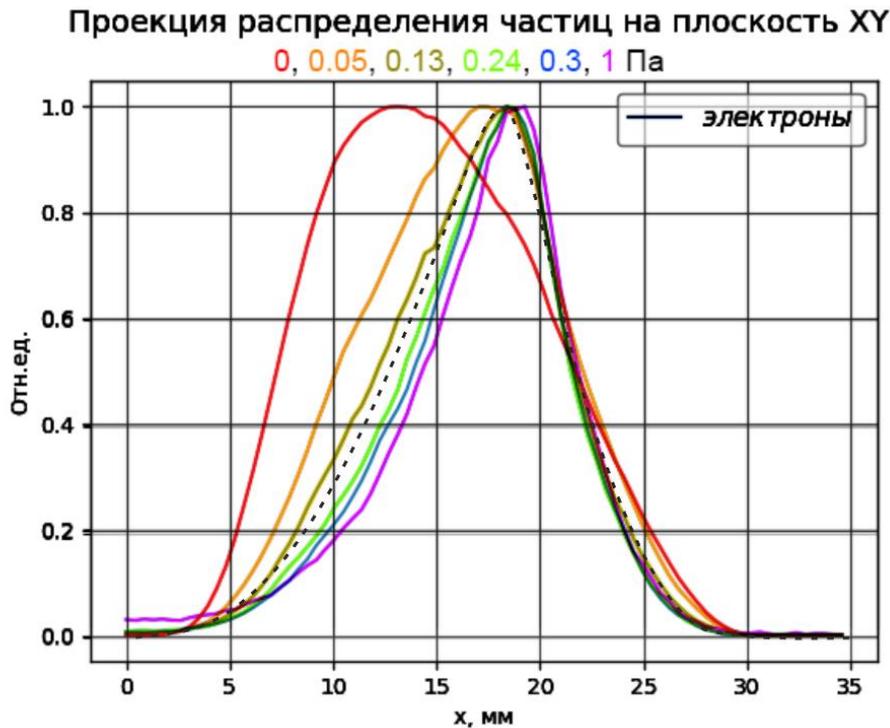


Рис. 2. Рассчитанные профили эрозии мишени для разного давления и сравнение с экспериментом (черная штриховая линия соответствует экспериментальной кривой)

#### Список источников

- [1] Данилин, Б. С. Магнетронные распылительные системы / Б. С. Данилин, В. К. Сырчин — М.: Радио и связь, 1982. — 72 с.
- [2] Шекелевский, В. В. Оценка профиля выработки мишени магнетронной распылительной системы методом Монте-Карло / В. В. Шекелевский, Бездников М. С. // Радиотехника и электроника : материалы 57 науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2021. – С. 126-128.

### Influence of charged particle scattering on the working gas on the sputtering yield profile during magnetron sputtering

*V. U. Shakialeuski, D. A. Kotov*

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

#### Annotation

The paper presents a technique for estimating the effect of pressure in the working zone above the target surface of a magnetron sputtering system using the Monte Carlo method for charged particles. Computational studies were conducted on the process of forming the erosion zone profile of the target at different pressures. The calculated and experimental data were also verified for an 80 mm diameter magnetron with a flat target, demonstrating the good efficiency of the approach used.

**Keywords:** Magnetron sputtering, calculation of the magnetron sputtering process, target erosion zone, electron scattering on the working gas, Monte-Carlo method.

## Влияние УФ-излучения на оптические свойства оксида цинка

*К. О. Янушкевич*

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

В работе проведено исследование влияния ультрафиолетового облучения на оптические свойства наноструктурированных пленок оксида цинка, сформированных на подложках монокристаллического кремния методом электрохимического осаждения. Полученные пленки состоят из разноориентированных заостренных на конце столбиков. Облучение полученных пленок УФ-излучением привело сначала к увеличению интенсивности видимой люминесценции в 4 раза, а дальнейшая обработка – к ее затуханию и резкому усилению экситонной люминесценции оксида цинка в 2 раза, что является следствием удаления адсорбированного кислорода на поверхности и миграции точечных дефектов из приповерхностного слоя. Полученные результаты могут быть использованы для модуляции оптических свойств наноструктурированных пленок оксида цинка.

**Ключевые слова:** оксид цинка, электрохимия, фотолюминесценция, ультрафиолет, область обеднения, адсорбция, кислород.

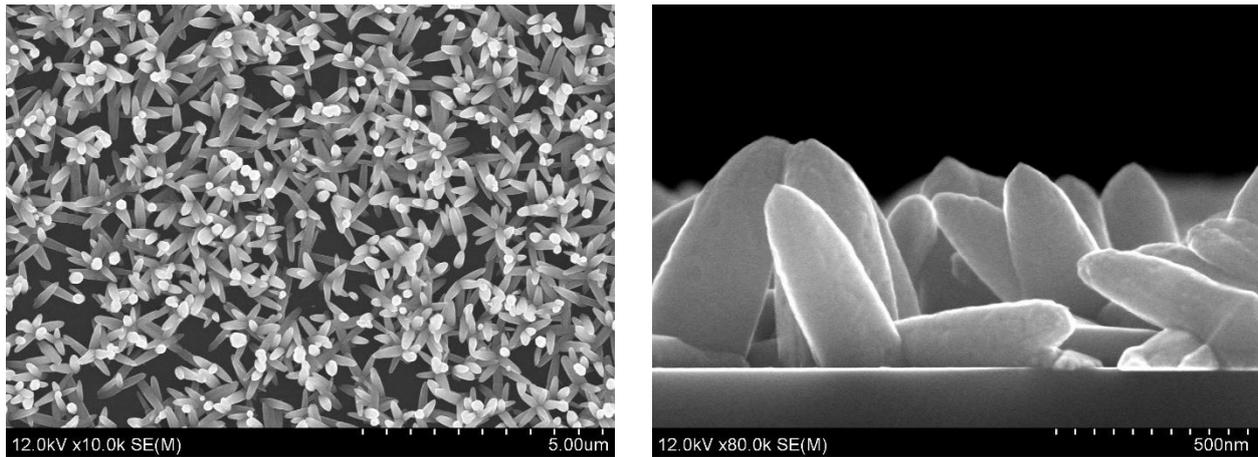
### Введение

Оксид цинка (ZnO) представляет собой прямозонный полупроводник n-типа проводимости с запрещенной зоной около 3,2 эВ и большой энергией связи экситонов около 60 мэВ. Кроме того, оксид цинка обладает высокой адсорбционной способностью, что делает наноструктуры на его основе перспективными для применения в качестве УФ датчиков и сенсоров различных газов [1, 2]. Однако, такие дефекты как кислородные и цинковые вакансии и междоузлия, адсорбированные примеси на поверхности сильно влияют на процессы генерации и рекомбинации свободных носителей заряда, что в свою очередь определяет электронные и оптические свойства оксида цинка. Эти дефекты могут приводить к ухудшению качества работы устройств, что стимулирует поиск и разработку методов для контроля и изменения концентрации дефектов. Среди прочих методов УФ-обработка уже зарекомендовала себя в улучшении поверхностной электропроводности пленок оксида цинка.

В этой работе показано, что ультрафиолетовая обработка позволяет улучшить оптические свойства тонких пленок, а также является простым способом управления концентрацией точечных дефектов кислорода и цинка в приповерхностном слое оксида цинка.

Изготовление образцов проводилось методом электрохимического осаждения оксида цинка из водного раствора нитрата цинка концентрацией 0,05М на подложки монокристаллического кремния марки ЭКЭС-0,01 (111). Температура раствора поддерживалась на уровне 80 оС. Исследование оптических свойств оксида цинка проводилось методом оптической спектроскопии путем анализа спектров фотолюминесценции. Регистрация спектров проводилась на спектрометре-монокроматоре MS 7504i, для возбуждения использовалась монохроматическое излучение с длиной волны 340 нм, выделенное из общего спектра Хе-лампы. Для ультрафиолетовой обработки использовалась УФ лампа модели UF-0701 мощностью 36 Вт с максимумами излучения в диапазоне длин волн 185–254 нм. Морфология исследовалась методом сканирующей электронной спектроскопии (СЭМ) с использованием установки Hitachi S-4800.

На рис. 1 представлены СЭМ-изображения образца, полученного в режиме электрохимического осаждения при плотности тока 0,5 мА и времени процесса 600 сек. Полученная структура представляет собой массив из разноориентированных заостренных на конце столбиков, высота которых составляет 600 нм, а диаметр в основании около 280 нм.

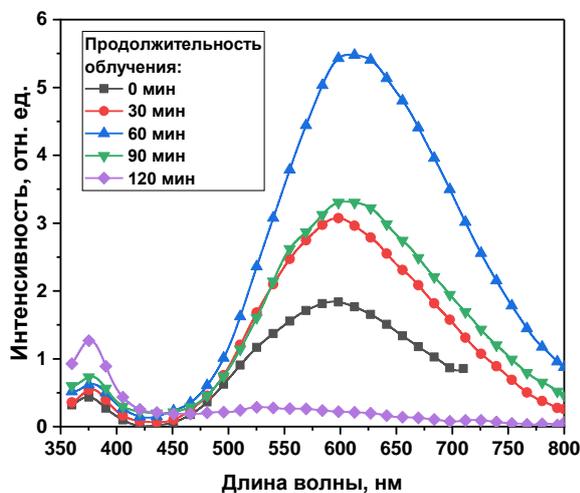


а) вид сверху

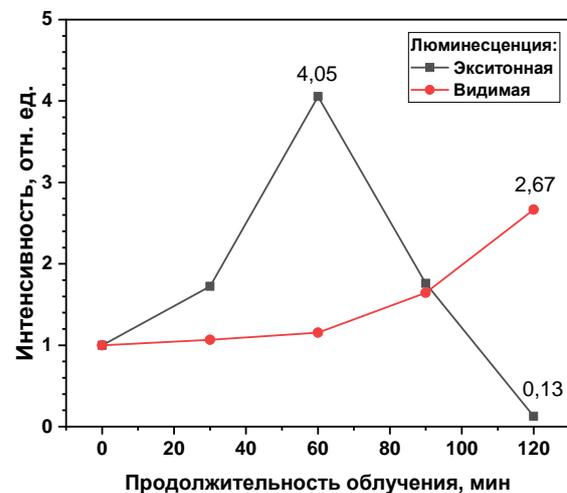
б) вид сбоку

Рис. 1. СЭМ-изображения исследуемой структуры: вид сверху (а) и сбоку (б)

На рис. па представлены спектры фотолюминесценции полученной пленки оксида цинка. Спектр состоит из двух полос: слабая узкая полоса на 373 нм (3,33 эВ) и широкая интенсивная с максимумом на 591 нм (2,10 эВ) (желтая). Фотолюминесценция оксида цинка в ультрафиолетовой области соотносят с излучательной рекомбинации свободных экситонов [3]. Происхождение фотолюминесценции в видимом спектре связывают с излучательными переходами на энергетические уровни, расположенные в глубине запрещенной зоны оксида цинка. Присутствующая «желтая» люминесценция связана с переходами с зоны проводимости на уровни дважды ионизированной вакансии кислорода [4].



а) Спектры фотолюминесценции при разной продолжительности облучения УФ



б) Зависимость интенсивности максимумов экситонной и видимой фотолюминесценции

Рис. 2. – Спектры фотолюминесценции наностолбиков оксида цинка (а); интенсивность максимума видимой и УФ-полосы люминесценции в зависимости от времени экспонирования (б)

На рис. 2б представлена зависимость интенсивности видимой и экситонной полосы излучения от времени обработки образца под УФ-излучением. Заметно, что через 60 минут интенсивность видимой люминесценции увеличилась в 4 раза, по отношению к начальной величине. Дальнейшее облучение приводит к практически полному затуханию интенсивности видимой люминесценции и росту экситонной полосы в два раза уже на 120 минуте.

Адсорбируясь кислород формирует на поверхности отрицательный заряд, что приводит к образованию области обеднения в приповерхностном слое. Фотосгенерированные носители

заряда под действием поля участвуют в процессах удаления кислорода с поверхности, что приводит к устранению обедненной области и, как следствие, перераспределению вероятностей энергетических переходов в пользу излучательных переходов на уровни преобладающих вакансий кислорода, что и приводит к увеличению интенсивности видимой фотолюминесценции [5]. В работе [6] по результатам XPS-анализа показано, что процессу УФ-обработки сопутствует снижение плотности как кислородных, так и цинковых вакансий и междоузлий, которые являются центрами люминесценции в видимой области спектра. Таким образом, после удаления обедненного слоя можно говорить об аннигиляции или миграции точечных дефектов с приповерхностного слоя в объем полупроводника, следствием чего является значительное снижение «дефектной» люминесценции и усиление экситонной.

Проведено исследование влияния УФ воздействия на кинетику фотолюминесценции оксида цинка. С удалением адсорбированного кислорода происходит усиление интенсивности видимой фотолюминесценции в 4 раза, что соответствует высокой адсорбционной способности пленки. Продолжительная обработка – к ее затуханию и резкому усилению экситонной люминесценции оксида цинка в 2 раза. Полученные результаты могут быть использованы для модуляции оптических свойств и улучшения кристаллической решетки оксида цинка при разработке ультрафиолетовых датчиков, газовых сенсоров на его основе.

#### Список источников

- [1] **Panda, S.** Preparation of transparent ZnO thin films and their application in UV sensor devices / S.K. Panda, C. Jacob // *Solid-State Electronics*. — 2012. — Vol. 73. — P. 44–50.
- [2] **Zhu, L.** Temperature gas sensing of ZnO-based gas sensor: A review / Ling Zhu, Wen Zeng // *Sensors and Actuators A: Physical*. — 2017. — Vol. 267. — P. 242–261.
- [3] **Fonoberov, V.** Photoluminescence investigation of the carrier recombination processes in ZnO quantum dots and nanocrystals / V. Fonoberov, K. Alim, A. Balandin, F. Xiu, J. Liu // *Physical Review B: Condensed Matter and Materials Physics*. — 2006. — Vol. 73. — P. 165317.
- [4] **Galdámez-Martínez, A.** Photoluminescence of ZnO Nanowires: A Review / A. Galdámez-Martínez, G. Santana, F. Güell, P. R. Martínez-Alanis, A. Dutt // *Nanomaterials*. — 2020. — Vol. 10. — 857 p.
- [5] **Jin, C.** Ultraviolet-illumination-enhanced photoluminescence effect in zinc oxide thin films / C. Jin, A. Tiwari, R.J. Narayan // *Journal of Applied Physics*. — 2005. — Vol. 98. — P. 083707.
- [6] **Alam, J.** Room-temperature ultraviolet-ozone annealing of ZnO and ZnMgO nanorods to attain enhanced optical properties/ M.J. Alam, P. Murkute, S. Sushama, H. Ghadi, S. Mondal, S. Paul, D. Das, S. Pandey, S. Chakrabarti // *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. — 2020. — Vol. 38. — P. 18777–18790.

### The effect of UV treatment on the optical properties of zinc oxide

*K. O. Yanushkevich*

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

#### Annotation

In this paper the effect of ultraviolet treatment on the optical properties of the electrodeposited zinc oxide nanostructured films was investigated. Obtained films have a structure of differently oriented columns with height of 600 and width 200 nm. UV treatment of the obtained structures provide to increase in the intensity of visible luminescence band for 4 times, but continuous exposure leads to its disappearance and a 2 times increase in exciton luminescence band of zinc oxide. The obtained results can be used to modulate the optical properties of nanostructured zinc oxide films.

**Keywords:** zinc oxide, electrodeposition, photoluminescence, UV treatment, depletion region, adsorption, oxygen.

## **Влияние концентрации цитрата натрия на SERS-активность наночастиц серебра, полученных методом Туркевича**

*А. А. Борисюк, А. В. Бондаренко*

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

Установлена зависимость SERS-активности наночастиц серебра от концентрации цитрата натрия в растворе при их формировании методом Туркевича. Определены оптимальные условия изготовления наночастиц серебра для достижения их максимальной SERS-активности при детектировании родамина R6G, а также описаны особенности изменения размеров наночастиц и их поглощающей способности.

**Ключевые слова:** синтез наночастиц, цитратный метод (метод Туркевича), рамановская спектроскопия, родамин R6G.

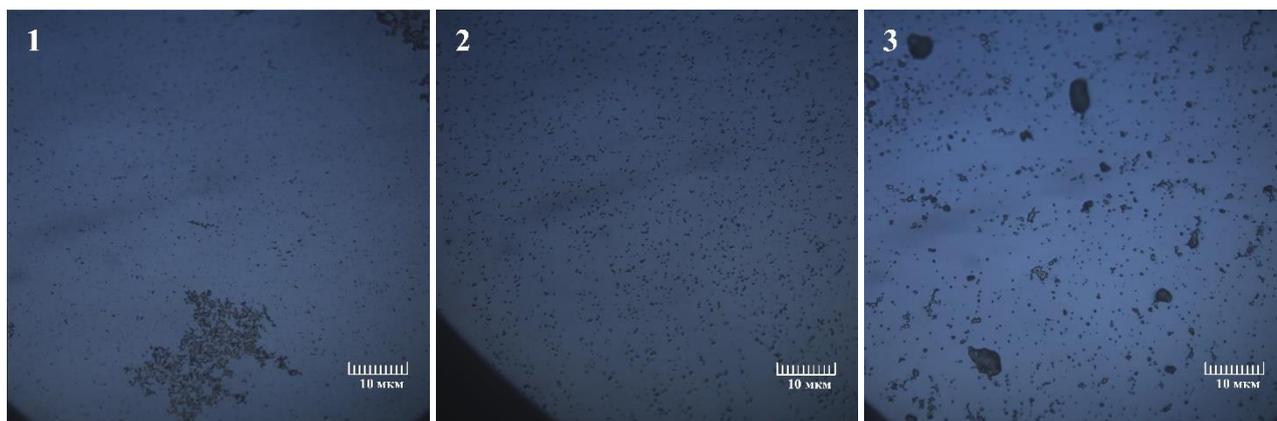
### **Введение**

Среди различных химических подходов для получения наночастиц металлов одним из широко используемых является цитратный метод (или метод Туркевича), который позволяет получать наноструктуры с размерами, принадлежащими диапазону от 60 до 200 нм [1]. Основными преимуществами данного метода являются его простота, а также наличие в растворе одного реагента (цитрат-анионов), который одновременно выступает в качестве восстановителя и стабилизатора. Сформированные таким методом наночастицы серебра могут, например, использоваться в спектроскопии поверхностно-усиленного рамановского рассеяния света (SERS – от англ. surface-enhanced Raman scattering) для детектирования различного рода молекул в малой концентрации [2, 3].

В настоящей работе исследование SERS-активности полученных наночастиц серебра производилось путем регистрации рамановских спектров молекул родамина R6G (аналита), адсорбированных на их поверхности из раствора с концентрацией  $10^{-5}$  М. Наночастицы серебра, выдержанные в растворе аналита, помещались на кремниевую подложку и высушивались, после чего производилось исследование образца. Для сравнения также были получены спектры родамина на наночастицах серебра без цитратной оболочки. Анализ производился с помощью лазерного 3D-сканирующего рамановского конфокального микроскопа со спектрофотометром Confotec NR500 (SOL Instruments).

Синтез наночастиц производился при температуре порядка 100 °С в течение 15 минут путем добавления нитрата серебра ( $\text{AgNO}_3$ ) и цитрата натрия ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) в кипящую воду. При этом концентрация цитрата натрия варьировалась от 0,1 до 50 мМ. Для образцов с концентрациями цитрата, равными 0,5, 5 и 50 мМ, были получены спектры пропускания и поглощения. Данные спектры были получены с помощью спектрофотометра MC 122 (SOL Instruments) в диапазоне длин волн от 300 до 1100 нм. На рис. 1 и 2 представлены фотографии образцов из наночастиц серебра, полученных при различных концентрациях цитрата натрия.

Исходя из анализа оптических и СЭМ-изображений (рис. 2), полученных для данных концентраций цитрата, было выяснено, что распределение по размерам имеет 3 основных моды: первая, преобладающая во всех случаях – с диаметром 65 нм, а также 2 другие, которые для каждого случая отличаются. Для 0,5 мМ – диаметры 80 и 120 нм, для 5 мМ – диаметры 120 и 170 нм, а для 50 мМ – 220 и 380 нм, что свидетельствует об коалесценции наночастиц.



1 – при 0,5 мМ, 2 – при 5 мМ, 3 – при 50 мМ

Рис. 1. Изображения образцов из наночастиц серебра, полученных при использовании различных концентраций цитрата натрия

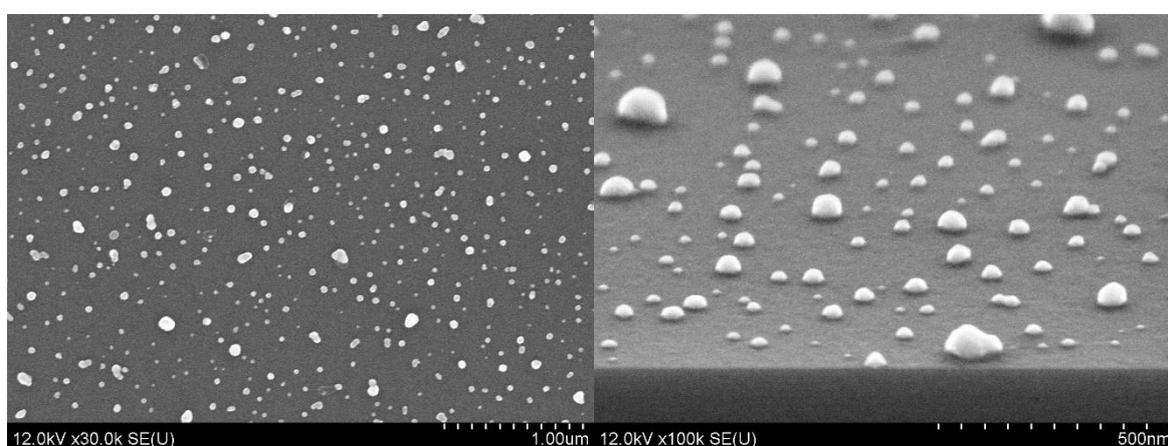
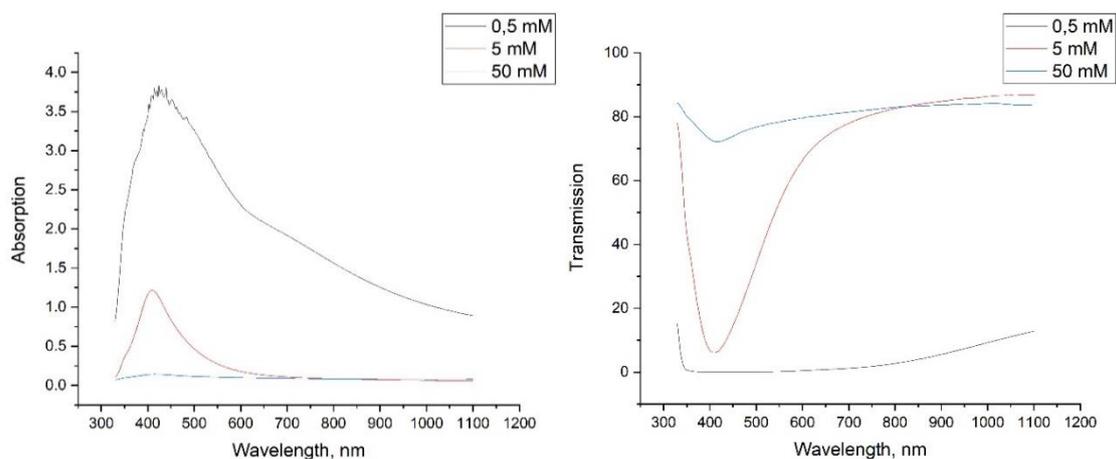


Рис. 2. СЭМ-изображения наночастиц серебра при концентрации цитрата натрия равной 5 мМ

На рис. 3 изображены спектры поглощения и пропускания образцов из наночастиц серебра, полученных при указанных концентрациях цитрата натрия. Видно, что повышение концентрации цитрата приводит к значительному уменьшению интенсивности полосы поглощения наночастиц серебра, а при 50 мМ оно практически полностью отсутствует, что может быть связано с образованием *core-shell* структуры, где в качестве оболочки служат цитрат-анионы [4].

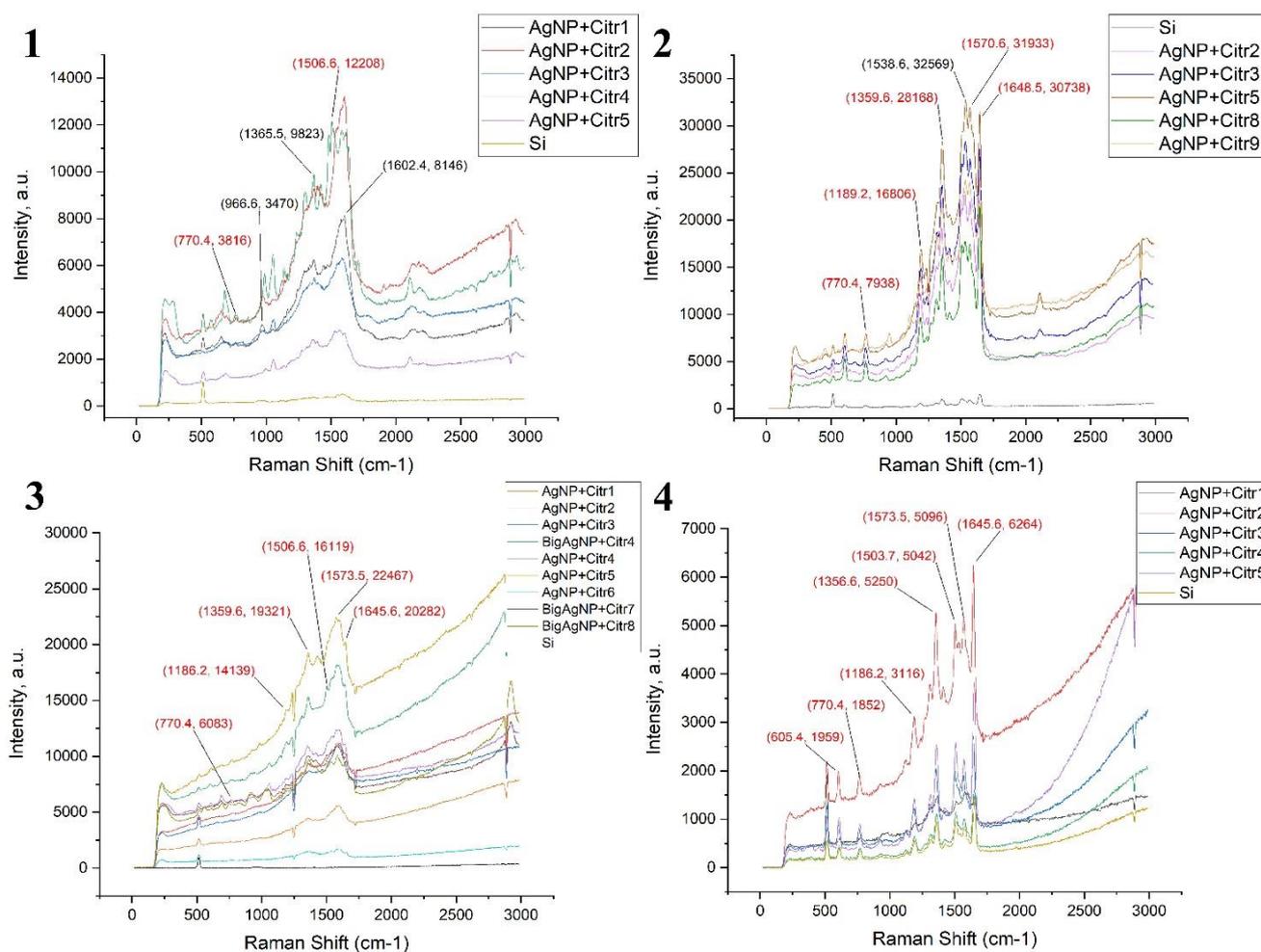


Слева – спектр поглощения, справа – спектр пропускания

Рис. 3. Спектры поглощения и пропускания наночастиц серебра, полученных при различных концентрациях цитрата натрия (черный – для 0,5 мМ, красный – для 5 мМ, синий – для 50 мМ)

После этого были зарегистрированы рамановские спектры аналита родамина R6G для установления влияния концентрации цитрата натрия на SERS-активность наночастиц серебра. Спектры родамина в зависимости от концентраций цитрата приведены на рис. 4 (основные полосы родамина R6G выделены красным цветом).

Следует отметить, что при концентрациях цитрата натрия меньших 0,5 мМ родамин трудно различим либо вообще не виден, тогда как при отсутствии цитрат-анионов родамин легко считывается, однако интенсивность значительно падает. Данное поведение может быть обусловлено локальным нагревом в области вокруг частицы, покрытой цитрат-анионами, что приводило к росту интенсивности за счёт роста температуры [5], а также горению органических соединений, в т.ч. цитрат-анионов, о чем свидетельствует наличие интенсивных полос на 1540 и 1600  $\text{cm}^{-1}$  (так называемые G-band полосы аморфного углерода [6]).



1 – при 0,5 мМ, 2 – при 5 мМ, 3 – при 50 мМ, 4 – без цитрата

Рис. 4. Рамановские спектры молекул R6G ( $10^{-5}$  М), адсорбированных на наночастицах серебра, изготовленных методом Туркевича при использовании различных концентраций цитрата натрия

Было установлено, что при повышении концентрации цитрата натрия до 5 мМ происходит увеличение интенсивности основных пиков родамина, после чего наблюдается ее спад и одновременно начинает расти фон фотолюминесценции в близком ИК-диапазоне, которая связана с увеличением концентрации цитрат-анионов. В сравнении с образцом без цитрата его интенсивность основной полосы (1648  $\text{cm}^{-1}$ ) родамина для большинства наночастиц находится в диапазоне 2,5–5 тысяч отн.ед., тогда как при наличии цитрата натрия

интенсивность варьируется в диапазоне 10–30 тысяч отн.ед. При этом максимум достигается при концентрациях порядка 1–5 мМ.

Также было выяснено, что концентрация цитрата натрия влияет и на механизм роста наночастиц, о чем свидетельствуют полученные СЭМ-изображения: рост наночастиц до размеров порядка 100 нм происходит по механизму поверхностного восстановления, тогда как рост более крупных частиц происходит за счет коалесценции, что может быть связано с недостатком цитрат-анионов для стабилизации поверхности крупных частиц [7].

#### Список источников

- [1] Крутиков, Ю. А., Кудринский А.А., Оленин А.Ю., Лисичкин Г.В. Синтез и свойства наночастиц серебра: достижения и перспективы / Ю. А. Крутиков, А. А. Кудринский, А. Ю. Оленин, Г.В. Лисичкин // Успехи химии. — 2008. — Том 77. — С. 242–270.
- [2] Zeiri, L., Rechav, K., Porat, Z., & Zeiri, Y. Silver Nanoparticles Deposited on Porous Silicon as a Surface-Enhanced Raman Scattering (SERS) Active Substrate / L. Zeiri, K. Rechav, Z. Porat, Y. Zeiri // Applied Spectroscopy. — 2012. — Vol. 66(3). — P. 294–299. — DOI:10.1366/14-07729
- [3] Li, W., Guo, Y., & Zhang, P. SERS-Active Silver Nanoparticles Prepared by a Simple and Green Method / W. Li, Y. Guo, P. Zhang // The Journal of Physical Chemistry C. — 2010. — Vol. 114(14). — P. 6413–6417. — DOI:10.1021/jp100526v
- [4] Qu, D., Liu, F., Yu, J., Xie, W., Xu, Q., Li, X., & Huang, Y. Plasmonic core-shell gold nanoparticle enhanced optical absorption in photovoltaic devices / D. Qu, F. Liu, J. Yu, W. Xie, Q. Xu, X. Li, Y. Huang // Applied Physics Letters. — 2011. — Vol. 98(11). — DOI:10.1063/1.3559225
- [5] Zobeiri, H., Xu, S., Yue, Y., Zhang, Q., Xie, Y., & Wang, X. Effect of temperature on Raman intensity of nm-thick WS<sub>2</sub>: Combined effects of resonance Raman, optical properties, and interface optical interference / H. Zobeiri, S. Xu, Y. Yue, Q. Zhang, Y. Xie, X. Wang // Nanoscale. — 2020. — Vol. 12(10). — P. 6064–6078. — DOI:10.1039/C9NR10186A
- [6] Dychalska, A., Popielarski, P., Franków, W., Fabisiak, K., Paprocki, K., & Szybowicz, M. Study of CVD diamond layers with amorphous carbon admixture by Raman scattering spectroscopy / A. Dychalska, P. Popielarski, W. Franków, K. Fabisiak, K. Paprocki, M. Szybowicz // Materials Science. — 2015. — Vol. 33(4). — P. 799–805. — DOI:10.1515/MSP-2015-0067
- [7] Thanh, N. T. K., Maclean, N., & Mahiddine, S. Mechanisms of nucleation and growth of nanoparticles in solution / N. T. K. Thanh, N. Maclean, S. Mahiddine // Chemical Reviews. — 2014. — Vol. 114(15). — P. 7610–7630. — DOI: 10.1021/cr400544s

### Effect of Sodium Citrate Concentration on SERS Activity of Silver Nanoparticles Produced by Turkevich Method

*A. A. Borysiuk, A.V. Bondarenko*

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

#### Annotation

Effect of sodium citrate concentration on detecting ability of silver nanoparticles was studied by Raman spectroscopy. Optimal parameters for achieving the maximum intensity of detection of rhodamine R6G analyte are obtained, and features of changes in size of nanoparticles and their absorbing ability are described.

**Keywords:** nanoparticle synthesis, citrate method, Raman spectroscopy, rhodamine R6G.

## **Влияние внешнего магнитного поля в реакторе осаждения алмазоподобных углеродных покрытий на генерацию индуктивно-связанной плазмы**

*П.Д. Товт, Н.В. Леонович, Д.А. Котов*

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

Разработан реактор химического осаждения из газовой фазы с применением плазмы высокой плотности на основе источника индуктивно-связанной плазмы. Проведены исследования влияния аксиального магнитного поля и магнитного поля с нулевым контуром на рабочее давление источника индуктивно-связанной плазмы. При наличии аксиального магнитного поля величиной 0,7 мТл в рабочей камере удалось снизить рабочее давление «горения» индуктивно-связанной плазмы вплоть до  $5 \cdot 10^{-2}$  Па.

**Ключевые слова:** Алмазоподобное углеродное покрытие, плазма высокой плотности, индукционный разряд, индуктивно-связанная плазма, аксиальное магнитное поле.

### **Введение**

Высокочастотные индуктивные плазменные реакторы и источники ионов низкого давления уже в течение нескольких десятилетий являются важнейшей составляющей многих современных научных технологий. Широкому распространению технологических применений ВЧ-разряда способствует его основное достоинство, а именно, возможность получения высокой концентрации электронов и ионов при низком уровне ВЧ-мощности порядка 50–300 Вт. Наиболее часто индуктивный ВЧ-разряд используется в качестве источника плазмы в реакторах, предназначенных для отчистки, активации, травления подложек, осаждения функциональных покрытий.

Поэтому технология химического осаждения из газовой фазы с использованием плоского источника индуктивно-связанной плазмы имеет ряд преимуществ таких как: низкая температура процесса 25–300 °С, высокое содержание ионизированных частиц в плазме порядка  $10^{12}$  см<sup>-3</sup>, широкий спектр химических реакций с благоприятными термодинамикой и кинетикой. Процесс химического осаждения из газовой фазы с использованием индуктивно-связанной плазмы осуществляется при давлениях от 0,05 Па до 10 Па, в следствии чего равномерное газораспределение обеспечивает минимальную неравномерность покрытия по толщине. Высокая концентрация заряженных частиц и радикалов имеет определяющее влияние на структуру и свойства осаждаемого покрытия. Однако для генерации плазмы на пониженном давлении в диапазоне в 0,1 – 0,05 Па в реакторе должно быть предусмотрено создание внешнего магнитного поля. Такая конфигурация приводит к увеличению степени ионизации плазмы и как следствие уменьшения рабочего давления. И как следствие магнитное поле увеличивает плотность плазмы, что увеличивает равномерность распределения ионизированных частиц над рабочей плоскостью антенной системы источника.

### **Экспериментальная часть**

Для реализации метода химического осаждения из газовой фазы с применением плазмы высокой плотности, нами был разработан реактор цилиндрической формы диаметром 280 мм с откачкой снизу, представленный на рис. 1, основные составляющие которого описаны в работах [1,2]. Основными критериями при равномерном осаждении алмазоподобных углеродных покрытий данным методом при использовании плоского источника индуктивно-связанной плазмы являются формирование плазмы высокой плотности с равномерным

распределением концентрации заряженных частиц над всей рабочей плоскостью антенной системы и распределения газового потока в зоне плазмообразования [3]. Формирование плазмы с равномерным распределением концентрации заряженных частиц при рабочих давлениях ниже  $10^{-1}$  Па зависит от конфигурации и величины магнитной индукции в промежутке между зоной плазмообразования и подложкодержателем. Поэтому при определении влияния внешнего магнитного поля на степень ионизации и рабочего давления в камере, рассматривались несколько систем: магнитная система из трех соленоидов и магнитная система из двух соленоидов

Магнитная система из трех соленоидов обеспечивает зажигание индукционного разряда с нейтральным контуром, который должен обеспечить увеличение степени ионизации индукционного разряда и снижение рабочего давления. В такой системе центральный соленоид включен встречно двум крайним, и такое расположение соленоидов создает тороидальную магнитную ловушку с нулевой магнитной индукцией в центре тора. Электроны плазмы находятся в магнитном поле, удерживающем их в области нейтрального контура. Наличие нейтрального контура должно вносить заметное влияние на режимы генерации разряда: недостаточное или избыточное увеличение тока центрального соленоида приводит к ухудшению согласования [4]. Магнитная система из двух соленоидов генерирует аксиальное магнитное поле внутри реактора, что приводит к увеличению плотности плазмы, то есть к увеличению степени ионизации.

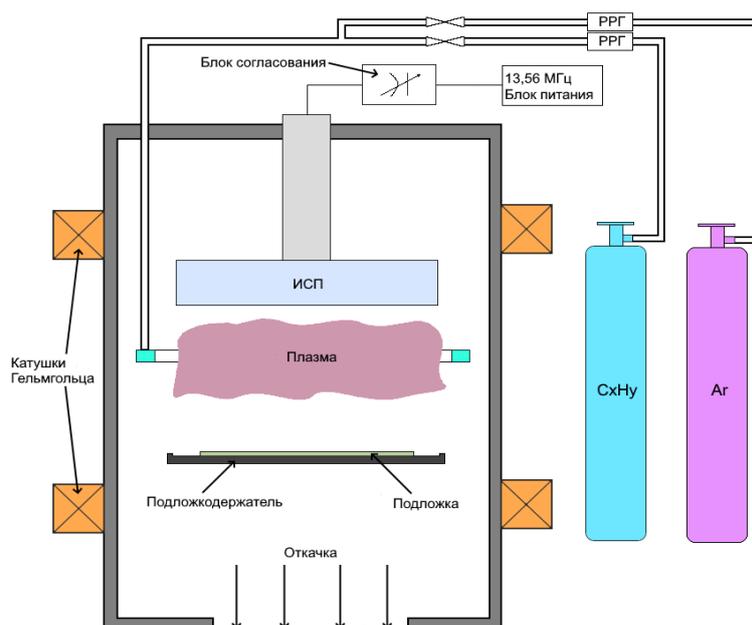


Рис. 1. Схематическое изображение реактора цилиндрической формы

Без магнитного поля разряд формируется нормально, и добиться согласования удастся на давлении 2,5 Па, дальнейшее снижение рабочего давления требует наличия внешнего магнитного поля. В ходе проведения экспериментальных исследований с магнитной системой из трех соленоидов установлено, что при иницировании разряда с наименьшей отраженной мощностью  $<1\%$  необходимо поддерживать индукцию магнитного поля в диапазоне от 1 мТл до 2 мТл, давление в зоне разряда 2,5 Па. При дальнейшем снижении рабочего давления отраженная мощность увеличивалась и разряд «затухал» при давлении в 0,1 Па. При этом экспериментальные исследования магнитной системы из двух соленоидов показали, что величина магнитного поля менее 0,1 мТл заметных изменений при генерации плазмы не

вносила, в то время как при величине поля более 1 мТл наблюдалось увеличение отраженной мощности, то есть ухудшение настройки согласования вплоть до 5%. Дальнейшее снижение рабочего давления при значении аксиального магнитного поля в 0,7 мТл позволило снизить рабочее давление генерации плазмы вплоть до 0,05 Па, отраженная мощность составила ~ 2%, при дальнейшем снижении давления разряд исчезал. Наличие аксиального магнитного поля ведет к увеличению плотности плазмы, то есть к увеличению степени ионизации, что и позволило снизить рабочее давление генерации индуктивно-связанной плазмы.

### Заключение

Наличие аксиального магнитного поля позволяет реализовать метод химического осаждения из газовой фазы с применением источника индуктивно-связанной плазмы при давлении 0,05 Па. Величина перпендикулярной составляющей магнитной индукции, к поверхности источника плазмы и поверхности подложки, для работы на пониженном давлении и формирования равномерной плазмы высокой плотности в рабочей зоне между ними должна быть в диапазоне от 0.1 мТл до 1 мТл. Так же снижение рабочего давления в реакционной камере ведет к уменьшению температуры, что увеличивает гибкость управления параметрами процесса и имеет прямое влияние на структуру осаждаемых покрытий.

### Список источников

- [1] **Леонович, Н.В.** Реактор осаждения алмазоподобных углеродных покрытий / Н.В. Леонович, М.А. Толкач, А.И. Занько // ФКС XXVII: материалы международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов. Гродно: ГрГУ, 2019. 163-164 с.
- [2] **Занько, А.И.** Исследование газодинамического потока в реакторе осаждения диэлектрических слоев на основе кремния / Н.В. Леонович, А.И. Занько. // 56-я Научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск, 2020, 81 с.
- [3] **Boogaard, A.** Deposition of High-Quality SiO<sub>2</sub> Insulating Films at Low Temperatures by means of Remote PECVD / A. Boogaard, R. Roesthuis. – 2008. – С. 452–456.
- [4] **Ясюнас, А.А.** Влияние распределения магнитного поля на разрядные параметры источника индукционного разряда / А. А. Ясюнас, Д. А. Котов // Молодежь в науке – 2014 приложение к журналу «Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» : в 5 ч. / НАН Беларусі, Совет молодых ученых НАН Беларусі. – Минск, 2015. – Ч. 3 : Серия физико-технических наук – С. 49–53.

## **Effect of an external magnetic field in a reactor for the deposition of diamond-like carbon coatings on the generation of an inductively coupled plasma**

*P. D. Tovt, N.V. Leonovich, D.A. Kotov*

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

### Annotation

A high-density plasma chemical vapor deposition reactor based on an inductively coupled plasma source has been developed. The influence of an axial magnetic field and a magnetic field with a zero loop on the working pressure of an inductively coupled plasma source has been studied. In the presence of an axial magnetic field of 0.7 mT in the working chamber, it was possible to reduce the working pressure of the "burning" of the inductively coupled plasma down to  $5 \cdot 10^{-2}$  Pa.

**Keywords:** Diamond-like carbon coating, high-density plasma, inductive discharge, inductively coupled plasma, axial magnetic field.

## Сравнение параметров и возможностей моделей гетеропереходных биполярных транзисторов на основе GaAs

П. С. Кратович<sup>1,2</sup>, И. Ю. Ловшенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> ОАО «Минский НИИ радиоматериалов», г. Минск, Беларусь

В работе рассмотрены основные требования, предъявляемые к современным компактным моделям. Представлено сравнение компактных моделей для адекватного описания работы гетеропереходных биполярных транзисторов на основе арсенида галлия. Показаны преимущества и недостатки модели Гуммеля-Пуна, на котором основаны рассматриваемые модели MEXTRAM level 504, UCSD-HBT model и FBH-HBT model.

**Ключевые слова:** гетеропереход, гетеропереходный биполярный транзистор,  $A_{III}B_V$ , моделирование.

Кремний является лидером для производства интегральных микросхем благодаря своим технологическим преимуществам и удовлетворяющим электрофизическим параметрам, которые позволяют воспроизводить такие устройства по заданным требованиям. Однако использование схем и приборных структур на его основе в СВЧ диапазоне не может обеспечить стабильности характеристик в связи с рядом причин [1-3]. Необходимые требования достигаются при формировании с использованием элементов групп  $A_{III}B_V$  – GaAs, GaN, InP и их производных. Благодаря использованию этих материалов удается получать такие структуры как гетеропереходный биполярный транзистор (ГБТ), транзистор с высокой подвижностью электронов, *rip*-структуры и т.д.

Приборное и технологическое моделирование полупроводниковых приборов с высокой степенью точности является принципиально важной задачей, вследствие того, что экспериментальное производство таких структур является затратным. Поэтому к моделям, которые используют для определения эксплуатационных характеристик приборных структур, предъявляются большое количество жестких требований [4]. Таким образом, выбор модели является важным и неотъемлемым этапом в разработке полупроводниковых устройств. Наиболее распространенными моделями при разработке приборных структур ГБТ на основе GaAs являются MEXTRAM level 504, UCSD HBT model и FBH HBT model. Данные модели широко используют принципы, заложенные в модели Гуммеля-Пуна (ГП), однако не имеют с ним обратной связи. Недостатки модели ГП связанные с низкой точностью: описание эффектов Кирка и Эрли является линейным и не зависимым друг от друга; параметры, связанные с диффузионной емкостью, являются функцией суммарного времени пролета носителями заряда через все области транзистора; отсутствие описания эффектов присущих гетеропереходам; малое количество параметров. Преимущества модели ГП: сравнительно высокая скорость экстракции параметров; совместимость с другими моделями. Таким образом, точность классической модели ГП недостаточно для адекватного описания процессов, происходящих в ГБТ. В таблице 1 представлены параметры для сравнения характеристик моделей. Из данных, представленных в таблице 1, видно, что модель MEXTRAM 504 с высокой степени точности позволяет описывать работу только однородных транзисторов и ГБТ на основе SiGe; модель FBH-HBT достаточно достоверно описывают процессы, протекающие в транзисторе, однако отсутствие описания эффектов квазинасыщения, Кирка и других параметров, отмеченных в таблице может привести к большому расхождению с экспериментальными данными; модель UCSD-HBT по результатам

сравнения является лучшей из трех представленных. Однако при моделировании могут возникать проблемы со сходимостью при расчете задержки коллектора при смещении.

Таблица 1. Сравнение моделей для ГБТ для GaAs

Параметр	MEXTRAM	USCD	FBH
Разделение внутреннего и внешнего диода база-коллектор	-	+	+
Неидеальные токи базы (на переходах база-эмиттер и база-коллектор)	±	+	+
Учет самонагрева и теплового воздействия	+	+	+
Зависимость тока от емкости перехода Б-К и времени прохождения коллектора	-	+	+
Зависимость емкости встроенного диода Б-К от приложенного смещения	-	+	-
Пробой базы-эмиттера и базы-коллектора	+	±	+
Шумы в радиочастотном и 1/f диапазоне	+	+	+
Масштабирование геометрических параметров	±	+	+
Однозначное извлечение аналитических параметров из измерений	+	+	+
Эффект Эрли	+	+	+
Эффекты высокого уровня инжекции	Только для SiGe ГБТ	+	±
Учет квазинасыщения		+	-
Эффекты накопления заряда		+	+
Разделенная разрядная емкость база-коллектор и база-эмиттер		+	+
Рекомбинация в базе		+	+
Масштабирование температуры		+	+
Разделение сопротивлений базы и коллектора на внешнюю и внутреннюю части	-	+	-

### Благодарность

Исследования выполнены при финансовой поддержке и в рамках решения задач задания 3.4 ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций», 2021–2025 гг.

### Список источников

- [1] McMacken, J. HBT modeling / J. McMacken [et al.] // IEEE Microwave Magazine. — 2008. — Vol. 9. — №. 2. — P. 48-71.
- [2] Esame, O. Performance comparison of state-of-the-art heterojunction bipolar devices (HBT) based on AlGaAs/GaAs, Si/SiGe and InGaAs/InP / O. Esame [et al.] // Microelectronics Journal. — 2004. — Vol. 35. — №. 11. — P. 901-908.
- [3] Войтович, В. Si, GaAs, SiC, GaN-силовая электроника. Сравнение, новые возможности / В. Войтович, А. Гордеев, А. Думаневич // Силовая электроника. — 2010. — №. 28. — С. 4-10.
- [4] Денисенко В. В. Компактные модели МОП-транзисторов для SPICE в микро- и нанoeлектронике / В. В. Денисенко — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 408 с.

## Comparison of parameters and capabilities of models for GaAs based heterojunction bipolar transistors

*P. S. Kratovich<sup>1,2</sup>, I. Yu. Lovsenko<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup> JSC «Minsk Research Institute of Radio Materials», Minsk, Republic of Belarus

### Annotation

In this paper analyzed the basic requirements for modern compact models. A comparison of compact models for predicting the operation of gallium arsenide based heterojunction bipolar transistors is presented. The effects described by the models and the number of their parameters were used as a comparison. The advantages and disadvantages of the Hummel-Poon model, on which the considered models MEXTRAM level 504, UCSD-HBT model and FBH-HBT model are based, are considered.

**Keywords:** heterojunction, heterojunction bipolar transistor,  $A_{III}B_V$ , simulation.

## Микроболометры на основе пленок аморфного кремния и оксида ванадия

Н. С. Ган, К. В. Корсак, Ч. В. Чиеу, И. Ю. Ловшенко

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

В работе приведен анализ посредством компьютерного моделирования эксплуатационных характеристик интегральных неохлаждаемых тепловых детекторов болометрического типа на основе термочувствительных пленок аморфного кремния и оксида ванадия VOx.

**Ключевые слова:** интегральный неохлаждаемый тепловой детектор, болометр, моделирование.

Для обеспечения высокого поглощения излучения неохлаждаемые тепловые детекторы болометрического типа (микроболометры) включают в свой состав структуры с оптическим резонатором (резонатором Фабри-Перо), которые оптимизированы для заданной длины волны. Наиболее часто используемая конструкция оптического резонатора, в которой инфракрасное зеркало (обычно алюминиевое) размещается на поверхности подложки (ROIC), а мембрана микроболометра с зеркальной поверхностью размещается на расстоянии  $d$ , равном  $\lambda/4$ . Таким образом, большая часть падающего инфракрасного излучения на определенной длине волны  $\lambda$  поглощается мембраной болометра [1]. Для диапазона длин волн от 8 до 14 мкм расстояние  $d$  составляет от 2 до 2,5 мкм [1, 2]. Наиболее распространенными являются микроболометры на основе термочувствительных пленок аморфного кремния ( $\alpha$ -Si) и оксида ванадия VOx. Пиксель такого микроболометра (рисунок 1 и 2) разделен на две части: кремниевую считывающую интегральную схему в нижней части и подвесную мембрану в верхней части.

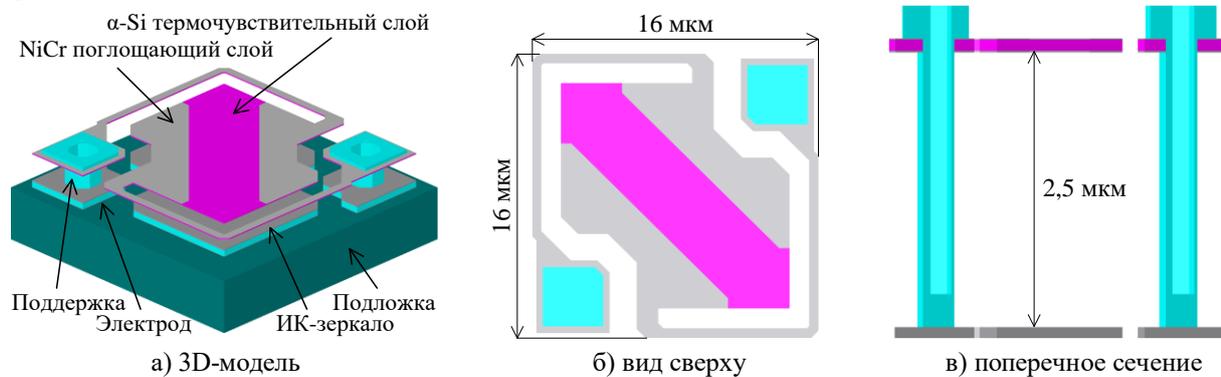


Рис. 1. Структура пикселя микроболометра на основе  $\alpha$ -Si

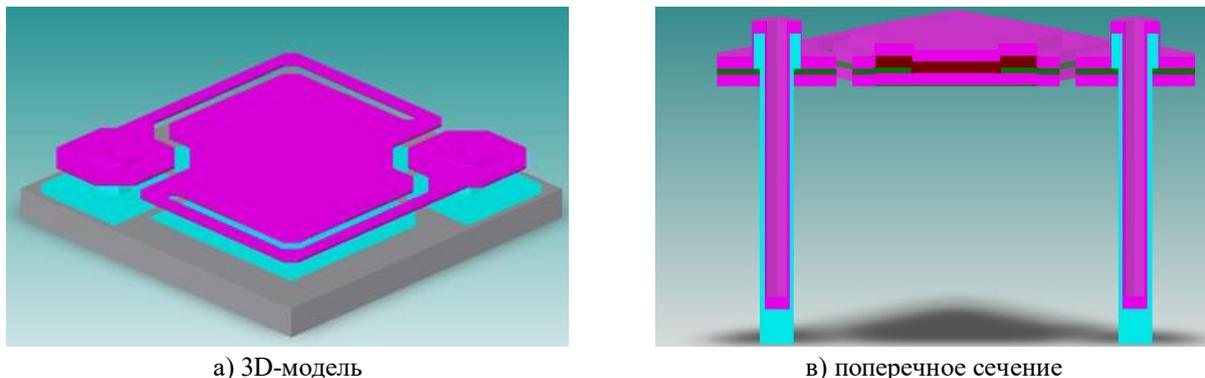


Рис. 2. Структура пикселя микроболометра на основе VOx

Микроболометр состоит из термочувствительного слоя, встроенного в мембрану, которая поддерживается двумя ножками, закрепленными на кремниевой подложке. Мембрана формируется на жертвенном слое, который удаляется на последнем этапе. Расстояние между подложкой и мембраной составляет 2,5 мкм. Активная область датчика состоит из поглощающего слоя (NiCr) и термочувствительного слоя ( $\alpha$ -Si). Рассматриваемая структура имеет шаг пикселя 16 мкм, ширину опорных ножек NiCr 1 мкм, толщину пленки  $\alpha$ -Si и NiCr 0,1 мкм и 15 нм соответственно. Активная площадь пикселя 197 мкм<sup>2</sup>. Микроболометр на основе VOx отличается от рассмотренного ранее конфигурацией и толщинами слоев (нижний слой NiCr (толщина 10 нм), нижний Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (100 нм), верхний слой NiCr (50 нм), VOx (100 нм), верхний Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (100 нм)), а также расстоянием между ножками и активной мембраной.

В таблице 1 приведены основные эксплуатационные характеристики рассматриваемых структур микроболометров.

Таблица 1. Эксплуатационные характеристики микроболометров

Характеристика	Термочувствительный слой	
	$\alpha$ -Si	VO <sub>x</sub>
Теплопроводность $G$ , Вт/К	$9,84 \cdot 10^{-8}$	$9,45 \cdot 10^{-8}$
Постоянная времени $\tau$ , с	$0,38 \cdot 10^{-3}$	$1,78 \cdot 10^{-3}$
Теплоемкость $C$ , Дж/К	$3,74 \cdot 10^{-11}$	$20,5 \cdot 10^{-11}$
Сопротивление $R$ (при 300 К), МОм	9,11	4,35
Температурный коэффициент сопротивления (ТКС), 1/К	-0,028	-0,025
Максимальное отклонение (при 300 К), мкм	0,003	0,119
Коэффициент заполнения $\beta$	0,77	0,67
Чувствительность $R_v$ , В/Вт	$2,33 \cdot 10^6$	$7,97 \cdot 10^5$

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что структура пикселя на основе аморфного кремния обладает лучшими характеристиками.

### Благодарность

Исследования выполнены при финансовой поддержке и в рамках решения задач задания 3.3 ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций», 2021–2025 гг.

### Список источников

- [1] **Mottin, E.** Uncooled Amorphous Silicon Technology Enhancement for 25  $\mu$ m Pixel Pitch Achievement / Bain A., Martin J. L., Ouvrier-Buffet J. L., Bisotto S., Yon J. J., Tissot J. L. // Proc. SPIE. 4820. — 2003. — P. 200–207.
- [2] **Murphy, D.** Performance Improvements for VOx Microbolometer FPAs. / Ray M., Wyles J., Asbrock J., Hewitt C., Wyles R., Gordon E., Sessler T., Kennedy A., Baur S., Van Lue D // Proc. SPIE. 5406. — 2004. — P. 531–540.

## Microbolometers based on films of amorphous silicon and vanadium oxide

*N. S. Gan, K. V. Korsak, T. V. Trieu, I. Yu. Lovshenko*

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

### Annotation

The article presents an analysis using computer simulation of the operational characteristics of integral uncooled thermal detectors of bolometric type based on thermosensitive films of amorphous silicon and vanadium oxide VOx.

**Keywords:** integral uncooled thermal detector, bolometer, modeling.

## **Базовый логический элемент программируемой логической интегральной схемы**

*П. Э. Новиков, К. В. Корсак, И. Ю. Ловиенко*

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

В работе рассмотрена базовая архитектура программируемых логических интегральных схем и базового логического элемента, составной части основного ее компонента – конфигурационного логического блока. Была спроектирована схема электрическая функциональная базового логического элемента с возможностью выполнения операции суммирования, на основе которой разработано RTL-представление базового логического элемента и представлены результаты его моделирования.

**Ключевые слова:** программируемая логическая интегральная схема, базовый логический элемент, системы автоматизированного проектирования, уровень регистровых передач.

### **Логические блоки**

Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) представляют собой устройства, которые могут быть электрически запрограммированы для реализации практически любого вида цифровых схем или систем. Базовая структура ПЛИС состоит из множества конфигурируемых логических блоков (КЛБ), сети межсоединений и блоков ввода-вывода. КЛБ используются для выполнения комбинационных и последовательных операций. Для комбинационной логики используется набор таблиц поиска (ТП) в качестве генераторов произвольных логических функций, а для последовательной – набор  $D$ -триггеров. Некоторые развитые формы КЛБ поддерживают дополнительные функций, такие как локальное хранение данных (распределенная статическая память), мультиплексор и сумматор.

Гибкость ПЛИС обусловлена ее основным компонентом – КЛБ, который обеспечивает возможность выполнения логических операций и хранения данных. Каждый КЛБ образован набором из  $N$  базовых логических элементов (БЛЭ).

БЛЭ – это  $K$ -входная ТП, чей выход может быть направлен на любой другой вход ТП с сохранением или без сохранения значения в триггере. Каждый КЛБ имеет  $I$  входов, идущих от выходов других КЛБ или от внешних сигналов. Все параметры  $N$ ,  $K$  и  $I$  могут быть заданы проектировщиком ПЛИС в зависимости от поставленной задачи. Быстродействие ПЛИС и занимаемая ей площадь определяются этими параметрами [1].

Проектируемый БЛЭ имеет  $K = 4$ . Количество входов определяется дополнительными встроенными в БЛЭ устройствами, наиболее распространенной из которых является сумматор [2]. Функциональная схема, на основе которой формируется представление проектируемого БЛЭ на уровне регистровых передач (англ. register transfer level, RTL), представлена на рисунке 1. Результат моделирования RTL-представления БЛЭ приведен на рисунке 2. Временная диаграмма показывает две операции, чередующиеся по фронту тактового сигнала: обнуление ТП, триггеров, программируемых битов (Пб) и результат операции сложения при установленном переносе

### **Заключение**

На основании анализа архитектур программируемых логических интегральных схем разработаны функциональная схема и RTL-представление базового логического элемента, пригодного для использования при построении конфигурируемых логических блоков.

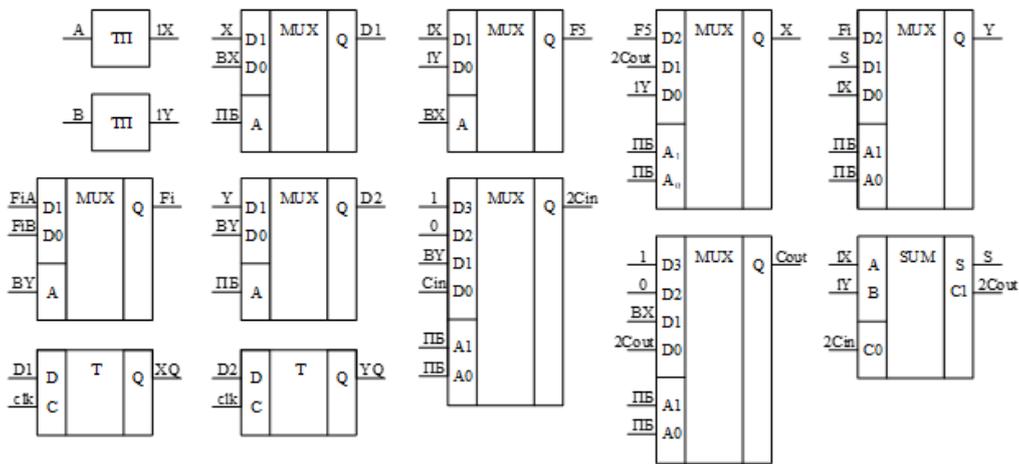


Рис. 1. Функциональная схема БЛЭ

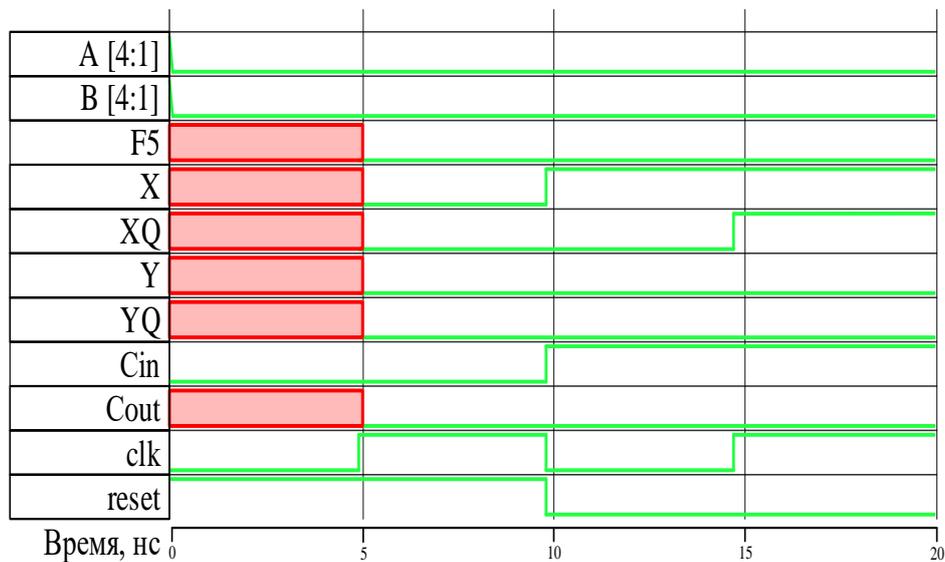


Рис. 2. Временная диаграмма БЛЭ

### Список источников

- [1] Gaillardon, P. E. Emerging memory technologies for reconfigurable routing in FPGA architecture / P. E. Gaillardon [et. al.] // 2010 17th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems. — 2010. — P. 62–65.
- [2] Gandhare, S. Survey on FPGA Architecture and Recent Applications / S. Gandhare, B. Karthikeyan, // 2019 International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking (ViTECoN). — 2019. — P. 1–4.

## Basic logic element of a field programmable gate array

*P. E. Novikov, K. V. Korsak, I. Yu. Lovshenko*

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

### Annotation

The article deals with the basic architecture of field programmable gate arrays and basic logic element, part of its main component - configurable logic block. Electrical functional circuit of the basic logic element with the ability to perform the sum operation was designed. On the basis of the functional diagram the RTL-representation of the basic logic element was obtained and the results of its modeling are presented.

**Keywords:** FPGA, basic logic element, computer-aided design, register transfer level.

## **Выбор схемотехнического решения генератора для формирования плазмы диэлектрического барьерного разряда**

*К. И. Меледин, А. В. Аксючиц*

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

Описаны существующие типовые схемы импульсных генераторов для формирования плазмы диэлектрического барьерного разряда. Проведен анализ существующих схемотехнических решений импульсных генераторов. Приведены достоинства и недостатки для типовых структур импульсных генераторов для формирования плазмы диэлектрического барьерного разряда.

**Ключевые слова:** Импульсный генератор, задающий генератор, формирование плазмы.

Одной из перспективных технологий, предоставляющей уникальные возможности для решения важнейших проблем мирового сообщества в различных направлениях деятельности, является технология, основанная на «холодной» атмосферной плазме. Важной особенностью технологии атмосферной плазмы диэлектрического барьерного разряда является возможность обработки различных материалов, в том числе низкотемпературных полимеров и биологических объектов. В этой связи актуальным является решение задачи разработки устройства питания для «холодной» плазмы при атмосферном давлении.

Устройство питания может представлять собой импульсный задающий генератор. Такие приборы способны генерировать как простые, так и сложные широкополосные сигналы в широком диапазоне изменения их частоты и длительности. Среди основных проблем при проектировании подобных устройств можно выделить: устойчивость к пробоям, обеспечение высоковольтной изоляции, отвод большого количества тепла, сравнительно небольшие габариты. В сравнении с ламповыми определяющими преимуществами твердотельных силовых ключей являются: повышенный ресурс и долговечность, отсутствие времени разогрева и вспомогательных источников питания цепей накала и электродов, меньшие значения выходных емкостей и сопротивлений в открытом состоянии, что позволяет уменьшить статические и динамические потери мощности. К недостаткам ключей с полупроводниковой структурой следует отнести меньшую устойчивость к перенапряжениям и броскам тока при возможных высоковольтных пробоях, что требует принятия ряда важных дополнительных мер защиты.

На рис. 1 представлена традиционная структура с импульсным трансформатором. Главным недостатком такой схемы является сложность исполнения высоковольтного трансформатора. Чтобы передать короткий импульс с малыми искажениями необходимо малое значение индуктивности рассеяния и распределенной ёмкости трансформатора, которые уменьшаются с уменьшением числа витков и сечения магнитопровода импульсного трансформатора. А для формирования длинного импульса с малым спадом вершины необходимо увеличивать индуктивность намагничивания трансформатора, что достигается увеличением числа витков обмоток и сечения магнитопровода [1]. Немаловажным является тот факт, что подобрать трансформатор для определенной частоты может быть проблематично.

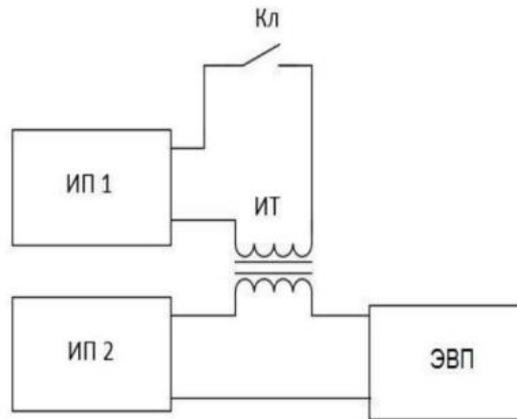


Рис.1. Структура твердотельного сеточного модулятора с трансформатором

На рис. 2 представлена структура твердотельного модулятора с широким диапазоном перестройки длительности импульсов и периода их повторения. Такая двухтактная схема с поочередным включением ключей смещения и превышения обеспечивает требуемое импульсное напряжение на управляющем электроде. Из-за разброса параметров полупроводниковых приборов, а также их схем управления, число последовательно соединенных приборов в данной структуре следует выбирать с некоторым запасом по напряжению, не смотря на использование цепей выравнивания напряжений. Плюсом подобной структуры является то, что можно создавать твердотельные ключи практически на любые напряжения. Но для этого необходимо добиться синхронности управления ключами, также транзисторы должны иметь минимальные различия внутренних параметров. Помимо вышеперечисленного, необходимо соблюдение условия отсутствия перенапряжений на отдельных транзисторах [1].

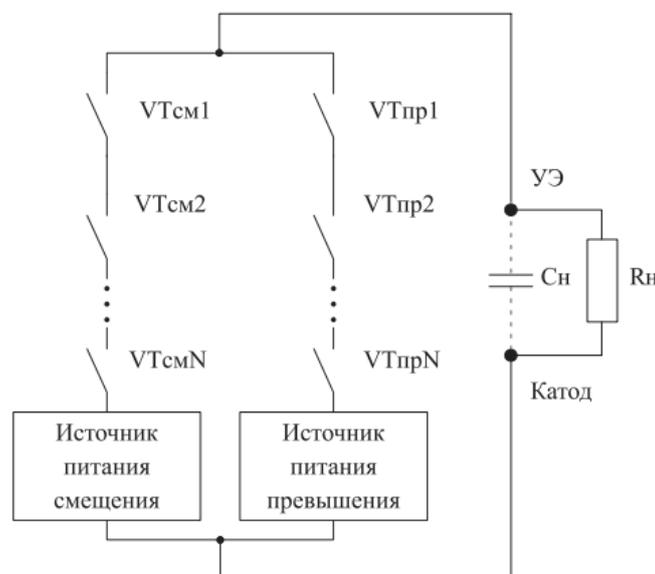


Рис.2. Структурная схема твердотельного сеточного модулятора

В таких схемах разброс параметров полупроводниковых приборов приводит к усилению эффекта Миллера, и как следствие, росту перенапряжений и потерь на переключение, связанных с перезарядом собственных выходных емкостей ключей и емкости нагрузки в статических и динамических режимах работы, что требует применения

эффективной системы охлаждения в заданном гермообъёме [1].

На рис. 3 представлена структурная схема многомодульного модулятора с рекуперацией энергии. Идея дискретной рекуперации энергии заключается в разработке самозащищенной от внешних перенапряжений структуры силового модуля и применении асинхронного управления зарядными и разрядными ключами модулей [2]. Применение временного сдвига обеспечивает формирование ступенчатого напряжения в течение фронта и спада рабочего импульса. Регулируя длительность и амплитуду отдельных ступеней так, чтобы переходные процессы коммутации были практически завершены к моменту начала следующей ступени, возможно формирование импульсов с требуемыми фронтом и спадом при существенном уменьшении потерь энергии и мощности коммутационной помехи [2]. В случае возникновения перенапряжений на ключах модулей во время форсированного заряда или разряда емкости нагрузки открываются соответствующие защитные диоды и, тем самым, происходит ограничение напряжения на ключах. Уровень напряжения ограничения не превышает величину выходного напряжения выпрямителя данного модуля. Для обеспечения равенства потребляемой от каждого модуля мощности и исключения перекося напряжений накопителей модулей в случае их питания через трансформатор от общего преобразователя следует осуществлять циклический сдвиг очередности работы ключей модулей при формировании каждого нового импульса. При этом один цикл будет содержать количество импульсов, равное числу силовых модулей. Применение временного сдвига обеспечивает формирование ступенчатого напряжения в течение фронта и спада рабочего импульса.

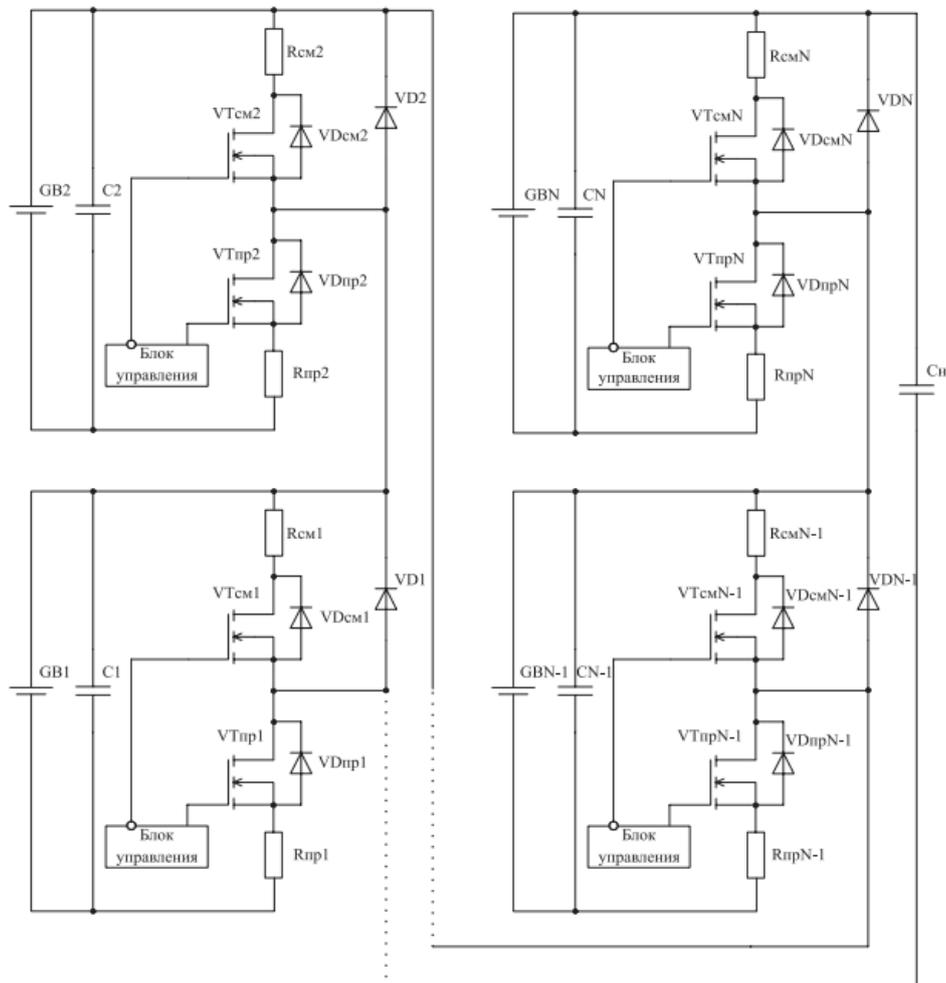


Рис.3. Структурная схема многомодульного модулятора с рекуперацией энергии

Регулируя длительность и амплитуду отдельных ступеней так, чтобы переходные процессы коммутации были практически завершены к моменту начала следующей ступени, возможно формирование импульсов с требуемыми фронтом и спадом при существенном уменьшении потерь энергии и мощности коммутационной помехи [1]. В случае возникновения перенапряжений на ключах модулей во время форсированного заряда или разряда емкости нагрузки открываются соответствующие защитные диоды и, тем самым, происходит ограничение напряжения на ключах. Уровень напряжения ограничения не превышает величину выходного напряжения выпрямителя данного модуля [2]. Применение подобной структуры позволяет существенно снизить потери энергии и перегрев, а также обеспечивает лучшие массогабаритные показатели, однако требует более совершенной и дорогой элементной базы.

Таким образом, на первом этапе разработки задающего генератора для формирования плазмы диэлектрического барьерного разряда стоит множество проблем, требующих решений определенных схемотехнических задач. Ознакомившись с типовыми схемами импульсных генераторов, можно сделать вывод, что при наличии необходимой элементной базы самым простым решением является разработка схемы с использованием импульсного трансформатора для формирования плазмы диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении.

#### Список источников

- [1] **Шиш, А.Л.** Разработка новых структур высоковольтных импульсных модуляторов для приборов СВЧ / А. Л. Шиш, С. И. Коновалов, К. Ю. Войтенко // 7-я Международная научная конференция по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения (Минск, 20–22 мая 2017 г.): сборник научных статей. В 3 ч.– Минск: 2017 – С. 236-245.
- [2] **Коновалов, С. И.** Исследование процессов коммутации в твердотельных импульсных модуляторах приборов СВЧ с апериодической формой перезаряда емкости нагрузки / С. И. Коновалов, О. В. Доницков // Новости науки и технологий. – 2015. – №4. – С.12-17.

### **Selection of a generator circuit solution for forming a dielectric barrier discharge plasma**

*K. I. Meledin, A. V. Aksiuchyts*

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

#### **Annotation**

Existing typical circuits of pulse generators for the formation of plasma of a dielectric barrier discharge are described. The analysis of existing circuit solutions of pulse generators is carried out. The advantages and disadvantages for typical structures of pulsed generators for the formation of dielectric barrier discharge plasma are presented.

**Keywords:** pulse generator, master generator, plasma formation

## Гистерезис вольтамперных характеристик пленочных структур $g-C_3N_4$

В.Т. Фам, С. Е. Максимов

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

Нами сформированы пленочные структуры на основе графитоподобного нитрида углерода ( $g-C_3N_4$ ), на которых измеренные вольтамперные характеристики демонстрируют гистерезис, типичный для мемристорного эффекта. Они состоят из трех частей – рис. 1: кремниевая подложка (Si), активный слой  $g-C_3N_4$  и верхний индиевый (In) электрод – In/ $g-C_3N_4$ /Si. В качестве подложек использованы пластины монокристаллического (111) кремния  $n$ -тапа проводимости с удельным сопротивлением 0,01 Ом.см (легированного сурьмой). Пленку  $g-C_3N_4$  формировали на кремниевой подложке методом скоростного химического осаждения [1] при температуре 575 °С в течение 5 мин. Толщина пленки составляла порядка 700 нм. Индиевые контакты наносили на пленку и на подложку и вжигали на воздухе при 150 °С. Контакты имели круглую форму диаметром 1–2 мм, высотой 170–200 мкм. Расстояние между ними составляет 15–20 мм.



Рис. 1. Схема исследования ВАХ структуры In/ $g-C_3N_4$ /Si

На экспериментальных структурах In/ $g-C_3N_4$ /Si измеряли вольтамперные характеристики (ВАХ) при комнатной температуре и при 80 °С в диапазоне напряжений от –10 до +10 В, используя SMU Keithley 2450. При этом для контроля качества контактов регистрировали ВАХ между двумя In-контактами на Si (рис.1а), а для оценки свойств самой пленки ВАХ регистрировали между In-контактом на  $g-C_3N_4$  и In-контактом на Si (рис.1б).

На рис. 2 приведены контрольная ВАХ, снятая при пропускании тока через Si подложку с In-контактами, и ВАХ структуры In/ $g-C_3N_4$ /Si. Стрелка на рис. 2б обозначают направление изменения приложенного напряжения в процессе измерений.

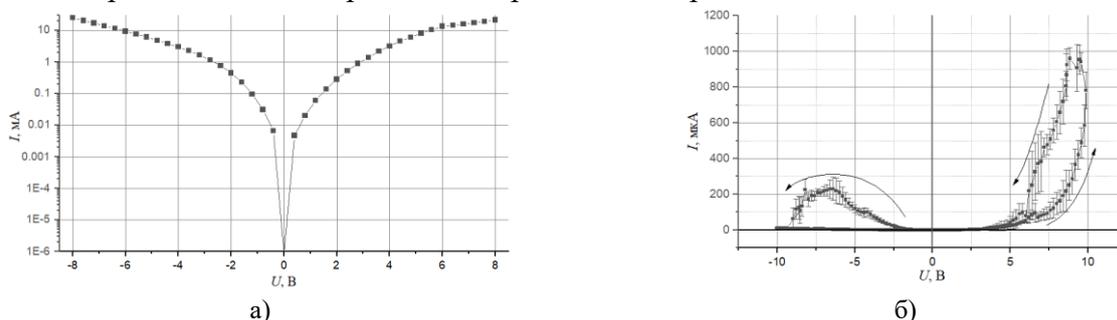


Рис. 2. ВАХ In-контактов к  $n$ -Si (а) и пленочной структуры In/ $g-C_3N_4$ /Si (б),  $T = 18$  °С

Сравнение ВАХ контактов и экспериментальной структуры обнаруживает два существенных отличия. Во-первых, контакты имеют симметричную ВАХ, а для экспериментальной структуры ВАХ и асимметричны. Во-вторых, величины токов, протекающих только через контакты и подложку примерно на порядок больше токов через структуру In/ $g-C_3N_4$ /Si при одинаковых приложенных напряжениях. В-третьих, ВАХ структуры In/ $g-C_3N_4$ /Si имеет гистерезис, типично наблюдаемый в мемристорных структурах

[2–4]. Симметричная контрольная ВАХ указывает на аналогичность контактов и одинаковую концентрацию каналов проводимости от каждого контакта к подложке. Асимметричная ВАХ экспериментальной структуры и разница между величиной тока при одинаковых приложенных напряжениях указывает на то, что структура In/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si имеет более высокое сопротивление и различные электрические свойства. Это может быть обусловлено низкой проводимостью g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, что приводит к пропусканию большей части тока через подложку.

На рис. 3 приведены ВАХ структуры, измененные при комнатной температуре и при повышении температуры до 80 °С. Обращает внимание разница в максимальных величинах тока на ВАХ на рис. 2б и 3. Она связана с разницей в площадях контактов, использованных для этих измерений.

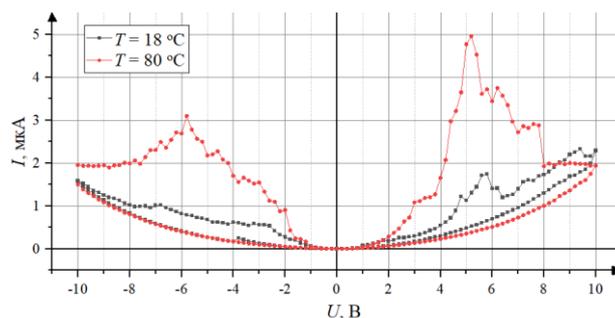


Рис.3. ВАХ пленочной структуры In/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si, снятые при комнатной температуре и 80 °С при изменении приложенного напряжения от –10 В до +10 В

При повышенной температуре гистерезис ВАХ становится более выраженным. Влияние температуры на ВАХ структуры незначительно, если в процессе измерений приложенное напряжение изменять от 0 до +10 В или от 0 до –10 В. Однако при изменении приложенного напряжения от –10 В до +10 В возникает гистерезис, наиболее выраженный при повышенной температуре измерений, при котором величина протекающего через структуру тока возрастает в 1,3–3 раза.

Мемристорные свойства материала g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> обнаружены только при измерении ВАХ, начинающейся с достаточного значительного напряжения из-за определенного порога напряжения, при котором происходит его активация. Это говорит в пользу нитевого (filament) механизма его происхождения [2–4]. Дальнейшие исследования могут позволить уточнить эту гипотезу и разработать более эффективные способы управления мемристорным эффектом в g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, например, путем оптимизации параметров структуры этого и/или применением других материалов для создания контактов к нему.

В заключении важно отметить, что обнаруженный нами мемристорный эффект в пленочных структурах In/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si, представляет интерес как с точки зрения последующего выяснения деталей механизма его возникновения и проявления, так и для практического использования в интегральных запоминающих устройствах.

#### Список источников

- [1] **Chubenko, E. B.** Rapid chemical vapor deposition of graphitic carbon nitride films / E. B. Chubenko, S. E. Maximov, C. D. Bui, V. T. Pham, V. E. Borisenko // *Materialia*. — 2023. — 28. — P. 101724.
- [2] **Pershin, Y. V.** Memory effects in complex materials and nanoscale systems / Y. V. Pershin, M. Di Ventra // *Advances in Physics*. — 2011. — Vol. 60. — No.2. — P. 145–227.
- [3] **Wang, X.** Influence of the voltage window on resistive switching memory characteristics based on g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> device / X. Wang et al. // *Ceramics International*. — 2018. — Vol. 44. — No 15. — P. 18108.
- [4] **Lim, E.W.** Conduction Mechanism of Valence Change Resistive Switching Memory: A Survey / E.W. Lim, R. Ismail // *Electronics*. — 2015. — Vol. 4. — P. 586–613.

## Синтез и исследование фотокаталитически активных тонкопленочных гетероструктур $\text{TiO}_2+\text{g-C}_3\text{N}_4$

*М. А. Евсейчик<sup>1,2</sup>, С. Е. Максимов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Фотокаталитически активные тонкопленочные гетероструктуры на основе диоксида титана и графитоподобного нитрида углерода на металлических подложках сформированы одностадийно золь-гель методом. Установлена фотокаталитическая активность образцов  $\text{TiO}_2+\text{g-C}_3\text{N}_4$  в отношении тестового органического загрязнителя (красителя Родамина Б) при активации ультрафиолетовым излучением с длиной волны 365 нм.

**Ключевые слова:** Диоксид титана, Графитоподобный нитрид углерода, Фотокаталитическая очистка воды.

### Введение.

Гетероструктуры  $\text{TiO}_2+\text{g-C}_3\text{N}_4$  демонстрируют хорошие фотокаталитические свойства в водных растворах и сенсibilизированы к видимому излучению, что позволяет нивелировать недостатки каждого из составляющих их материалов [1–3]. В ряде случаев, включая организацию проточной очистки воды или использование портативных очистных реакторов, использование традиционных порошковых материалов может вызвать затруднения, ввиду чего востребовано создание пленочных иммобилизованных фотокатализаторов.

В данной работе мы рассказываем о получении и исследовании фотокаталитической активности тонкопленочных гетероструктур  $\text{TiO}_2+\text{g-C}_3\text{N}_4$ , полученных на алюминиевой фольге.

### 1. Материалы и методы

Гетероструктуры  $\text{TiO}_2+\text{g-C}_3\text{N}_4$  формировали в виде пленок из суспензий на основе бескислотного золя диоксида титана и двух прекурсоров для получения графитоподобного нитрида углерода – меламин и тиокарбамида. Для обеспечения гомогенизации суспензии перемешивали на лабораторном шейкере при 500–1000 об/мин в течение 60 мин. Алюминиевые подложки предварительно структурировали для улучшения адгезии формируемых покрытий, для чего осуществляли химическое травление алюминия в растворе на основе соляной кислоты. Пленки формировали погружением в 1 мл суспензии, отжиг гетероструктур проводили на воздухе при температуре 550 °С в течение 60 мин.

Фотокаталитическую активность образцов определяли по изменению интенсивности максимума поглощения водного раствора тестового красителя Родамина Б после его экспонирования УФ-излучением на длине волны 365 нм в течение 30–60 мин в присутствии гетероструктур.

### 2. Результаты

Фотография предварительно структурированной поверхности алюминиевой фольги представлена на рис. 1 (а). Использование металлических подложек позволяет увеличить температуру отжига гетероструктур и обеспечить полное пиролизическое разложение используемых прекурсоров. Сформированные структуры показывают достаточно высокую для тонкопленочных материалов фотокаталитическую активность. Из рис.1 (б) видно, что за время экспонирования УФ деструкции подвергается 7 % (прямоугольник  $\text{TiO}_2+\text{g-C}_3\text{N}_4(\text{M})$ ) для

образца, полученного из суспензии с меламинам) и 8 % (прямоугольник  $\text{TiO}_2+\text{g-C}_3\text{N}_4(\text{T})$  для образца, полученного из суспензии с тиокарбамидом) красителя.

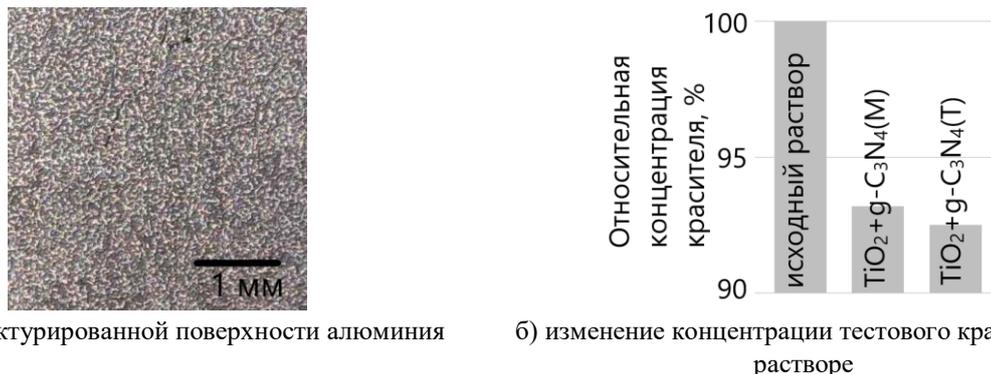


Рис. 1. Синтез и исследование фотокаталитически активных гетероструктур  $\text{TiO}_2+\text{g-C}_3\text{N}_4$  на алюминии

### Заключение

Полученные гетероструктуры  $\text{TiO}_2+\text{g-C}_3\text{N}_4$  на алюминиевой подложке перспективны для разработки на их основе тонкопленочных фотокатализаторов. Дальнейшей задачей является исследование фотокаталитической активности при экспонировании излучением видимого диапазона.

### Благодарность

Авторы благодарят научных руководителей работы д.ф.-м.н., проф. В. Е. Борисенко и к.ф.-м.н., доц. Л. С. Хорошко за помощь в организации и проведении исследований.

### Список источников

- [1] **Ашуркевич, А. Н.** Формирование и свойства фотокаталитически толстых пленок с диоксидом титана / А. Н. Ашуркевич, И. А. Николаенко, В. Е. Борисенко // Доклады БГУИР. — 2012. — Том 61. — № 6. — С. 50–55.
- [2] **Баглов, А. В.** Структурные и фотолюминесцентные свойства графитоподобного нитрида углерода / А. В. Баглов [и др.] // Физика и техника полупроводников. — 2020. — Т.54. — № 2. — С. 176–180.
- [3] **Бондаренко, М. Э.** Наноструктурный композит для фотокаталитического применения O-g- $\text{C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2$ , полученный синтезом O-допированного нитрида углерода на поверхности наночастиц анатаза / М. Э. Бондаренко [и др.] // Наносистемы. Наноматериалы. Нанотехнологии. — 2020. — Том 18. № 2. — С. 265–282.

## Synthesis and study of photocatalytic active thin-film $\text{TiO}_2+\text{g-C}_3\text{N}_4$ heterostructures

*M. A. Yauseichyk<sup>1,2</sup>, S. E. Maksimov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup> Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

### Annotation

Photocatalytic active thin-film heterostructures based on titanium dioxide and graphite-like carbon nitride on metal substrates have been obtained by the one-step sol-gel method. The photocatalytic activity of  $\text{TiO}_2+\text{g-C}_3\text{N}_4$  structures to the test organic pollutant (Rhodamine B dye) was established upon activation by ultraviolet radiation with 365 nm wavelength.

**Keywords:** Titanium dioxide, Graphite-like carbon nitride, Photocatalytic water purification

## Устойчивость пленок графитоподобного нитрида углерода в жидких средах

Д. Д. Морозова, С. Е. Макисмов, В. Е. Борисенко

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

Графитоподобный нитрид углерода ( $g-C_3N_4$ ) является полупроводниковым материалом с шириной запрещенной зоны приблизительно 2,7 эВ (при 300 К) [1]. Он перспективен для фотокаталитических применений и создания новых оптоэлектронных приборов [1, 2]. Его получают методом пиролитического разложения материалов с высоки содержанием азота [3 – 6]. Целью данной работы является установление устойчивости пленок  $g-C_3N_4$  на кремниевой подложке к воздействию различных жидких технологически важных сред, таких как вода, изопропиловый спирт, этиловый спирт, ацетон.

Исследуемые структуры формировали скоростным химическим осаждением  $g-C_3N_4$  на пластины монокристаллического (111) кремния с  $n$ -типом проводимости при 550 °С. В качестве источника использовали меламина. Толщина осажденных пленок составляла 90 – 200 нм.

Эксперименты по устойчивости пленок проводили путем их выдержки в дистиллированной воде, а также в химической степени чистоты (ХЧ) ацетоне, изопропиловом спирте, этиловом спирте при комнатной температуре в течение 15 –120 мин. После просушки образцов на воздухе их анализировали в оптическом микроскопе с 10 кратным увеличением на предмет разрушения и/или отслаивания пленок.

Типичный внешний вид пленок до и после жидкостной обработки показан на рис. 1.

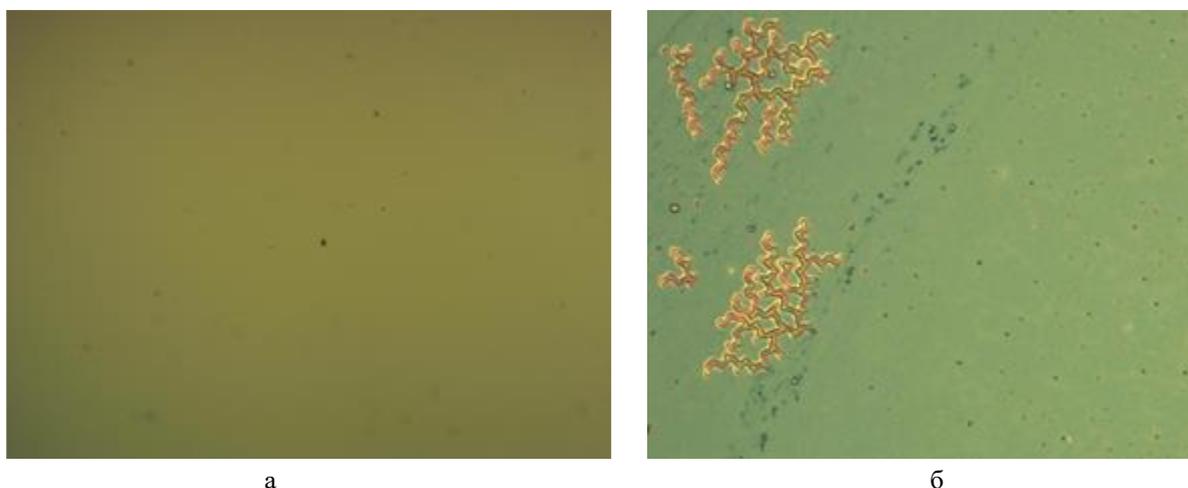


Рис.1. Внешний вид исходной пленки  $g-C_3N_4$  (а) и этой же пленки, после взаимодействия с указанными средами (б)

Установлено, что в пределах использованного разрешения оптического микроскопа поверхность исходных пленок является гладкой и не содержит никаких особенных структур – рис. 1а. Взаимодействие пленок с водой и этиловым спиртом в указанном промежутке времени не приводит к изменениям морфологии их поверхности. Однако при проведении эксперимента на пленках, сформированных более чем за 3 месяца до даты эксперимента разрушение, проходило в любой из исследованных сред.

Взаимодействие пленок с изопропиловым спиртом и ацетон на протяжении промежутка времени, превышающем 30 мин, приводит к появлению на ее поверхности очагов разрушения

в виде цепочек отслоившихся фрагментов пленки – рис. 1б. Размер отдельных фрагментов составляет 200 – 4000 мкм. Предположительно, причиной разрушения пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  являются остаточные механические напряжения и/или растворимые примеси на границе пленка/подложка.

В результате проведения экспериментальной работы можно сделать вывод о возможности технологической обработки пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  в исследованных жидких средах в течение не более нескольких месяцев после их формирования. Взаимодействие пленок с изопропиловым спиртом и ацетоном проходит независимо от времени прошедшего с момента формирования пленки. Для практических применений этих пленок при создании полупроводниковых приборов и фотокаталитических покрытий представляется актуальным дальнейшее исследование наличия и влияния механических напряжений и примесей в них на их поведение в технологических жидких средах, а также в условиях ионной и плазменной обработки.

### Список литературы

- [1] **Baglov, A. V.** Structural and photoluminescence properties of graphite-like carbon nitride. Semiconductors / A. V. Baglov, E. B. Chubenko, A. A. Hnitsko, V. E. Borisenko, A. A. Malashevich, V. V. Uglov // 2020. —Vol. 54.—P. 226–230.
- [2] **Wu Y.** Progress in photocatalysis of  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  and its modified compounds / Wu Y., Wang Y., Li M. // E3S Web of Conferences. —2021.—P. 233.
- [3] **Wen J.** A review on  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ -based photocatalysts / Wen J., Xie J., Chen X., Li X. // Appl. Surf. Sci.— 2017.—Vol. 391.—P. 72–123.
- [4] **Denisov, N. M.** Synthesis of oxygen-doped graphitic carbon nitride from thiourea / N. M . Denisov, E. B. Chubenko, V. P. Bondarenko, V. E. Borisenko // Tech. Phys. Lett.— 2019.—Vol. 45.— P. 108–110.
- [5] **Sudhaik A.** Review on fabrication of graphitic carbon nitride based efficient nanocomposites for photodegradation of aqueous phase organic pollutants / Sudhaik A., Raizada P., Shandilya P., Jeong D.-Y., Lim J.-H., Singh P.// J Ind. Eng. Chem.— 2018.—Vol. 67.—P. 28–51.
- [6] **Zhu J.** Graphitic carbon nitride: synthesis, properties, and applications in catalysis / Zhu J., Xiao P., Li H., Carabineiro S.A.C. // ACS Appl. Mater. Interface.— 2014.—Vol. 6.—P. 16449-16465.

## Применение графена в строительстве и архитектуре

*С. И. Тузик, В. В. Янушкевич, Д. О. Колос, Д. Ч. Гвоздовский*

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

Приведены различные варианты применения графена в строительстве и архитектуре. Благодаря своей прочности и устойчивости к трению графен используется при производстве бетона повышенной прочности, стальных конструкций. Графеновые панели нашли широкое применение для обшивки домов, так как они отводят тепло лучше традиционных материалов. Благодаря высокой теплопроводности графена, краски на его основе позволяют улучшить термическую регулировку зданий. Ученными разработана краска на основе графена, которая сообщает о повреждении зданий. На местах трещин и повреждений фасада краска начинает иначе отражать свет, окрашиваясь в яркие цвета. Смазки, в состав которых входит графен, обладают низким коэффициентом трения, эффективно отталкивают воду и защищают металлы от повреждений.

**Ключевые слова:** Графеновые панели, Бетон повышенной прочности, Краска на основе графена, Велосипедная смазка, Многослойный металл-графен.

Графен состоит из плотно соединенных атомов углерода, выстроенных в решетке толщиной в один атом. Это делает его самым тонким веществом в мире, которое при этом в 200 раз прочнее стали. Он также очень устойчив к трению и погодным условиям. Квадратный метр графена весом всего в 0,0077 грамма может выдерживать четыре килограмма нагрузки. Десятки исследователей продемонстрировали, что добавление даже незначительного количества графена к пластику, металлу или другим материалам может сделать эти материалы намного прочнее или легче. Так, если включить графен в состав стальных конструкций, они станут не только крепче, но и легче [1].

Для создания бетона повышенной прочности исследователи из Эксетерского университета (Великобритания) использовали технологии инкорпорирования графена в бетон [2]. Ученные установили, что добавление графена в бетон делает получившийся композитный материал в 4 раза прочнее обычного и в 2 раза повышает его водоустойчивость. Углеродный след при производстве улучшенного цемента оказался значительно более слабым. Такого эффекта удалось достичь из-за уменьшения в два раза объемов исходного материала, необходимого для производства бетона. В результате выбросы углерода при производстве одной тонны материала уменьшились на 446 кг. По оценке ученых, разработка позволит сократить объем необходимых для производства бетона материалов почти на 50%, что приведет к экономии и снижению выбросов парниковых газов. Наиболее важными сферами применения являются столбы, трубы, дороги, бетонные экраны и плотины, элементы, которые требуют большей долговечности с течением времени.

Компания GraphenanoSmartMaterials произвела графеновые панели для обшивки дома в Дубае — они отводят тепло лучше традиционных материалов. Кроме того, у нового материала повышается прочность: производитель уверяет, что срок службы зданий из «графенобетона» выше на 50%. Компания GrapheneSA разработала свою версию графеновой добавки в бетон, которую использовали при строительстве Экспоцентра в Мексике. Благодаря повышенным антикоррозийным свойствам материал особенно востребован в регионах с влажным климатом [3].

Впервые идея использовать графен для улучшения свойств красок была предложена испанской компанией Graphenano для укрепления фасада здания оперного театра в Валенсии «на молекулярном уровне», однако не была реализована. Вскоре британская компания

Graphenstone выпустила краску на основе извести с добавлением графена. Благодаря высокой теплопроводности графена новые краски позволяют улучшить термическую регулировку зданий. При покраске внутренних поверхностей стен подобной краской, окрашенные поверхности не передают тепло сквозь стену, графен, входящий в её состав позволяет его удерживать. Владельцы помещений смогут экономить на отоплении и кондиционировании [4].

Немецкими учеными разработана краска на основе графена, которая сообщает о повреждении зданий: на местах трещин и повреждений фасада изменяется цвет покрытия. Чешуйки графена наносятся на здание под специальным углом и в нормальных условиях остаются бесцветными. В случае повреждений угол наклона чешуек меняется и они начинают иначе отражать свет, окрашиваясь в яркие цвета. Существует возможность усовершенствовать технологию так, чтобы определенные цвета говорили, насколько срочно необходим ремонт [4].

Ученые из Китая создали самый легкий в мире твердый материал – графеновый аэрогель [5]. Он в 7,5 раз легче воздуха – его вес составляет  $0,16 \text{ мг/см}^3$ . Графеновый аэрогель – самый эффективный теплоизоляционный материал, что позволяет использовать его для получения высокоэффективных энергосберегающих решений. В качестве изоляции можно использовать листы графенового аэрогеля толщиной около 5 мм, при этом речь идет о гораздо меньших толщинах, чем у традиционных изоляторов. Это позволяет значительно сэкономить пространство и повысить энергоэффективность не только при строительстве зданий, но и при производстве солнечных панелей. Помимо минимальной толщины, это очень гибкий и прочный материал, обладающий высокой устойчивостью к механическим воздействиям и простой в обращении [6].

При производстве экологически безопасных смазок графен и оксид графена выступают в качестве перспективных материалов. Они являются эффективными загустителями, то есть дисперсной фазой и присадкой, которая существенно улучшает трибологические характеристики смазки. Авторами [7] проведены изменения трибологических свойств пластичных резбовых смазок с различными наполнителями. Установлено, что уменьшение диаметра пятна износа наблюдалось при концентрации многослойного графена в масле начиная с 0.1 %. Максимальное уменьшение диаметра пятна износа на 33 % зафиксировано при концентрации многослойного графена 0.25 %.

Британский производитель absoluteBLACK в состав своей новой велосипедной смазки GRAPHENlube добавил крошечные пластинки графена высокой чистоты в раствор, состоящий из воды и углеводородного парафина. Сообщается, что продукт не содержит токсичных растворителей и является биоразлагаемым. Как только вода из смазки испаряется, остается черное пастообразное твердое вещество, которое чрезвычайно эффективно отталкивает воду, не притягивает грязь, а одного слоя хватает примерно на 1800 км движения по сухим асфальтированным дорогам. У нее «крайне низкий» коэффициент трения при любых условиях, а значит цепь будет крутиться очень плавно. Также она защищает металл от повреждений и минимизирует его окисление [8].

Физики из Корейского ведущего научно-технического института (KAIST) представили результаты своей работы [9], в ходе которой они создали сверхпрочный материал из графена и металла. Новый материал представляет собой сплав из меди, никеля и графена. При этом графен, на который приходится всего 0,00004 % веса всей конструкции делает медь прочнее в 500 раз, а никель — в 180. Строительство сверхпрочного вещества проходило в несколько этапов. Физики использовали технологию химического парофазного осаждения (CVD-процесс) для того, чтобы вырастить однослойный пласт графена на металлическом субстрате, после чего к конструкции присадили ещё один слой металла. Повторив несколько раз эти

шаги, учёные получили многослойный металл-графен. Производство такого материала позволит производить легкие и сверхпрочные детали для авиа- и машиностроения, конструкционные детали зданий.

Главное препятствие на пути распространения графена — сложность его производства. Ученые постоянно придумывают новые способы удешевить и упростить выработку материала. На сегодняшний день основная задача графена в строительстве и архитектуре — защищать различные конструкции от воды, химикатов и агрессивной окружающей среды, улучшать термическую регулировку зданий и сооружений.

### Благодарность

Исследования проводились при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Ф21М-122) и Государственной программы научных исследований «Конвергенция – 2025» (задание 3.02.3).

### Список источников

- [1] **Bunch, J. S.** Electromechanical resonators from graphene sheets / J.S. Bunch et al. // *Science*. — 2007. — V. 315. — № 5811. — P. 490–493.
- [2] **Dimov, D.** Ultrahigh performance nanoengineered graphene – concrete composites for multifunctional applications / D. Dimov et al. // *Advanced functional materials*. — 2018. — V. 28. — № 23. — P. 1705183.
- [3] **Сверхпрочный мир: как графен изменит архитектуру и нашу жизнь** / URL: <https://birdinflight.com/ru/architectura/20201215-sverhprochnyj-mir-kak-grafen-izmenit-arhitekturu>
- [4] **9 amazing uses for graphene, from filtering seawater to smart paint** / URL: <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/9-amazing-graphene-applications>
- [5] **Графеновый аэрогель. Самый легкий материал в мире поможет с ликвидацией разливов нефти** / URL: <https://neftegaz.ru>
- [6] **Sun, H.** Multifunctional, ultra-flyweight, synergistically assembled carbon aerogels / H. Sun, Z. Xu, C. Gao // *Advanced materials*. — 2013. — V. 25. — № 18. — P. 2554-2560.
- [7] **Першин, В. Ф.** Создание экологичных смазок, модифицированных графеном / В. Ф. Першин и др. // *Российские нанотехнологии*. — 2018. — Т. 13. — № 5-6. — С. 131-135.
- [8] **Graphene-boosted (and very long-lasting?) bike lube costs almost \$150** / URL: <https://newatlas.com/bicycles/graphenlube-graphene-bicycle-lubricant>
- [9] **Kim, Y.** Strengthening effect of single-atomic-layer graphene in metal–graphene nanolayered composites / Y. Kim et al. // *Nature communications*. — 2013. — V. 4. — № 1. — P. 2114.

## Applications of graphene in construction and architecture

*S. I. Tuzik, V. V. Yanushkevich, D. O. Kolos, D. C. Hvezdouski*

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

Various options for the use of graphene in construction and architecture are given. Due to its strength and resistance to friction, graphene is used in the production of high-strength concrete and steel structures. Graphene panels have found widespread use in house cladding, as they conduct heat better than traditional materials. Due to the high thermal conductivity of graphene, paints based on it can improve the thermal regulation of buildings. Scientists have developed graphene-based paint that reports damage to buildings. In places of cracks and damage to the facade, the paint begins to reflect light differently, turning into bright colors. Lubricants containing graphene have a low coefficient of friction, effectively repel water and protect metals from damage.

**Keywords:** Graphene panel, Concrete of increased strength, Graphene-based paint, Bicycle lubricant, Multilayer metal-graphene.

## Ап-конверсионная фотолюминесценция в многослойных структурах $\text{BaTiO}_3:(\text{Er}, \text{Yb})$ , сформированных золь-гель методом

*Е.И. Лашковская, Ю.Д. Корнилова, Н.В. Гапоненко*

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

### Аннотация

Экспериментально исследована ап-конверсионная фотолюминесценция ксерогелей  $\text{BaTiO}_3:\text{Er}$  и  $\text{BaTiO}_3:(\text{Er}, \text{Yb})$  на подложках монокристаллического кремния и с подслоем пористого  $\text{SrTiO}_3$ . Установлено, что интенсивность люминесценции многократно усиливается при введении в ксерогель  $\text{BaTiO}_3:\text{Er}$  ионов  $\text{Yb}$ , а также при наличии пористого подслоя  $\text{SrTiO}_3$ .

**Ключевые слова:** ап-конверсионная фотолюминесценция, эрбий, иттербий, титанат бария, титанат стронция.

### Введение

Недорогие покрытия с ап-конверсионной фотолюминесценцией (ФЛ) лантаноидов представляют интерес для обратной стороны солнечных батарей в качестве спектральных преобразователей. Люминесценция трехвалентного эрбия усиливается в присутствии сенсibiliзирующих ионов, в частности, иттербия для эрбия. Недавно мы установили, что ап-конверсионная ФЛ эрбия в ксерогеле титаната бария может быть усилена, если ксерогели изготовлены на мезопористых и макропористых слоях, таких как пористый ксерогель титаната стронция [1], а также в виде микрорезонаторов [2].

### Основная часть

Для изготовления многослойных структур со слоями ксерогеля титаната бария, легированного эрбием ( $\text{BaTiO}_3:\text{Er}$ ) или солегированного эрбием и иттербием  $\text{BaTiO}_3:(\text{Er}, \text{Yb})$ , было приготовлено несколько зольей. Описание полученных образцов (обозначенных как А, В, С, D) представлено в таблице 1.

Таблица 1. Описание исследуемых образцов многослойных структур  $\text{BaTiO}_3:\text{Er}$  и  $\text{BaTiO}_3:(\text{Er}, \text{Yb})$ .

Обозначение образца	Тип ксерогеля	Подложка и подслоя
A	$\text{BaTiO}_3:\text{Er}$	Si
B	$\text{BaTiO}_3:\text{Er}$	пористый- $\text{SrTiO}_3/\text{Si}$
C	$\text{BaTiO}_3:(\text{Er}, \text{Yb})$	Si
D	$\text{BaTiO}_3:(\text{Er}, \text{Yb})$	пористый- $\text{SrTiO}_3/\text{Si}$

Сравнение многослойных структур  $\text{BaTiO}_3:\text{Er}$ , осажденных непосредственно на монокристаллическую подложку Si (образец А) и полученных с использованием дополнительного макропористого подслоя ксерогеля  $\text{SrTiO}_3$  между подложкой Si и  $\text{BaTiO}_3:\text{Er}$  (образец В), показало значительное увеличение интенсивности ап-конверсионной ФЛ в образце с подслоем  $\text{SrTiO}_3$ . Спектры ап-конверсионной ФЛ образцов В, С, D, записанные при возбуждении на длине волны 980 нм, показаны на рисунке 1. Для образца А без пористого подслоя  $\text{SrTiO}_3$  ап-конверсионной ФЛ не было обнаружено при тех же условиях возбуждения. Причиной усиления ап-конверсионной ФЛ ксерогеля, легированного эрбием, может быть многократное рассеяние возбуждающего излучения в присутствии пористого слоя титаната стронция [1]. Наблюдаемые спектры ап-конверсионной ФЛ характеризуются несколькими полосами ФЛ на 410, 523, 546, 658, 800 и 830 нм, соответствующими  $^2\text{H}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ ,  $^2\text{H}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ ,  $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ ,  $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$  и  $^4\text{I}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$  переходам трехвалентных ионов эрбия. Значительное усиление ап-конверсионной ФЛ наблюдалось для пленок ксерогеля  $\text{BaTiO}_3$ , солегированных ионами Er и Yb (образцы С и D). Как видно из рисунка 1, интенсивная ап-конверсионная ФЛ наблюдалась для пленок ксерогеля  $\text{BaTiO}_3:(\text{Er}, \text{Yb})$ , полученных как с пористым подслоем

SrTiO<sub>3</sub> (образец D), так и без него (образец C). Для обоих образцов общая интенсивность ап-конверсионной ФЛ была более чем на порядок выше по сравнению со слоем BaTiO<sub>3</sub>:Er, легированном только ионами Er.

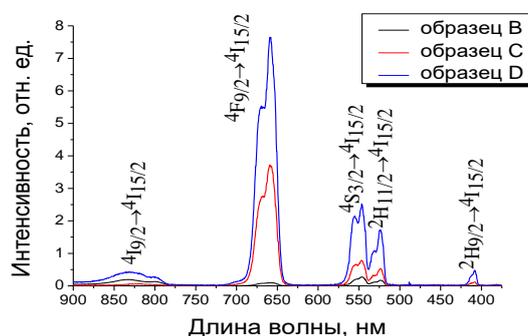


Рис. 1 – Спектры ап-конверсионной ФЛ многослойных пленочных структур BaTiO<sub>3</sub>:Er (образец В) и BaTiO<sub>3</sub>:(Er, Yb) (образцы С и D) на подложке Si, снятые при возбуждении на длине волны 980 нм

### Заключение

Синтезированы структуры BaTiO<sub>3</sub>:Er/Si, BaTiO<sub>3</sub>:Er/пористый-SrTiO<sub>3</sub>/Si и BaTiO<sub>3</sub>:(Er, Yb)/Si, BaTiO<sub>3</sub>:(Er, Yb)/пористый-SrTiO<sub>3</sub>/Si. Установлено, что интенсивность ап-конверсионной ФЛ ионов эрбия значительно усиливается при введении в ксерогель BaTiO<sub>3</sub>:Er ионов иттербия. Наличие пористого подслоя титаната стронция приводит к усиленному рассеянию возбуждающего излучения и увеличению его эффективного коэффициента поглощения и сечения поглощения иттербия и эрбия в пористых перовскитных средах.

### Список источников

- [1] **Lashkovskaya, E. I.** Optical properties and upconversion luminescence of BaTiO<sub>3</sub> xerogel structures doped with erbium and ytterbium / E. I. Lashkovskaya, N. V. Gaponenko, M. V. Stepikhova, A. N. Yablonskiy, B. A. Andreev, V. D. Zhivulko, A. V. Mudryi, I. L. Martynov, A. A. Chistyakov, N. I. Kargin, V. A. Labunov, T. F. Raichenok, S. A. Tikhomirov and V. Yu. Timoshenko // *Gels*. — 2022. — Vol. 8, N 6. — P. 347 (15 pages). — DOI:10.3390/gels8060347
- [2] **Gaponenko, N. V.** Upconversion luminescence from sol-gel-derived erbium- and ytterbium-doped BaTiO<sub>3</sub> film structures and the target form / N. V. Gaponenko, N. I. Staskov, L. V. Sudnik, P. A. Vityaz, A. R. Luchanok, Yu. D. Karnilava, E. I. Lashkovskaya, M. V. Stepikhova, A. N. Yablonskiy, V. D. Zhivulko, A. V. Mudryi, I. L. Martynov, A. A. Chistyakov, N. I. Kargin, V. A. Labunov, Yu. V. Radyush, E. B. Chubenko and V. Yu. Timoshenko // *Photonics*. — 2023. — Vol. 10, N 4. — P. 359 (12 pages). — DOI:10.3390/photonics10040359

## Upconversion photoluminescence from multilayer BaTiO<sub>3</sub>:(Er, Yb) structures formed by the sol-gel method

*E.I. Lashkovskaya, Yu.D. Karnilava, N.V. Gaponenko*

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

### Annotation

The upconversion photoluminescence of BaTiO<sub>3</sub>:Er and BaTiO<sub>3</sub>:(Er, Yb) xerogels on monocrystalline silicon substrates and with a porous SrTiO<sub>3</sub> sublayer was investigated. It was found that the luminescence intensity increases significantly when Yb ions are introduced into BaTiO<sub>3</sub>:Er xerogel as well as when a porous SrTiO<sub>3</sub> sublayer is present.

**Keywords:** upconversion photoluminescence, erbium, ytterbium, barium titanate, strontium titanate.

## Формирование и оптические свойства нанокompозитов из графитоподобного нитрида углерода в ПММА

*С. Е. Максимов, Е. Д. Паршаков, В. Е. Борисенко*

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

Приведены результаты исследования оптических и люминесцентных свойств композитных покрытий на основе полиметилметакрилата с добавлением графитоподобного нитрида углерода в количестве 0, 5, 10, 15 и 20 масс%, полученного методом пиролитического разложения тиомочевины при температуре 550 °С на протяжении 30 мин. Покрытия формировали на стеклянных подложках из смеси компонентов в ацетоне.

**Ключевые слова:** графитоподобный нитрид углерода, ПММА, оптические свойства, спектр пропускания, спектр отражения, фотолюминесценция, ширина запрещенной зоны.

### Введение

Графитоподобный нитрид углерода ( $g-C_3N_4$ ) – наиболее термически стабильная форма нитрида углерода [1]. Особый интерес данный материал привлекает благодаря своим ярко выраженным фотокаталитическим свойствам [2–4], что позволяет применять его в процессах очистки воды от органических загрязнений и генерации водородного топлива. Наиболее распространенным способом получения этого материала является пиролитическое разложение соединений с высоким содержанием азота [5–6]. Актуальным направлением, определяющим перспективы использования  $g-C_3N_4$  является создание и исследование гетероструктур, в которых данный материал включен в полимерную матрицу.

Целью данной работы является оценка оптических свойств композита, состоящего из порошкообразного  $g-C_3N_4$  в полимерной матрице полиметилметакрилата (ПММА).

Для получения нитрида углерода измельченную тиомочевину химической чистоты (ХЧ) помещали в керамический тигель объемом 20 мл. Для ограничения поступления воздуха к синтезируемому материалу в процессе термообработки тигель герметизировали алюминиевой фольгой. Термическую обработку проводили в муфельной печи при температуре 550 °С на протяжении 30 мин, после чего тигель оставляли остывать до комнатной температуры внутри выключенной печи.

Синтезированный  $g-C_3N_4$  механически измельчали в агатовой ступке и смешивали в пропорции 0, 5, 10, 15 и 20 масс% со стружкой ПММА. Полученную композицию растворяли в ацетоне из расчета 0,05 г композиции на 1 мл ацетона. Этот раствор наносили на заранее очищенную стеклянную подложку размерами 15 × 25 мм и оставляли в среде атмосферного воздуха до полного испарения растворителя.

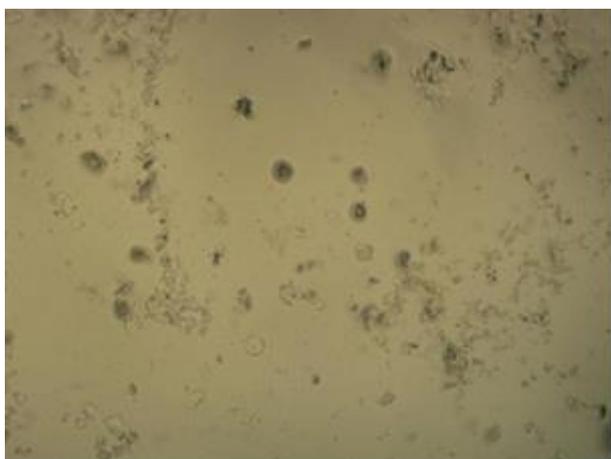
Морфологию полученных образцов изучали при помощи оптического микроскопа.

Спектры отражения и пропускания синтезированных гетероструктур снимали при помощи спектрофотометра МС 122 в диапазоне 200–1000 нм. Управление спектрофотометром осуществлялось при помощи персонального компьютера с установленным на нем специализированным программным обеспечением. В качестве источника излучения использовались дейтериевая лампа, для длин волн меньше 330 нм, и лампа накаливания с вольфрамовой нитью, для длин волн больше 330 нм.

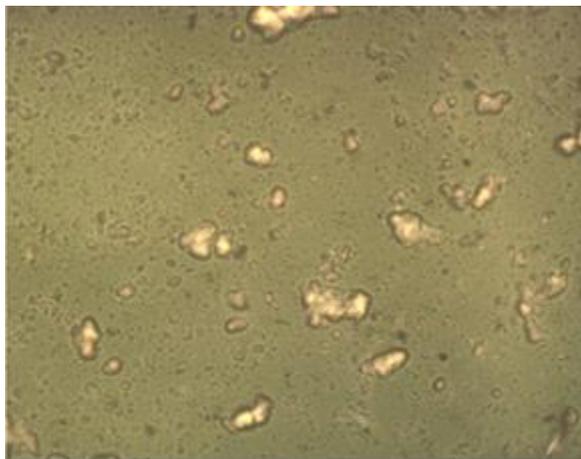
Фотолюминесценцию материала созданных гетероструктур исследовали при комнатной температуре в условиях ее возбуждения монохроматическим излучением с длиной волны 345 нм, который выделялся из спектра излучения ксеноновой лампы мощностью 450 Вт с использованием монохроматора Solar TII DM 160. Спектр фотолюминесценции

регистрировали монохроматором– спектрографом Solar TII MS 7504i, оснащенный кремниевой ПЗС-матрицей.

Экспериментальные образцы гетероструктур, сформированных на стеклянных подложках, представляли собой пленки толщиной 14–23 мкм. Типичный внешний вид их поверхности показан на рис. 1. При малых содержаниях зерна  $\gamma$ - $C_3N_4$  распределяются равномерно в объеме гетероструктуры, однако повышение концентрации приводит к слипанию мелких зерен в более крупные.



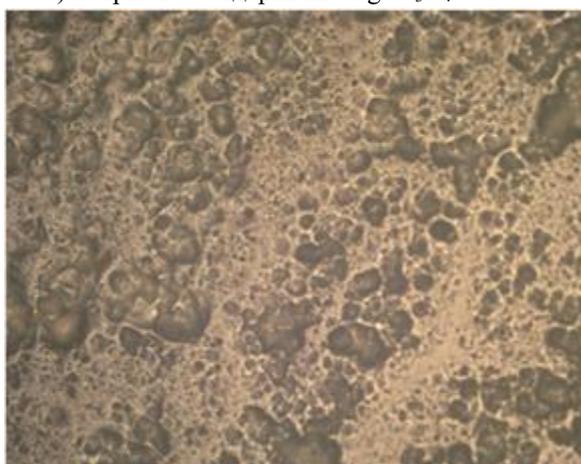
а) чистый ПММА



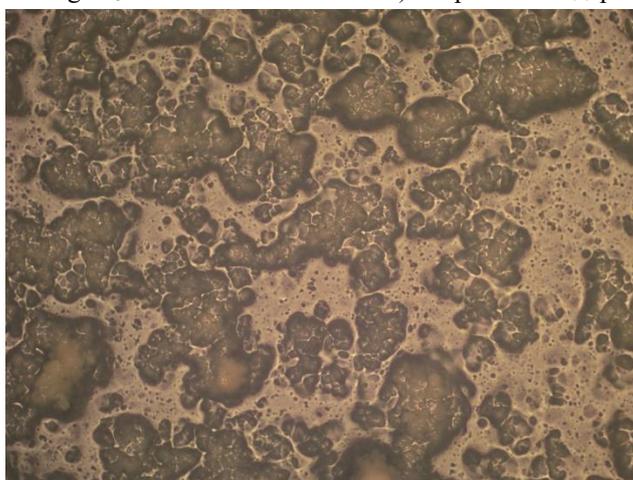
б) покрытие с содержанием  $\gamma$ - $C_3N_4$  5 масс%



в) покрытие с содержанием  $\gamma$ - $C_3N_4$  10 масс%



г) покрытие с содержанием  $\gamma$ - $C_3N_4$  15 масс%



д) покрытие с содержанием  $\gamma$ - $C_3N_4$  20 масс%

Рис. 1. Морфология поверхности экспериментальных образцов

Экспериментально измеряемыми оптическими характеристиками полупроводникового образца являются спектр отражения  $R(\lambda)$  (рис. 2) и пропускания  $T(\lambda)$  (рис. 3). Основным результатом поглощения энергии квантов света при условии, что их энергия превышает ширину запрещённой зоны  $E_g$ , является возбуждение электронов. Так как энергия фотонов  $E=h \cdot \nu$  уменьшается при увеличении длины волны излучения, то, исследуя спектральные зависимости поглощения, можно определить граничное значение длины волны  $\lambda_{кр}$ , соответствующее энергии фотонов равной  $E_g$  и определяющее длинноволновую границу собственного поглощения.

Для расчета коэффициента поглощения образцом толщиной  $d$  выбрано соотношение

$$a = \frac{1}{d} \cdot \ln \left\{ \frac{1 - R^2}{2 \cdot T} + \left[ \left( \frac{1 - R^2}{2 \cdot T} \right)^2 + R^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}. \quad (1)$$

Коэффициент экстинкции рассчитывается как

$$k = \frac{1}{4 \cdot \pi} \cdot a \cdot \lambda. \quad (2)$$

Показатель преломления исследуемого материала  $n$  вычисляем из уравнения

$$n = \frac{(1 + R)}{(1 - R)} + \sqrt{\frac{4 \cdot R}{(1 - R)^2} - k^2}. \quad (3)$$

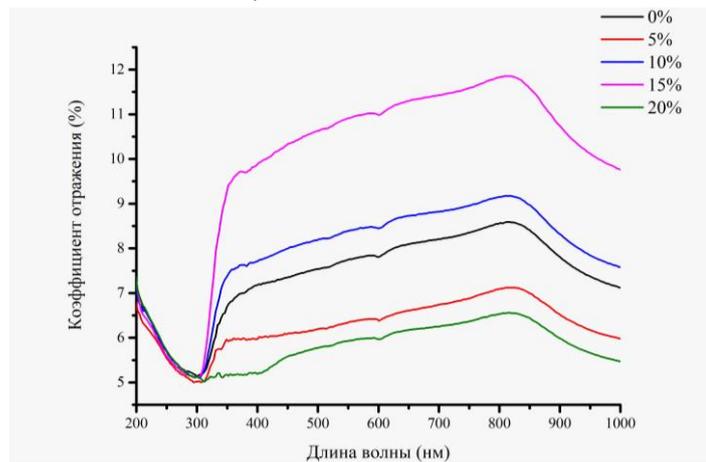


Рис. 2. Спектры отражения экспериментальных гетероструктур с различным содержанием g-C3N4 в ПММА

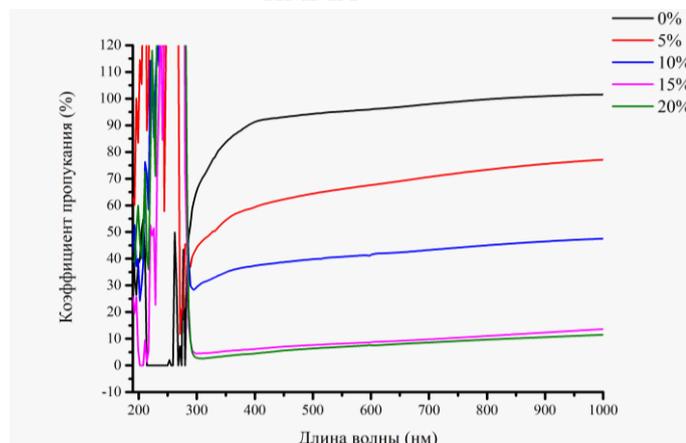


Рис. 3. Спектры пропускания экспериментальных гетероструктур с различным содержанием g-C3N4 в ПММА

Стекланные подложки, на которых сформированы гетероструктуры, поглощают излучение с длиной волны менее 280 нм. Это, вероятно, приводит к экспериментально фиксируемым аномалиям на спектрах пропускания  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  в данном спектральном диапазоне.

Предполагая, что при комнатной температуре основным механизмом поглощения света в исследуемых материалах будет собственное (фундаментальное) поглощение, то по зависимости коэффициента поглощения от энергии фотонов  $\alpha(E)$  можно определить ширину запрещенной зоны  $E_g$  в материале. Для случая прямых межзонных переходов выбрано соотношение

$$\alpha(E) = A^* \cdot (E - E_g)^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

где  $A^*$  – константа.

Построив спектральную зависимость  $\alpha(E)$  в координатах  $\alpha^2 = f(E)$  по пересечению ее линейного участка с осью абсцисс ( $E$ ) мы получили ширину запрещенной зоны исследуемого материала. Расчётные значения параметров  $E_g$  и  $n$  представлены в таблице 1.

Таблица 1. Оптические параметры гетероструктур экспериментальных гетероструктур с различным содержанием  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  в ПММА

Процентное содержание, $g\text{-C}_3\text{N}_4$ , %	Ширина запрещенной зоны $E_g$ , эВ	Показатель преломления $n$
0	3,505	1,8
5	4,509	1,68
10	4,428	1,85
15	4,218	2,0
20	4,230	1,65

Спектральная зависимость рассчитанного коэффициент экстинкции синтезированных гетероструктур приведена на рис. 4.

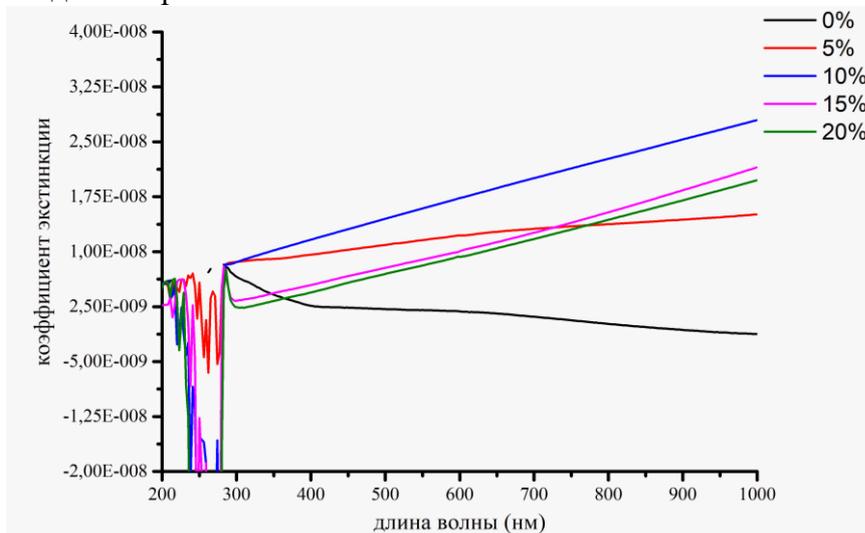


Рис. 4. Зависимость коэффициента экстинкции экспериментальных гетероструктур с различным содержанием  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  в ПММА от длины волны излучения

Спектры люминесценции экспериментальных гетероструктур с различным содержанием  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  в ПММА показаны на рис. 5. Чистый ПММА имеет собственную слабую фотолюминесценцию с пиком на длине волны 440,7 нм. Графитоподобный нитрид углерода, полученный в указанном режиме, имеет пик на отметке 468 нм [2]. Положения пика для образцов с содержанием нитрида углерода 5, 10, 15, 20 масс% находится на отметке 466,7, 464,9, 465,7 и 466,65 нм соответственно.

В заключении можно сделать вывод об отсутствии влияния полимерной матрицы из ПММА на положение пика фотолюминесценции внедряемого нитрида углерода. Повышение

процентного содержания g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> при используемом методе формирования покрытий приводит к ухудшению равномерности получаемых слоев и увеличению ширины запрещенной зоны получаемого композита.

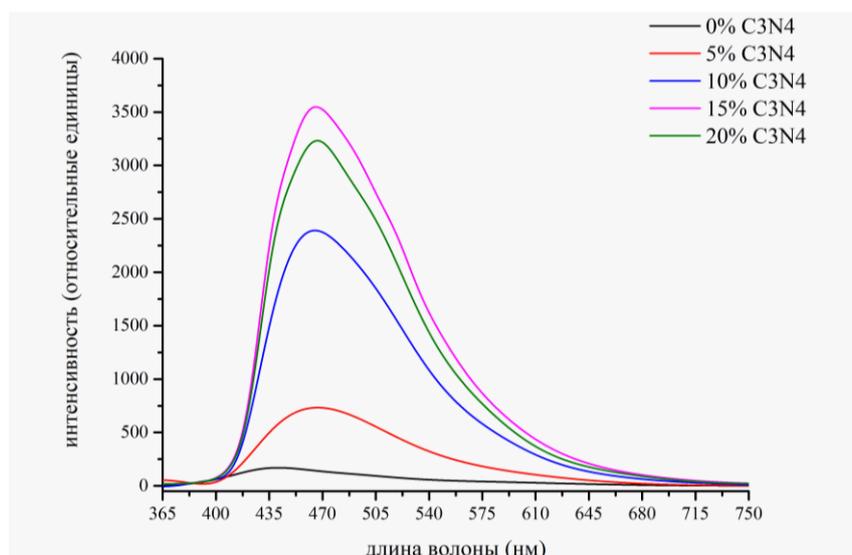


Рис 5. Спектры фотолуминесценции экспериментальных гетероструктур с различным содержанием g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> в ПММА

#### Список источников

- [1] Денисов, Н. М. Синтез легированного кислородом графитоподобного нитрида углерода из тиомочевины / Н.М. Денисов, Е.Б. Чубенко, В.П. Бондаренко, В.Е. Борисенко // Письма в ЖТФ.—2019 .— том 45, вып. 3. — С. 49–51.
- [2] Баглов, А. В. Структурные и фотолуминесцентные свойства графитоподобного нитрида углерода / А.В. Баглов, Е.Б. Чубенко, А.А. Гнитько, В.Е. Борисенко, А.А. Малашевич, В.В. Углов // Физика и техника полупроводников.— 2020.— том 54, вып. 2.— С. 176–180.
- [3] Wang A. Recent Advances of Graphitic Carbon Nitride-Based Structures and Applications in Catalyst, Sensing, Imaging, and LEDs/ Wang A Wang C., Fu L., Wong-Ng W., Lan Y // Nano-Micro Lett.— 2017.— V. 9.— P. 47.
- [4] Wen J. A Review on g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> -Based Photocatalysts / Wen J., Xie J., Chen X., Li X. // Appl. Surf. Sci.— 2017.— V. 391.— P. 72–123.
- [5] Danilov M. O. Thermochemical synthesis of graphite-like carbon nitride and its application / M. O. Danilov, G. I. Dovbeshko, I. A. Rusetskiy, U. K. Afonina, V. N. Byckov, O. P. Gnatyuk, S. S. Fomanyuk, G. Ya. Kolbasov // Low Temperature Physics.—2022.—48.—P. 344.
- [6] Чубенко Е. Б. Синтез графитоподобного нитрида углерода на поверхности наночастиц Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> / Е. Б. Чубенко, А. В. Баглов, Ю. А. Федотова, В. Е. Борисенко // Неорганические материалы.— 2021.—том 57, вып. 2.— С. 144–149.

## FORMATION AND OPTICAL PROPERTIES OF NANOCOMPOSITES CONSISTIG OF GRAPHITIC CARBON NITRIDE IN PMMA

*S. E. Maksimov, E. D. Parshakov, V. E. Borisenko*

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

We present the results of a study of optical and luminescent properties of composites based on polymethyl methacrylate with the addition of graphitic carbon nitride in an amount of 0, 5, 10, 15 and 20 wt% synthesized by pyrolytic decomposition of thiourea at 550 °C to for 30 min. The composites were deposited on glass substrates from an acetone solutions with a required ratio of components.

## Напряжение холостого хода в гетероструктуре оксид молибдена/кремний при облучении солнечным светом

*И. Д. Самойлич*

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

В данной работе представлены результаты расчетов напряжения холостого хода гетероструктуры оксид молибдена/кремний в условиях солнечного облучения. Установлены закономерности влияния на напряжение холостого хода разности работ выхода оксида молибдена и кремния, скорости поверхностной рекомбинации и тока короткого замыкания. Показано, что напряжение холостого хода существенно падает при росте скорости поверхностной рекомбинации свыше 10 м/с.

**Ключевые слова:** оксид молибдена, кремний, гетероструктура, солнечные элементы, поверхностная рекомбинация.

Оксиды переходных металлов (ОПМ) приобретают все большее значение для многих областей применения, начиная от тонкопленочных транзисторов и энергонезависимой памяти и заканчивая новыми контактными слоями в фотоэлектрических устройствах. Их высокая прозрачность делает их также интересными в качестве новых контактных слоев в фотоэлектрических устройствах. Благодаря настраиваемым (управляемым) электрическим свойствам и высокой прозрачности, они являются многообещающими кандидатами в качестве контактных слоев для создания эффективных кремниевых солнечных элементах [1]. В настоящее время гетеропереходы на основе ОПМ с использованием кремния в качестве поглощающего солнечное излучение материала уже приводят к эффективности солнечных элементов около 20-22%. Связано это с тем обстоятельством, что контакты ОПМ с кремнием способствуют эффективному пространственному разделению генерированные электронно-дырочных пар за счет их высокой работы выхода. Одной из важных не до конца решенных проблем солнечных элементов является разделение и извлечение носителей заряда через контактные слои. Механизмы разделения носителей заряда с помощью ОПМ, в частности оксида молибдена  $\text{MoO}_x$ , пока остаются недостаточно изученными. В этом плане моделирование токопереноса может быть использовано для получения информации о механизмах электронно-дырочных процессов в соответствующих гетеропереходах и тонких пленок ОПМ. Одной из проблем для контактов ОПМ в солнечных элементах считается выравнивание уровня энергии (Ферми) между отдельными слоями, что важно для формирования разделения дырок и электронов. Еще одной проблемой является отсутствие полной ясности в механизмах токопереноса внутри ОПМ, где дефекты и туннелирование с участием ловушек играет важную роль. На границе раздела  $\text{MoO}_x/\text{Si}$  для эффективного извлечения дырок из области генерации необходимо осуществить переходы дырок из валентной зоны Si в  $\text{MoO}_x$ . Для этого согласно [2] существуют два возможных пути их переноса. Первый – это межзонное туннелирование, при котором носители заряда напрямую туннелируют в зону проводимости  $\text{MoO}_x$ . Второй путь - туннелирование с участием ловушек, при котором носители заряда туннелируют через состояния ловушек в запрещенной зоне  $\text{MoO}_x$ . Эффективность разделения достигается за счет барьера Шоттки, когда электроны отталкиваются в объем кремния, а дырки прижимаются к границе  $\text{MoO}_x/\text{Si}$ . Это означает для дырочного контакта, что цель состоит в том, чтобы максимизировать проводимость дырок и минимизировать электронную проводимость. В работе с использованием разработанной модели токопереноса [3] проведены расчеты напряжения холостого хода  $V_{oc}$  для гетероструктуры  $\text{MoO}_x/\text{Si}$  при облучении солнечным светом в зависимости от скорости поверхностной рекомбинации  $S_p$ , работы выхода  $\text{MoO}_x$   $F_m$ , тока короткого замыкания  $J_{sc}=25,0-$

38,4 мА/см<sup>2</sup>, рис.1. Концентрация доноров в кремнии  $N_d=10^{15}$  см<sup>-3</sup>, электронное средство в кремнии 4,05 эВ, скорость  $S_p$  варьируется в пределах 0,1-100 м/с.

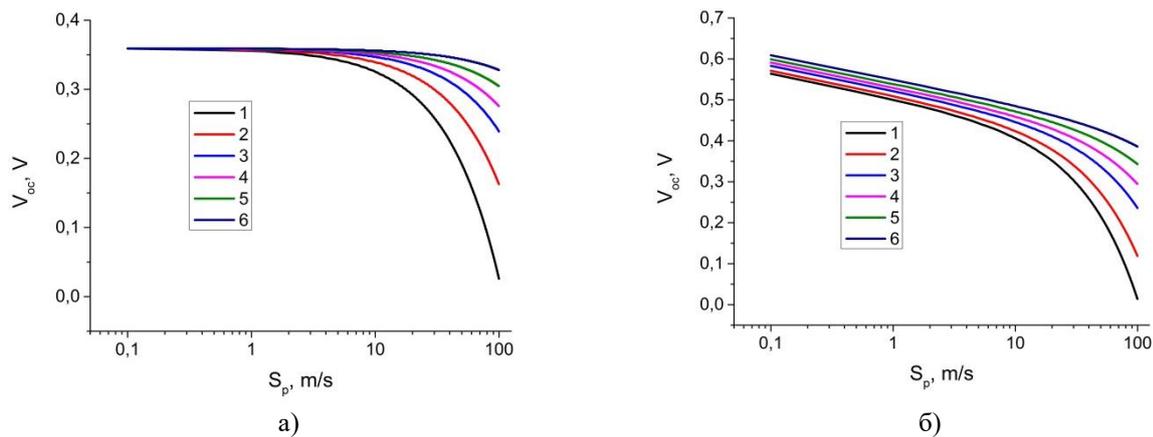


Рисунок 1 – Напряжение холостого хода  $V_{oc}$  гетероструктуры  $\text{MoO}_x/\text{Si}$  при  $N_d=10^{15}$  см<sup>-3</sup>:  $F_m=4.7$  эВ (а),  $F_m=5.1$  эВ (б);  $J_{sc}=37,6-38,4$  мА/см<sup>2</sup> (1), 37,0 мА/см<sup>2</sup> (2), 35,0 мА/см<sup>2</sup> (3), 33,0 мА/см<sup>2</sup> (4), 30,0 мА/см<sup>2</sup> (5), 25,0 мА/см<sup>2</sup> (6)

Для рассматриваемых параметров получено, что при низкой разнице работ выхода 0,65 эВ, рис.1а, напряжение  $V_{oc}$  составляет порядка 0,35 В и уменьшается с ростом скорости  $S_p$  и  $J_{sc}$ . Причем при  $S_p < 5$  м/с и  $F_m = 4,7$  эВ,  $V_{oc}$  практически не зависит от  $S_p$ , а при  $S_p > 5$  м/с,  $V_{oc}$  снижается с ростом  $S_p$  и тем быстрее, чем больше ток  $J_{sc}$ , рис.1а. С ростом работы выхода, при разнице 0,85 эВ,  $V_{oc}$  достигает 0,55 В в области малых  $S_p$ , и при росте  $S_p$ ,  $V_{oc}$  падает и тем быстрее, чем больше ток  $J_{sc}$ . При  $F_m=5,1$  эВ наблюдается рост  $V_{oc}$  до примерно 0,6 В, и его падение с ростом  $S_p$ , рис.1б. Дальнейший рост работы выхода  $\text{MoO}_x$  до 5,3 эВ и выше не приводит к увеличению  $V_{oc}$ . Полученные результаты можно объяснить следующим образом. При малой разности работ выхода  $\text{MoO}_x$  и  $\text{Si}$  получается относительно малая величина  $V_{oc}$ , что связано с наличием меньшего изгиба зон на поверхности кремния и соответственно меньшей величиной барьера Шоттки, меньшей напряженностью электрического поля на поверхности. При малых значениях скорости  $S_p$ , величина  $V_{oc}$  (0,36 В) немного меньше величины барьера Шоттки (0,385 В). С ростом разности работ выхода увеличивается  $V_{oc}$  – при  $F_m=4,9$  эВ,  $V_{oc}=0,55$  В, а барьер Шоттки равен 0,585 В. В этом случае увеличивается как равновесная концентрация дырок, так и напряженность поля на поверхности кремния. Однако рост  $F_m=5,1$  эВ не приводит к существенному увеличению  $V_{oc}$  рис.1б.  $V_{oc}$  растет только до 0,6 В при малых  $S_p$ , т.е. всего на 0,25 В, тогда как высота барьера Шоттки увеличивается до 0,785 В. Таким образом, мы наблюдаем насыщение  $V_{oc}$  с ростом разности работ выхода  $\text{MoO}_x/\text{Si}$ . Проведенные расчеты показали, что напряжение холостого хода в гетероструктуре  $\text{MoO}_x/\text{Si}$  при малых скоростях поверхностной рекомбинации определяется в основном разностью работ выхода кремния и  $\text{MoO}_x$ , однако при росте скорости поверхностной рекомбинации его значение существенно снижается, что необходимо учитывать при разработке солнечных элементов на основе данной гетероструктуры.

#### Список источников

- [1] C. Battaglia, A. Cuevas, S. De Wolf. High-efficiency crystalline silicon solar cells: status and perspectives. Energy Environ. Sci. - 2016.- V.9.- P.1552—1576.
- [2] R. Garcia-Hernansanz, E. Garcia-Hemme, D. Montero. Transport mechanisms in silicon heterojunction solar cells with molybdenum oxide as a hole transport layer. Sol Energy Mater Sol Cells. – 2018. -V.185. – P.61-65.
- [3] A.L.Danilyuk, T.N.Sidorova, V.E.Borisenko, W.Hong, R.Rusli, C.Lu. An Enhanced Charge Carrier Separation in a Heterojunction Solar Sell with a Metal Oxide. Physica Status Solidi A: Applications and Materials Science. 2022 - Vol. 219, Issue 1, 2100525 (8pp). DOI: 10.1002/pssa.202100525.

## **Технология холодной атмосферной плазмы и ее применение для обработки поверхности и нанесения покрытий**

*Б.З. Хамаде, Д.А. Котов*

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

В сообщении приводятся результаты аналитических исследований применения плазмы генерируемой при атмосферном давлении и ее видах разрядов для использования в микроэлектронике и нанотехнологиях.

**Ключевые слова.** Атмосферная плазма, Коронный разряд, диэлектрический барьерный разряд (DBD), плазменная струя при атмосферном давлении (APPJ), Факельный разряд, источник копланарной конфигурации.

Область применения плазмы. Плазма широко используется для обработки материалов в течении последних 60 лет. Вакуумная плазма как правило используется для селективного травления пленочных структур, обработки поверхности для того, чтобы увеличить смачиваемость или улучшить адгезию (прилипание), а также в производстве тонких пленок, включая алмазоподобного углерода (DLC), и тонких пленок, имеющих необходимые проводящие, диэлектрические или полупроводниковые свойства. Но существуют определённые ограничения как по технологии обработки, так и по откачке материалов в вакуумной камере, а также материальные затраты на создание такой установки.

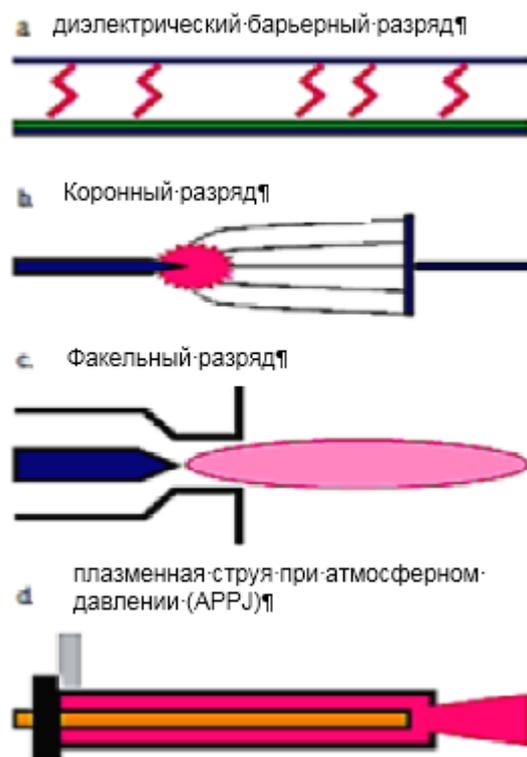
Обработка материалов при атмосферном давлении обеспечивает явные преимущества перед традиционной (вакуумной) обработкой, основанной на плазменных разрядах при пониженном давлении. В дополнении к уменьшению капитальных расходов на оборудование и устранению ограничений, установленными вакуумной совместимостью, плазменная обработка при высоком давлении и низкой температуре может быть использована во многих отраслях промышленности. Внедрение таких систем позволит создать новые виды текстильных материалов или различных упаковочных материалов по большей части для скоропортящихся продуктов, также возможно использование в медицинских целях, и это только маленькая часть того где это можно использовать, в некоторых случаях такой метод может полностью заменить методы вакуумной плазменной обработки.

На рисунке приведены несколько видов разрядов, которые формируются при атмосферном давлении.

На рисунке (а) диэлектрический барьерный разряд в котором используется диэлектрическое покрытие на одном или обоих электродах, к одному из которых обычно подводится переменный сигнал в диапазоне радиочастот, тогда как другой заземлен. Разряд состоит из множества быстро образующихся и также быстро завершающихся стримеров (низкотемпературных дуг), которые заполняют объем между электродами. Обработку материалов можно проводить, используя эффект генерации озона (в случае подачи воздуха или кислорода) или даже пропуская подложку материала – предполагая, что он диэлектрик – через область между электродами.

Коронный разряд, рисунок (б), является не дуговой, неоднородной плазмой, которая загорается за счет сильного электрического поля на острых концах электродов. Для того, чтобы предотвратить искрение, ни одна заземленная поверхность не может располагаться около этих острых концов, поэтому такой разряд от природы неоднородный: плотность плазмы быстро падает с увеличением расстояния от электродов.

Факельный разряд, рисунок (с), часто путают с плазменной струёй при атмосферном давлении, которая будет описана ниже. В отличие от других источников плазмы, показанных на этом рисунке, факельный разряд – это термическая плазма, которая характеризуется высокой температурой ионов примерно равной температуре электронов. Этот источник предоставляет возможность использования его очень высоких температур газа в процессах обработки материалов, в основном для переработки химических отходов, осаждения керамических покрытий и спекания (обжига).



Рисунок

Четвертый источник на рисунке (d) – плазменная струя при атмосферном давлении (APPJ- atmospheric pressure plasma jet). Фактически это плазма одного электрода, так как ВЧ напряжение поступает только на электрод внутри трубки из диэлектрического материала. Тогда как в факельном разряде второй заземлённый электрод находится сразу после высоковольтного. APPJ действует без диэлектрического покрытия электрода, также еще не имеет нити накала. Газовая температура разряда обычно между 50 и 300°C, поэтому можно избежать термического разрушения материалов.

Большое количество больших исследований [1-5] было посвящено повышению эффективности преобразования кислорода в озон за счет оптимизации параметров разряда, соответствующего выбора конфигураций электродов, пространственных материалов для его конструкции, различных катализаторов, изменения рабочих частот или даже работы в импульсном режиме.

Группе авторов [6] удалось реализовать диэлектрический барьерный разряд в воздухе при атмосферном давлении, что считалось невозможным до них, на частоте 50 Гц в режиме тлеющего разряда. Именно до этого времени считалось, что тлеющий разряд не может быть стабилизирован и устойчив при атмосферном давлении. Необходимо избегать перехода в режим сильноточного разряда, который, как следствие, приводит к дуговому разряду, губительному для электродов.

Применение диэлектрического барьерного разряда обеспечивает обработку поверхности материалов и осаждение покрытий из газообразного прекурсора пригодные для микроэлектроники, оптики и оптоэлектроники. С учетом низких затрат на оборудование и электроэнергию такие технологии однозначно представляют интерес со стороны производства.

**Список использованных источников:**

- [1] V. J. Tu, J. Y. Jeong, A. Schutze, et al., “Tantalum Etching with a Nonthermal Atmospheric Pressure Plasma,” *Journal of Vacuum Science and Techn.*
- [2] J. Park, I. Henins, H. W. Herrmann, et al., “An Atmospheric Pressure Plasma Source,” *Applied Physics Letters* 76, 288–290 (2000).
- [3] M. A. Lieberman and A. J. Lichtenberg, *Principles of Plasma Discharges and Materials Processing*, (Wiley-Interscien)
- [4] J. Park, I. Henins, H. W. Herrmann, et al., Discharge Phenomena of an Atmospheric Pressure Radio-Frequency Capacitive Plasma Source,” *Journal of A.*
- [5] C. J. Mogab in, *VLSI Technology*, S. M. Sze Ed., (McGraw Hill, New York, 1983), pp 303–346.
- [6] J. Park, I. Henins, H. W. Herrmann, et al., “Gas Breakdown in an Atmospheric Pressure Radio-Frequency Capacitive Plasma Source,” *Journal of A.*

**Секция «Электроника»**

<b>Система пожаротушения предприятия.....</b>	<b>189</b>
<i>Е. А. Подлужная</i>	
<b>Информационная система для организации надзора за ядерной и радиационной безопасностью белорусской АЭС .....</b>	<b>190</b>
<i>Д. О. Бондаренко</i>	
<b>Система контроля и управления газовым котлом на предприятии «ПИНСКГАЗ» .....</b>	<b>191</b>
<i>Н. В. Стадник</i>	
<b>Система контроля и управления энергоресурсами на предприятии .....</b>	<b>192</b>
<i>Е. Ю. Толкачева</i>	
<b>Система контроля и управления водно-химическим режимом АЭС с ВВЭ.....</b>	<b>193</b>
<i>А. П. Яковлев</i>	
<b>Автоматизированная линия пастеризации молока .....</b>	<b>195</b>
<i>А. В. Янцевич</i>	
<b>Измеритель параметров окружающей среды.....</b>	<b>196</b>
<i>Е. В. Пинчук</i>	

## СИСТЕМА ПОЖАРОТУШЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Подлужная Е.А., студентка гр.944101

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

Сацук С.М. – доцент, заведующий кафедрой электроники

**Аннотация.** Выбирается автоматическая система газового пожаротушения. Благодаря ее преимуществам система устанавливается в деньгохранилище. При срабатывании двух извещателей сигнал подается на приемно-контрольный прибор, где в дальнейшем идеи открытия модулей пожаротушения и иных средств предупреждения. В систему установлен расходомер и клапан, которые способствуют постоянному непрерывному равномерному движению потока газа. Система обрабатывает 60 секунд, и прекращает работу, убедившись, что пожар потушен.

**Ключевые слова.** Пожар, газ, датчики, система.

В данной работе рассмотрены системы пожаротушения, где представлена усовершенствованная система пожаротушения – автоматическая система газового пожаротушения. Она предназначена для тушения пожаров специальными газами, которые подаются из модуля пожаротушения и далее через трубопровод попадают в помещение.

Основной задачей системы является тушения пожаров в местах, где применение воды и иных средств может принести вред материальным ценностям и людям. За счет свойств газа она может применяться в тушении: электрощитовых, в местах массового скопления людей, в местах хранения материальных ценностей и так далее.

Целью работы является проведение комплексных инженерных исследований, включая усовершенствование системы пожаротушения, внедрение системы на объект.

Область применения: система предназначена для деньгохранилища. Возможно применение в дата-центрах, заводах, музеях, архивах.

Экономическая эффективность/значимость работы: работа является конкурентоспособной и выгодной с точки зрения безопасности.

Система автоматического газового пожаротушения позволяет быстро и без материальных потерь потушить пожар в помещении.

Преимущества данной системы следующие:

- высокая скорость, эффективность тушения;
- безопасность находящихся в помещении предметов, материальных ценностей, людей;
- использование при любых температурах окружающей среды;
- продолжительный срок эксплуатации;
- не требуется уборка помещения поле работы системы;
- возможно изготовление под помещение.

Газовое пожаротушение осуществляется по следующему принципу: в помещение с возгоранием под давлением из модуля пожаротушения по трубопроводам через насадки подается газовое огнетушащее вещество (ГОТВ). В зависимости от типа газа используется один из механизмов тушения (охлаждение, ингибирование, снижение уровня кислорода) или их комбинация.

Защищаемые помещения оснащены датчиками (дыма, тепла), они передают сигнал о начавшемся возгорании на приемно-контрольный прибор. После получения сигнала прибор управления запускает алгоритм пожаротушения. Включается оповещение, отключается вентиляция и технологическое оборудование, после небольшой задержки происходит запуск газовой установки пожаротушения.

В зависимости от типа газового огнетушащего вещества и типа установки время тушения составляет не более 10-ти, 15-ти или 60-ти секунд.

### Список использованных источников:

1. Бутова, Н. А. Анализ микроконтроллеров для использования в устройствах адресно-аналоговых систем охранно-пожарной сигнализации. 2018. №20 (206).
2. Перина, А. И. Современные технологии пожаротушения. 2021. №42 (384).
3. Справочник инженера пожарной охраны. Руководитель - Лебедев В.С. М.: «Инфра - Инженерия». 2005.
4. Прибор приемно-контрольный и управления автоматическими средствами пожаротушения и оповещателями «С2000-АСПТ». Руководство по эксплуатации. 2015.
5. Автоматическое газовое пожаротушение. Рабочая документация. Основной комплект рабочих чертежей. 2016.
6. Управление установками газового пожаротушения А.В. Меркулов, С.Н. Сергеев, А.Н. Мотов. 2004.
7. FIREMAN.CLUB [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/optiko-elektronnyie-pozharnyie-izveshhateli/> (электронный ресурс).

# ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ НАДЗОРА ЗА ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ БЕЛОРУССКОЙ АЭС

Серов Д.О., студент гр.944101

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

Дробот С.В. – доцент кафедры электроники

**Аннотация.** Сотрудник Белорусской АЭС вводит значения показателей безопасности, оценки по каждой системе (элементу) энергоблоку в соответствии с критериями оценивания. Система автоматически рассчитывает расстояние до точки наихудшего события, и сохраняет значения в БД. Далее сотрудник может оценить существующие показатели в БД в виде таблиц, графика.

**Ключевые слова.** Информационная система, БелАЭС, Java, Spring Framework.

В данной работе рассмотрено проектирование и реализация информационной системы для организации надзора за ядерной и радиационной безопасностью Белорусской АЭС. Информационная система – система, предназначенная для хранения, поиска и обработки информации, и соответствующие организационные ресурсы, которые обеспечивают и распространяют информацию.

Основной задачей разрабатываемой системы является хранения, обработка показателей безопасности Белорусской АЭС. Прогнозирование расстояния до наихудшего события на основе имеющихся данных, также данная система будет обладать важным функционалом, а именно ранжирование списка систем (элементов) энергоблоков.

Целью работы является разработка информационной системы, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов.

Область применения: информационная система является узконаправленной, и преимущественно будет использоваться на Белорусской АЭС.

Экономическая эффективность/значимость работы: работа является конкурентоспособной и экономически выгодной.

Данная система для организации надзора за ядерной и радиационной безопасностью позволяет организовать хранения данных более централизованно, с минимальным количеством рисков при формировании отчетов, прогнозирование показателей безопасности.

Ее применение позволяет:

- минимизировать количество ошибок;
- изучать получение ранее данные по показателям безопасности, системам (элементам) в виде графиков, таблиц;
- ранжировать список систем (элементов) на основе имеющихся данных с целью выявить система на которые требуется обратить внимание;
- сократить оборот хранения бумажного документооборота.

Преимущества данной системы следующие:

- уникальность;
- легкость применения;
- автоматизация;
- экономия времени;
- большая область применения;
- актуальность.

Разработка информационной системы можно разделить на две части, а именно: серверная и клиентская часть. Серверная часть подразумевает под собой разработку схемы базы данных, API.

**Список использованных источников:**

1. Черепица, С.В. Электронная система контроля качества и управления запасами горючих и смазочных материалов «E-lab ГСМ» / С.В. Черепица [и др.]; НИИ ЯП БГУ. – Мн., 2013. – 85 с. : 78 илл. – Рус. – Деп. в ГУ «БелИСА» 26.03.2013 г., № Д201310.
2. Фаулер, М. Архитектура корпоративных программных приложений. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. – 544 с. .
3. Сытова, С.Н. Свободное программное обеспечение в области ядерной и радиационной безопасности / С.Н. Сытова [и др.]. // Программа и тезисы докладов VI Межд. Конф. «Ядерные технологии XXI века» (Минск 25–27 октября 2016) / ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси». – Минск: Право и экономика, 2016. – С. 21. 7. Сытова, С.Н. Фреймворк eLab для широкого круга приложений / С.Н. Сытова [и др.]. // Фундаментальные и прикладные физические исследования. 2010–2016 гг. – Минск: Изд-во БГУ, 2016. – С. 388-399.
4. Сытова С.Н., Дунец А.П., Коваленко А.Н., Мазаник А.Л., Сидорович Т.П., Черепица С.В. Белорусское программное обеспечение для автоматизации процессов контроля (надзора) в области ядерной и радиационной безопасности. Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2017;1(3):260-270.
5. Padmanabhan, S. Block oriented processing of relational database operations in modern computer architectures [S. Padmanabhan, T. Malkemus, R. Agarwal, A. Jhingran // Proc. of the 17th International Conference on Data Engineering, April 2-6, 2001. Heidelberg, Germany. IEEE Computer Society, 2001. – P. 567-574.

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВЫМ КОТЛОМ НА ПРЕДПРИЯТИИ «ПИНСКГАЗ»

Стадник Н.В., студент гр.944101

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

Сацук С.М. – доцент, заведующий кафедрой электроники

**Аннотация.** Нынешние отопительные котлы и водонагреватели уже нельзя назвать обычными печками, функции которых ограничиваются в способности нагрева воды. Настенные котлы и водонагреватели оснащены надежной защитной автоматикой и имеют системы управления горелкой, обеспечивающие экономный расход газа. Современные бытовые котельные агрегаты имеют возможность установки на них погодозависимой автоматики или комнатного термостата с возможностью недельного программирования режима работы котла. Датчики уличной температуры и комнатный температурный термостат позволяют оперативно реагировать на изменение температуры на улице и внутри дома.

**Ключевые слова.** Котёл, газ, датчики, нагрев, система.

По назначению газовые котлы делятся на две разновидности – одноконтурные или двухконтурные. Первые используются только для обогрева жилья, вторые могут одновременно отапливать дом и подогревать воду для нужд ГВС.

Газовые котлы могут устанавливаться на пол или подвешиваться на стену. Напольные модели имеют широкий диапазон регулировки мощности и часто используются для обогрева больших помещений (до 200–300 м<sup>2</sup>). Эти устройства заметно тяжелее, требуют больше места и отдельного помещения для установки (обычно для них обустраивают котельную).

Настенные модели отличаются компактностью и малым весом. Их можно монтировать с размещением на стене либо в специальной раме. Однако они обладают меньшей мощностью и обычно оснащаются стальными теплообменниками, которые с течением времени имеют свойство поддаваться коррозии и деформации.

Стандартный водогрейный котел Vitoplex 100 характерного для фирмы Viessmann высокого качества убеждает надежностью работы и выгодным соотношением «цена-производительность». Преимуществом котла является компактность конструкции, облегчающая его подачу на место установки и позволяющая обходиться малой монтажной высотой.

Благодаря большому водонаполнению котла Vitoplex 100 достигается увеличение длительности включенного состояния горелки. Это позволяет снизить частоту коммутации и уменьшить вредное воздействие на окружающую среду.

Котел отопления, эксплуатируемый на жидком и газообразном топливе, имеет диапазон тепловой мощности от 150 до 2000 кВт. Котел с установочной плитой для монтажа горелки:

- Экономичная работа в режиме теплогенерации с варьирующейся температурой теплоносителя;
- Возможность увеличения КПД котла посредством использования утилизатора уходящего газа из высококачественной нержавеющей стали Vitotrans 300;
- Отсутствуют ограничения по минимальным затратам теплового носителя через котел – значительные расстояния между жаровыми трубками и большая емкость котлового блока создают высокую естественную циркуляцию и обеспечивают эффективный теплосъем;
- Двухходовая конструкция котла с низким значением теплонпряженности камеры сгорания позволяет минимизировать объемы выделяющихся окислов азота;
- Благодаря компактным габаритам котла упрощается его монтаж, а также экономится площадь при модернизации установки или сервисном обслуживании;

### Список использованных источников:

1. Москаленко, А. А.; Коробский, В. А.; Кулаков, Г. Т.; Кулаков, А. Т. (1986) Автоматическая система регулирования температуры пара котлоагрегата : а. с. 1224503 СССР : МПК4 F22G5/00 / А. А. Москаленко [и др.]
2. Кулаков, Г. Т.; Назаров, В. И. (1991) Автомат-настройщик двухконтурных систем регулирования с опережающим сигналом : а. с. 1624245 СССР : МПК5 F22G4/12 / Г. Т. Кулаков
3. [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <https://100kotlov.by/blog-section/odnokonturnyi-ili-dvuhkonturnyi-gazovyi-kotel/> (электронный ресурс).
4. [Электронный ресурс]. // Режим доступа: [https://kotel-viessmann.com/uploads/images/instruction/instr\\_montazhVitoplex.pdf](https://kotel-viessmann.com/uploads/images/instruction/instr_montazhVitoplex.pdf) (электронный ресурс).
5. [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <https://www.teplodvor.by/shop/kotly/gazovye/odnokonturnye-gazovye-kotly/nastennye/> (электронный ресурс).
6. [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <https://home-tehno.ru/ratings/luchshie-nastennye-gazovye-kotly/> (электронный ресурс).

# СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСАМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Толкачева Е.Ю., студентка гр.944101

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

Глецевич П.О. – старший преподаватель кафедры электроники

**Аннотация.** Процесс работы системы контроля и управления энергоресурсами заключается в эффективном использовании энергетических ресурсов и уменьшение затрат на электричество. Эффективным средством экономии стал датчик света. Он измеряет шумы и автоматически включает освещение в помещении. В состав датчика света входит микрофон, который считывает звук и передает его в преобразователь звукового сигнала. После происходит усиление сигнала, который включает таймер за счет зарядки конденсатора. В этот момент происходит подача тока на оптоэлектронное реле, которое замыкает плечо диодного моста. В конце происходит загорание лампочки с последующим выключением в течении двух минут после прекращения звуков.

**Ключевые слова.** Энергоресурсы, датчик света, таймер, звук.

В данном проекте рассмотрена разработка системы контроля и управления энергоресурсами на предприятии на основе автоматического акустического датчика освещения. Звуковой датчик света — это система, позволяющая осуществлять постоянное включение или выключения света за счет подачи звукового сигнала на микрофон.

Основной задачей подобной системы является обеспечение света в помещении и уменьшение затрат на электричество за счет сокращения потребляемых ресурсов.

Целью работы является проведение комплексных инженерных исследований, включая поиск необходимой информации, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов.

Область применения: устройство предназначено для эксплуатации в помещениях с большой проходимостью, например, на лестничных площадках или в подсобных помещениях.

Экономическая эффективность/значимость работы: работа является конкурентоспособной и экономически выгодной.

Система автоматического освещения срабатывают в тот момент времени, когда в помещении находится человек, тем самым автоматизируют процесс подачи света. С точки зрения проходимость помещений на предприятии, оптимальным и дешевым решением будет использование акустического автоматического включателя освещения.

Краткий механизм работы:

- 1 В помещении появляется человек, создающий шум.
- 2 Микрофон считывает звуковой сигнал.
- 3 Он поступает на преобразователь и далее на усилитель сигнала.
- 4 Происходит включение таймера, и лампочка загорается.
- 5 После того как человек покинул помещение, проходит примерно две минуты с момента последнего звукового сигнала, и лампочка гаснет.

Применение системы позволяет:

- улучшить и упростить освещения предприятия;
- создавать удешевленный и простой механизм устройства;
- обеспечивать непрерывную подачу света для эффективной работы сотрудников;
- экономить электричество.

**Список использованных источников:**

1. Забелло Е.П., Булах В.Г., Качалко А.С. Автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов // Минск БГАТУ. 2016.
2. Лоскутов А.Б., Гардин А.И., Лоскутов А.А. Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии // Типография НГТУ. 2018.
3. Яцук А.Н., Сычёва Ю.С. Система автоматизированного проектирования Altium Designer // Минск РИПО. 2018.
4. Уваров Д.С. P-CAD. Проектирование и конструирование электронных устройств // Горячая линия – Телеком. 2004.
5. Кашкаров А.П. Электронные устройства для уюта и комфорта // ДМК Пресс. 2010.
6. Датчик звука для автоматического включения света [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <https://osensorax.ru/posiciya/datchik-zvuka-dlya-vklyucheniya-sveta>.
7. Рекомендация по выбору звукового датчика для включения освещения по хлопку [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <https://forte-drilling.ru/ustrojstva/datchik-zvuka-dlya-vklyucheniya-sveta.html>.
8. Роль энергетических ресурсов в современной мировой экономике [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <https://www.evkoval.org/rol-energeticheskikh-resursov-v-sovremennoj-mirovoj-ekonomike-suschnost-i-vidyi>.

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ АЭС С ВВЭР

Яковлев А.П., студент гр.944101

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

Стома С.С. – ассистент кафедры электроники

**Аннотация.** Одной из поддерживающих систем СКУ ВХР является система приготовления и подачи химических реагентов для поддержания ВХР 1-го контура (10КВД-1), частью которой является процесс подачи аммиака в теплоноситель. Данный процесс основывается на датчиках уровня баков и давления на напоре насосов. Они измеряют уровень жидкости и давления и отправляют эти данные в ТПТС. Далее ТПТС обрабатывает данные. Затем, в случае выполнения необходимых условий, ТПТС отправляет сигнал на задвижки и насосы. В зависимости от подаваемого сигнала система решает открыть/закрыть задвижку или включить/выключить насос.

**Ключевые слова.** Датчик уровня баков, задвижка, ВХР, аммиак.

В данной работе рассмотрена разработка системы, отвечающей за процесс подачи аммиака в теплоноситель из системы 10КВД-1 на основе датчиков уровня и давления. Система по подаче аммиака — это система, позволяющая осуществлять постоянный контроль и управление подачи аммиака на протяжении необходимого периода времени.

Основной задачей подобной системы является поддержание теплоносителя в нужном качестве, когда происходит поступление в него примесей, за счёт подачи в него аммиака в необходимом количестве.

Целью работы является проведение исследований, включая поиск необходимой информации, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов.

Область применения: система предназначена для работы в составе системы приготовления и подачи химических реагентов для поддержания ВХР 1-го контура.

Экономическая эффективность/значимость работы: работа является конкурентоспособной и экономически выгодной.

Система подачи аммиака позволяет автоматически контролировать уровень аммиака в баках, подачу его в теплоноситель и избегать возможных проблем при превышении установленных норм безопасности.

Ее применение позволяет:

- обеспечить большую безопасность всего объекта;
- обеспечивать необходимое количество аммиака для теплоносителя;
- экономить потребление аммиака.

Преимущества данной системы следующие:

- автоматизация;
- экономия времени;
- безопасность;
- актуальность.

Система подачи аммиака в теплоноситель состоит из трёх уровней. Наглядно данные уровни представлены на структурной схеме системы рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурная схема системы подачи аммиака в теплоноситель

Обзор связей схемы:

1 Датчики уровня баков и датчики давления на напоре насосов обеспечивают проведение автоматических измерений параметров технологического процесса и контроля состояния оборудования.

2 ТПТС-НТ обеспечивает прием и обработку данных автоматических измерений и контроля, поступающих с датчиков, обмен информацией с верхним уровнем АСУТП, осуществляет управление исполнительными механизмами (задвижками и насосами) согласно уставкам.

3 Верхний уровень АСУ ТП обеспечивает обработку информации, полученной с ТПТС-НТ, ее архивирование, документирование и представление оперативному персоналу БПУ и резервного пункта управления, осуществляет формирование команд автоматизированного управления быстродействующей задвижкой, обеспечивает передачу необходимой информации в сеть АСУТП, в систему верхнего общестанционного уровня для АРМ начальника смены станции и АРМ локального кризисного центра.

Алгоритм работы системы представлен на рисунке 2.

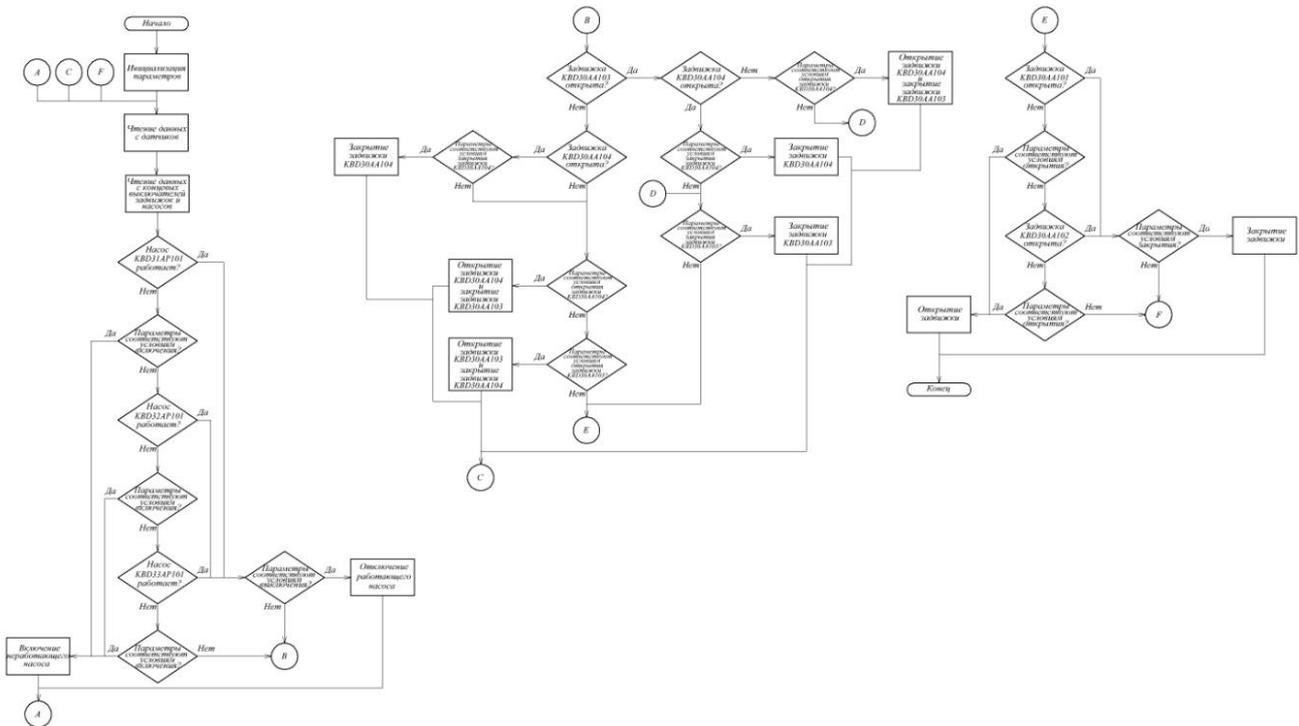


Рисунок 2 – Алгоритм работы системы подачи аммиака в теплоноситель

Алгоритм включает следующие этапы:

- 1 Заданы первоначальные параметры максимально или минимально допустимых значений для каждого из датчиков.
- 2 Получение информации с датчиков, таких как: уровень жидкости в ёмкости баков, давление на напоре насосов.
- 3 Получение информации с концевых выключателей задвижек и насосов, таких как: «Открыто», «Закрыто» или «Включён», «Выключен».
- 4 В зависимости от механизма, в соответствии с уставками, происходит определённые действия, описанные в алгоритме

**Список использованных источников:**

1. Программно-технические комплексы на базе программно-технических средств ТПТС-НТ для АСУ ТП / А. Д. Нарци, Д. С. Тимохин, Е. Ю. Маликова – Москва: ВНИИА, 2013. – 333 с.
2. Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС: учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальностей 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции», 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций» / В. А. Чиж [и др.]. – Минск : БНТУ, 2015. – 105 с.
3. Создание и внедрение систем контроля и управления водно-химическим режимом (СКУ ВХР) для АЭС с ВВЭР – важное направление повышения их эксплуатационной надёжности и безопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gidRopRes.podolsk.Ru/files/pRocEEdings/mntk2013/documents/mntk2013-190.pdf>.
4. Воронов, В. Н. Химико-технологические режимы АЭС с водо-водяными энергетическими реакторами : учеб. пособие для вузов / В. Н. Воронов, Б. М. Ларин, В. А. Сенина. – М. : Издательский дом МЭИ, 2006 – 390 с.

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЛИНИЯ ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА

Янцевич А.В., студент гр.944101

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

Стома С.С. – ассистент кафедры электроники

**Аннотация.** Процесс работы автоматической системы пастеризации молока начинается с заправки продукта в балансный танк. Далее молоко центробежным насосом закачивается в секцию теплообменника, где оно нагревается до необходимой температуры путем теплообмена. После выдерживается необходимое время пастеризации. После линии выдержки молоко проверяется на качество. В случае не удовлетворения нормам оно сбрасывается в балансный танк и заново проходит контур. После пастеризации молоко охлаждается и поступает дальше на производство.

**Ключевые слова.** Пастеризация, программируемый логический контроллер, молоко.

В данной работе рассмотрено проектирование автоматической системы пастеризации молока (молочных продуктов) на основе теплообменного оборудования. Автоматическая система пастеризации молока — это система, позволяющая осуществлять обработку молока и уничтожение бактерий путем температурного нагрева.

Основной задачей подобной системы является обеспечение температурной обработки молока (молочных продуктов) в заданном объёме с целью уничтожения болезнетворных бактерий.

Целью работы является проведение комплексных инженерных исследований, включая поиск необходимой информации, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов.

Область применения: устройство предназначено для предприятий молочной промышленности.

Экономическая эффективность/значимость работы: работа является конкурентоспособной и экономически выгодной.

Существует несколько методов пастеризации молока:

1 Длительная пастеризация при 65 °С длительностью около получаса;

2 Кратковременная пастеризация при 72 °С длительностью около 20 секунд;

3 Высокотемпературная пастеризация при 85 °С без выдержки;

4 Ультравысокотемпературная пастеризация. Изначально нагревают до 70 °С, далее до 135-150 °С, после чего моментально охлаждают;

Вся система управляется программируемым логическим контроллером SIMATIC ET 200SP. К нему подключаются датчики давления, температуры, положения, а также элементы управляющей арматуры и насосы. Программируемый логический контроллер общается с датчиками и анализирует полученную информацию. В случае изменения каких-то входных параметров могут открываться или закрываться клапаны, включаться в работу насосы.

Краткий принцип работы:

6 Сырое молоко подается в балансный танк..

7 Центробежным насосом молоко подается в теплообменник.

8 В первых трёх секциях идет нагрев молока до температуры пастеризации путём теплообмена.

9 При достижении температуры пастеризации молоко выдерживается определённое время для уничтожения болезнетворных бактерий.

10 После того, как молоко прошло линию выдержки, оно проверяется на качество. В случае несоответствия молоко сбрасывается в балансный танк, где опять проходит контур пастеризации.

11 Молоко, удовлетворяющее всем нормам, охлаждается в секциях теплообменника до низкой температуры и далее попадает уже на производство.

### Список использованных источников:

1. Петров И. К., Солошенко М. М., Царьков В. А. Приборы и средства автоматизации для пищевой промышленности. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. - 416 с.
2. Фарзана Н. Г., Ильясов Л. В., Азим-заде А. Ю. Технологические измерения и приборы: Учебник для студентов вузов по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств». - М.: Высш. шк., 1989. - 456 с.
3. Тихомирова Н. А. Технология и организация производства молока и молочных продуктов / Н. А. Тихомирова. - М. : ДеЛи принт, 2007. - С. 68, 71 - 72.
4. Бредихин С. А. Технология и техника переработки молока / С. А. Бредихин, Ю. В. Космодемьянский, В. Н. Юрин. - М. : Колос, 2003. - С. 141- 144, 180 - 184.
5. Богатова О. В. Химия и физика молока / О. В. Богатова, Н. Г. Догарева. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. - С. 85, 112 - 113.
6. Шальгина А. М. Общая технология молока и молочных продуктов / А. М. Шальгина, Л. В. Калинина. - М. : КолосС, 2004. - С. 149, 152 - 155.
7. Буянова И. В. Технология цельномолочных продуктов / И. В. Буянова. - Кемерово: Кемеровский ТИПП, 2004. - С. 16.

## ИЗМЕРИТЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Пинчук Е.В., студентка гр.944101

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

Глецевич П.О. – старший преподаватель кафедры электроники

**Аннотация.** Процесс работы измерителя параметров окружающей среды заключается в поочередном измерении параметров воздуха двумя аналоговыми датчиками температуры, температуры и влажности цифровым датчиком, температуры и давления цифровым датчиком и содержание углекислого газа в воздухе. Измерения передаются в микроконтроллер, а потом выводятся на дисплей.

**Ключевые слова.** Микроконтроллер, датчик температуры, датчик температуры и давления, датчик температуры и влажности, датчик концентрации углекислого газа.

В данном проекте рассмотрена проектирование измерителя параметров окружающей среды на основе аналоговых и цифровых датчиков температуры, давления, влажности и содержания углекислого газа в воздухе.

Основной задачей подобного устройства является контроль соблюдения санитарных норм в жилых и рабочих помещениях, а также для контроля соответствия производственных процессов технологическим требованиям.

Целью работы является проведение комплексных инженерных исследований, включая поиск необходимой информации, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов.

Область применения: устройство предназначено для эксплуатации в жилых и рабочих помещениях.

Экономическая эффективность/значимость работы: работа является конкурентоспособной и экономически выгодной.

Краткий принцип работы:

- 12 Включается прибор.
- 13 Измеряются параметры воздуха поочередно датчиками TMP36GT9, MH-Z19B, BMP180, DHT22.
- 14 Измерения передаются на микроконтроллер PIC16F873A.
- 15 Выводятся результаты на дисплей.

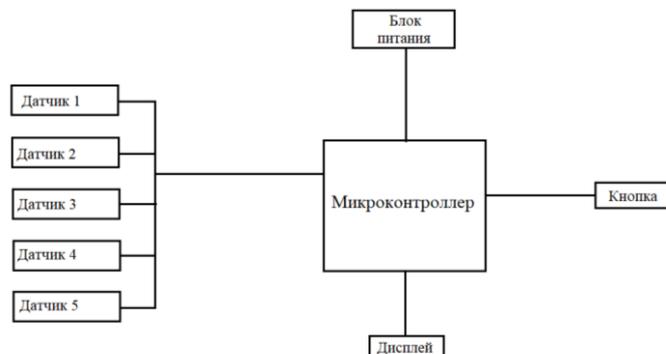


Рисунок 1 – Структурная схема измерителя параметров окружающей среды

### Список использованных источников:

1. PIC16F87XA. Data Sheet. 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <http://akizukidenshi.com/download/PIC16F87XA.pdf>.
2. Лукьянов Г.Н. Сенсоры и датчики физических величин // Санкт-Петербург. 2020.
3. Яцук А.Н., Сычёва Ю.С. Система автоматизированного проектирования Altium Designer // Минск РИПО. 2018.
4. Уваров Д.С. P-CAD. Проектирование и конструирование электронных устройств // Горячая линия – Телеком. 2004.
5. Ананьева Н.Г., Ананьева М.С., Самоёлов В.Н. Датчики. Измерение температуры // Москва: ООП Физического факультета МГУ. 2015.
6. Датчик влажности и температуры [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <https://iarduino.ru/lib/DHT22.pdf>.
7. Документация WH1602B-УУН-СТК [Электронный ресурс]. // Режим доступа: <https://www.compel.ru/pdf-items/winstar/pn/wh1602b-yyh-ctk/4bb3649ba61d900544d212b46af5b91e>.
8. Датчик углекислого газа (MH-Z19B) [Электронный ресурс]. // Режим доступа: [https://www.winsen-sensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z19c-pins-type-co2-manual-ver1\\_0.pdf](https://www.winsen-sensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z19c-pins-type-co2-manual-ver1_0.pdf).