

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ НАУЧНЫХ КАДРОВ  
ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ

СЕКТОР СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУКИ

---

**56-я** НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
АСПИРАНТОВ, МАГИСТРАНТОВ И СТУДЕНТОВ

---

**РАДИОТЕХНИКА  
И ЭЛЕКТРОНИКА**

---

Апрель, май 2020 года

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Минск БГУИР 2020

## **Комиссия конференции «Радиотехника и электроника»:**

- Короткевич А.В. – декан ФРЭ, канд. техн. наук, доцент, председатель комиссии по организации и проведению конференции «Радиотехника и электроника»;
- Мурашкина З.Н. – зам. декана по НИРС ФРЭ, ответственный за подготовку, выпуск программы и электронного сборника тезисов докладов конференции «Радиотехника и электроника»;
- Борисенко В.Е. – д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. каф. МНЭ;
- Листопад Н.И. – д-р техн. наук, профессор, зав. каф. ИРТ;
- Сацук С.М. – канд. техн. наук, доцент, зав. каф. электроники;
- Глецевич П.О. – ассистент каф. электроники;
- Кашкин А.Ю. – ассистент каф. ИРТ;
- Хорошко Л.С. – канд. физ.-мат. наук, доцент каф. МНЭ.

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

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

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

- Председатель – д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. каф. МНЭ  
Борисенко В.Е.;
- Члены жюри – д-р физ.-мат. наук, профессор Абрамов И.И.;
- д-р физ.-мат. наук, доцент Мигас Д.Б.;
- канд. техн. наук, доцент Стемпицкий В.Р.;
- Секретарь – ст. преподаватель Ловшенко И.Ю.

### **Секция «Электроника»:**

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

## Содержание

<b>1. Структуризация молекул воды на границе раздела «металл-вода»</b> <i>Скавыш Ю.О., Лещинская А.В.</i> .....	13
<b>2. Релаксационные процессы в деионизованной воде в килгерцовом диапазоне</b> <i>Скавыш Ю.О., Лещинская А.В.</i> .....	15
<b>3. Особенности проведения измерений оптических покрытий методом абсорбционной спектроскопии</b> <i>Кисель Д.С.</i> .....	17
<b>4. Свойства пленок нитрида кремния, полученных методом химического осаждения из газовой фазы с применением плазмы</b> <i>Николаенко С.П., Леонович Н.В.</i> .....	19
<b>5. Схемотехническое моделирование дельта-сигма АЦП</b> <i>Демиденко Е.В., Жарин А.Е.</i> .....	20
<b>6. Токоперенос по ловушечным состояниям в оксиде молибдена</b> <i>Курапцова А.А.</i> .....	21
<b>7. Электронные свойства нанотрубок силицида кальция</b> <i>Алексеев А.Ю.</i> .....	23
<b>8. Исследование теплопроводности &lt;011&gt;-ориентированных наножуров Si/Ge со структурами типа ядро-оболочка и сегментного типа</b> <i>Холяво И.И., Хомец А.Л., Сафронов И.В.</i> .....	25
<b>9. Влияние морфологии на теплопроводность тонких плёнок SiGe</b> <i>Хомец А.Л., Холяво И.И., Сафронов И.В.</i> .....	27
<b>10. Металл-стимулированное химическое травление кремния с использованием дендритов серебра</b> <i>Гревцов Н.Л.</i> .....	29
<b>11. Деградация характеристик МОП-структур в условиях накопления заряда в подзатворном диэлектрике на основе двуокиси кремния</b> <i>Писаренко Н.С.</i> .....	31
<b>12. Методы повышения эффективности тонкопленочных фотовольтаических солнечных элементов</b> <i>Никонов Ф.Д., Селезнев А.С., Шлык И.Р.</i> .....	32

<b>13. Формирование анодного наноструктурированного пористого оксида титана для фотокаталитических покрытий</b> <i>Тихонов И.А., Коренькова С.Ю.</i> .....	34
<b>14. Формирование композитных материалов на основе наночастиц оксида цинка в диэлектрической матрице</b> <i>Коренькова С.Ю., Тихонов И.А.</i> .....	36
<b>15. Исследование динамики распространения теплового потока в оксидных подложках из ситалла</b> <i>Лушпа Н.В.</i> .....	38
<b>16. Электродная структура на базе углеродных нанотрубок для планарного микросуперконденсатора</b> <i>Кукуть Ю.М.</i> .....	39
<b>17. Равномерность электрохимического окисления металлических плёнок на диэлектрических подложках</b> <i>Рабатуев Г.Г.</i> .....	41
<b>18. Система обработки данных в технологии Интернета вещей</b> <i>Галынин Т.Е.</i> .....	43
<b>19. Моделирование плёночных фотонных кристаллов для оптических приложений</b> <i>Волк Д.И.</i> .....	45
<b>20. Методика оценки стабильности СВЧ нагрева конденсированных сред</b> <i>Максимов С.Е.</i> .....	46
<b>21. Комплексная диэлектрическая проницаемость монослоя графена в магнитном поле в терагерцовом диапазоне частот</b> <i>Фельшерук А.В.</i> .....	48
<b>22. Плазменная обработка металлов</b> <i>Ткачёва Я.Н., Аксючиц А.В.</i> .....	50
<b>23. Управление поверхностными свойствами полиметилметакрила в плазме диэлектрического барьерного разряда</b> <i>Вербицкая М.С., Жидкина Н.В., Запорожченко Ю.В.</i> .....	52
<b>24. Исследование технологического процесса обработки поверхности стекла в плазме диэлектрического барьерного разряда</b> <i>Жидкина Н.В., Вербицкая М.С., Яцевич Е.В., Аксючиц А.В.</i> .....	54

<b>25. Формирование оптически стойких покрытий на основе оксида кремния</b>	
<i>Дуцник А.И.</i> .....	56
<b>26. Влияние электрического поля на текучесть сырой нефти в трубопроводе</b>	
<i>Аль-ани А.А.А., Рабатуев Г.Г.</i> .....	57
<b>27. Влияние наночастиц на вязкость сырой нефти</b>	
<i>Аль-ани А.А.А., Рабатуев Г.Г.</i> .....	59
<b>28. Детекция и анализ рака кожи с использованием рамановской спектроскопии</b>	
<i>Швед Е.И.</i> .....	60
<b>29. Химическое и физическое осаждение серебра на кремниевые нанонити для поверхностно-усиленной рамановской спектроскопии</b>	
<i>Клименко А.В., Гурбо А.Д.</i> .....	62
<b>30. Исследование условий формирования анодного оксида титана, обеспечивающих отрицательный встроенный электрический заряд</b>	
<i>Кольченко К.Т., Томашевич Л.П., Кисель А.А., Манцевич Д.А.</i> .....	63
<b>31. Формирование и исследование фотокаталитической активности наноструктур на основе оксида меди</b>	
<i>Богушевич А.М.</i> .....	64
<b>32. Тенденции развития технологий корпусирования микросхем</b>	
<i>Гармилин Е.В.</i> .....	66
<b>33. Аналоговый интерфейс кремниевых фотоэлектронных умножителей с большим динамическим диапазоном</b>	
<i>Галкин Я.Д., Кунц А.В.</i> .....	68
<b>34. Электрохимическое осаждение фотокаталитических покрытий оксида цинка с добавлением примеси меди</b>	
<i>Ткачёнок Н.М.</i> .....	69
<b>35. Аномальное поведение эквивалентной емкости пьезорезонатора</b>	
<i>Ковалёва М.А., Григорьев А.С.</i> .....	71
<b>36. Исследование процесса формирования пористого алюминия электрохимическим анодированием для создания конденсаторов повышенной емкости</b>	
<i>Томашевич Л.П., Кольченко К.Т., Кисель А.А., Манцевич Д.А.</i> .....	73

<b>37. Квантовая емкость ультратонких топологических изоляторов</b> <i>Зайцев В.А.</i> .....	74
<b>38. Методика расчета магнитной ловушки при проектировании магнетронного распылительного устройства</b> <i>Бездников М.С., Шекелевский В.В.</i> .....	76
<b>39. Управление свойствами поверхности органических материалов посредством обработки в плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении</b> <i>Шабуневич Н.В.</i> .....	78
<b>40. МЭМС-индуктор на основе анодного оксида алюминия</b> <i>Звонова А.Д.</i> .....	80
<b>41. Исследование газодинамического потока в реакторе осаждения диэлектрических слоев на основе кремния</b> <i>Занько А.И., Леонович Н.В.</i> .....	81
<b>42. Автоматизация обработки результатов рентгенодифракционного анализа наноматериалов</b> <i>Крол М.А.</i> .....	82
<b>43. Схемотехника управления проекционным емкостным сенсорным экраном</b> <i>Радевич А.Ю.</i> .....	83
<b>44. Морфологические и оптические свойства тонких пленок <math>Al_2O_3</math>, получаемых золь-гель методом</b> <i>Парафинюк Д.А., Лашковская Е.И.</i> .....	85
<b>45. Метод расчета профиля зоны эрозии мишени магнетронной распылительной системы</b> <i>Шекелевский В.В., Бездников М.С.</i> .....	87
<b>46. Влияние температуры на выходные параметры зарядочувствительного усилителя</b> <i>Галкин Я.Д., Кунц А.В.</i> .....	89
<b>47. Влияние параметров синтеза макропористого кремния на смачивание его поверхности растворами меламина</b> <i>Кастевич А.А.</i> .....	91
<b>48. Способ снижения потерь в магнитопроводе синхронного двигателя с постоянными магнитами в режиме ослабления</b>	

<b>потока</b>	
<i>Кастевич А.А.</i> .....	93
<b>49. Аппаратно-методический комплекс «Функциональные блоки датчиков физических величин»</b>	
<i>Аксинчиц П.В.</i> .....	94
<b>50. Получение пленок диоксида кремния в плазме атмосферного разряда</b>	
<i>Бруцкая А.О., Аксючиц А.В.</i> .....	96
<b>51. Физико-механические процессы в зоне контакта инструмента и изделия при горячем ультразвуковом плющении в вакууме</b>	
<i>Степовой А.О.</i> .....	98
<b>52. Влияние конфигурации и размеров структур на поверхности подложки на протекание над ней жидкости</b>	
<i>Яцкевич П.А.</i> .....	99
<b>53. Полупроводниковый детектор ядерного излучения</b>	
<i>Рощенко П.С.</i> .....	100
<b>54. Методика проведения спектроскопических исследований плазмы</b>	
<i>Логунов К.Т., Аксючиц А.В.</i> .....	102
<b>55. Электронные и магнитные свойства перовскитов <math>ABO_3</math> (A – Ca, Ce, Y, Na; B – Ti, Nb, Fe, Mn, Ta; O)</b>	
<i>Проскурова П.А.</i> .....	104
<b>56. Сенсорные устройства для оценки токсичности наноматериалов</b>	
<i>Деменковец М.О.</i> .....	106
<b>57. Физическое прототипирование микропроцессорных устройств</b>	
<i>Францкевич К.Э.</i> .....	108
<b>58. Радиопетличный микрофон с системой шумоподавления</b>	
<i>Артюшевский Е.О.</i> .....	110
<b>59. Программа для моделирования и проектирования радиоприемного тракта</b>	
<i>Архипенков Д.В., Лощинин И.В.</i> .....	111
<b>60. Веб-приложение «Боно» для обучения функциональному тестированию сотрудников компании A1QA</b>	
<i>Афанасова Д.С.</i> .....	113

<b>61. Методическое обеспечение оценки угроз и рисков информационной безопасности систем “Умный дом”</b> <i>Богдан Д.С.</i> .....	114
<b>62. Автоматизированная система учета картриджей</b> <i>Богданович П.С.</i> .....	19
<b>63. Электронный образовательный ресурс по предмету «Допризывная подготовка»</b> <i>Богомолова Ю.Н.</i> .....	117
<b>64. Научно-педагогическая деятельность магистрантов: формирование универсальных компетенций</b> <i>Бущик Е.А.</i> .....	19
<b>65. Моделирование свойства агента транспортной системы</b> <i>Воронцов А.Н.</i> .....	19
<b>66. Двухэтапный алгоритм оценивания угловых координат для РЛС со сканирующей многоканальной антенной системой</b> <i>Ву Тхань Ха</i> .....	19
<b>67. Оценка точности квазиоптимальных радиолокационных измерителей угловых координат со сканирующей многоканальной антенной системой</b> <i>Ву Тхань Ха</i> .....	19
<b>68. Организация контроля доступа на базе SRD технологии</b> <i>Гадалов М.С.</i> .....	19
<b>69. Синхронизация данных мобильного приложения с данными веб-сайта</b> <i>Герад А.С., Медведева М.В.</i> .....	19
<b>70. Совершенствование устройства формирования карты местных предметов РЛС МП</b> <i>Глебик Д.В.</i> .....	19
<b>71. Алгоритм работы устройства формирования карты местных предметов РЛС МП</b> <i>Глебик Д.В.</i> .....	19
<b>72. Построение устройства определения частоты средства радиомониторинга на базе меандр-фильтров с субдискретизацией сигналов</b> <i>Глинка П.А.</i> .....	19
<b>73. Беспроводная система сбора данных фотоплетизмографии</b> <i>Горчаков В.Н.</i> .....	19

<b>74. Алгоритмы идентификации каналов управления БПЛА с использованием аппарата нейронных сетей</b>	
<i>Гражданкин С.П., Зайко А.М.</i> .....	19
<b>75. Анализ методов синтеза лестничных согласующих цепей</b>	
<i>Гузак И.С.</i> .....	19
<b>76. Проблема взаимодействия специалистов при разработке программного обеспечения в IT-компаниях</b>	
<i>Гуща А.В.</i> .....	19
<b>77. Извлечение алгоритмов быстрого декодирования низкоскоростных кодов</b>	
<i>Дворникова Т.Н.</i> .....	19
<b>78. Веб-приложение «SINGLE SIGN ON» для доступа к учетным данным пользователя active directory</b>	
<i>Дергай И.С.</i> .....	19
<b>79. Веб-портал волонтерской помощи «Volunteer.by»</b>	
<i>Давидюк Я.Ю.</i> .....	19
<b>80. Потенциальные возможности многоканальной системы с комбинационным уплотнением</b>	
<i>Динь Вьет Фьонг</i> .....	19
<b>81. Управление бизнес-процессами</b>	
<i>Дробыш А.Н.</i> .....	19
<b>82. Статические характеристики вакуумного нанотриода</b>	
<i>Жамойть А.Е.</i> .....	195
<b>83. Разработка систем передачи данных для SDR-платформ в среде MATLAB</b>	
<i>Зайко А.М., Гражданкин С.П.</i> .....	1947
<b>84. Модуль умножения частоты в диапазоне частот 25,86 – 37,5 ГГц</b>	
<i>Захаров И.А.</i> .....	1949
<b>85. Фоторезистивный метод изготовления печатных плат</b>	
<i>Иванченко В.О.</i> .....	1951
<b>86. Анализ эффективности сверхточных кодов по верхней границе вероятности битовой ошибки</b>	
<i>Илькевич В.А.</i> .....	1952

<b>87. Имитационная модель методов оценки пространственного спектра акустического сигнала</b> <i>Калин А.В.</i> .....	19
<b>88. Сравнительный анализ методов оценки пространственного спектра акустического сигнала</b> <i>Калин А.В.</i> .....	19
<b>89. Инновационные методы обучения микро- и наноэлектронике</b> <i>Карманова О.А.</i> .....	19
<b>90. Методы решения задачи обнаружения на основе динамики спектральной составляющей</b> <i>Космач Н. В., Рябцев П. Г.</i> .....	19
<b>91. Навигация мобильного робота</b> <i>Кукушкин А.В.</i> .....	19
<b>92. Программный модуль взаимодействия системы IP-телефонии ASTERISK и CRM-системы предприятия</b> <i>Кулешевич И.С.</i> .....	19
<b>93. Веб-приложение бизнес-мессенджер</b> <i>Куницкий П.В.</i> .....	19
<b>94. Алгоритмы оптимизации пропускной способности канала связи для защищенных систем передачи информации</b> <i>Кутья А.С.</i> .....	19
<b>95. Анализ вероятности ошибки сигналов QPSK и BPSK</b> <i>Ку Хоай Нам</i> .....	19
<b>96. Влияние аддитивного белого гауссовского шума на спектральную плотность QPSK</b> <i>Ку Хоай Нам</i> .....	19
<b>97. DGPS как элемент системы автоматического управления автомобилем</b> <i>Лабазанов Р.М.</i> .....	19
<b>98. Эмулятор прямого канала RFID системы УВЧ диапазона</b> <i>Лагодин А.А.</i> .....	19
<b>99. Адаптивное оценивание угловых координат цели в радиолокационном измерителе с многоканальной приемной системой</b> <i>Ле Ван Кыонг</i> .....	19

<b>100. Обнаружение высокоскоростных объектов при длительном некогерентном накоплении отраженного сигнала по радиолокационному изображению</b> <i>Ле Ван Кыонг</i> .....	19
<b>101. Особенности радиолокационного обнаружения высокоскоростных воздушно-космических летательных аппаратов</b> <i>Ле Ван Кыонг</i> .....	19
<b>102. Методы определения пространственных координат постановщиков активных помех в базово-корреляционных системах пассивной локации</b> <i>Лощинин И. В., Архипенков Д. В.</i> .....	19
<b>103. Моделирование и оптимизация ускоряющих резонаторов для линейных ускорителей протонов</b> <i>Лукьянчиков Е.А.</i> .....	19
<b>104. Беспорочный приемник псевдослучайных сигналов</b> <i>Лэ Дык Бао Тоан.</i> .....	19
<b>105. Оценка временного положения радиосигнала, экспериментальные исследования на модели</b> <i>Лэ Дык Бао Тоан.</i> .....	19
<b>106. Загрузчик программно-определяемых модулей</b> <i>Ляшук Ю. Я., Соколовский Д.В.</i> .....	19
<b>107. Оценка параметров сигнала с линейной частотной модуляцией по короткой цифровой выборке</b> <i>Манюкевич Е.А., Поболь А.Ю.</i> .....	190
<b>108. Логическое кодирование 8b/10b</b> <i>Марчук Т.М.</i> .....	192
<b>109. Моделирование перестраиваемого узкополосного преселектора диапазона ОВЧ</b> <i>Меледин К.И.</i> .....	194
<b>110. Разработка алгоритмов обнаружения для радара непрерывного ЛЧМ излучения</b> <i>Мицкевич А.С.</i> .....	196
<b>111. Управление процессом принятия решений при разработке программного обеспечения в IT компании</b> <i>Мусский А.И.</i> .....	198

112. **Алгоритмическая схема устройства адаптивной обработки принятого сигнала в подповерхностном радиолокаторе**  
*Нгуен Ван Зуи* . . . . . 200
113. **Сравнительный анализ эффективности алгоритмов обработки принятого сигнала в подповерхностных радиолокаторах**  
*Нгуен Ван Зуи* . . . . . 202
114. **Основные принципы и подходы к проектированию программного комплекса voip телефонии**  
Вершицкий К. А. . . . . 204
115. **Веб-сервис для организации деятельности отдела магистратуры учреждения образования «Белорусский Государственный Педагогический Университет им. Максима Танка»**  
*Новик О.В.* . . . . . 206
116. **Имитация сигнала систем радиочастотной идентификации при проведении экспериментальных исследований на электромагнитную совместимость**  
*Новикова А.А.* . . . . . 208
117. **Персонализация процесса обучения на основе модульного подхода**  
*Новоселов Н.А.* . . . . . 210
118. **Тестирование квантового генератора случайных чисел**  
*Пикуза М.О.* . . . . . 212
119. **Оценка времени прихода импульсных сигналов при независимых измерениях на приемных пунктах системы радиомониторинга**  
*Поболь А.Ю., Манюкевич Е.А.* . . . . . 214
120. **Значение эффективной отражающей поверхности для активного радиолокационного обнаружителя высокоскоростных воздушных целей**  
*Пунчик Е. П., Сидюк С. Г.* . . . . . 216
121. **ИМТ-2020: особенности приграничной координации с учетом земных станций С-диапазона**  
*Подворная Д. А.* . . . . . 218

<b>122. Как строить свою карьеру в сфере информационных технологий</b>	
<i>Прокопчук В. И.</i> .....	220
<b>123. Об аспектах разработки программного модуля интеграции страхования и обработки данных для системы онлайн кредитования</b>	
<i>Прокопчук В. И.</i> .....	222
<b>124. Автоматизированная система создания аптечных карт для медицинского представительства «S.C. ROMPHARM COMPANY S.R.L.» (румыния) в Республике Беларусь</b>	
<i>Самохвал А.А.</i> .....	224
<b>125. Веб-сервис анонимного поиска релевантных вакансий с учетом частичной анонимизации соискателя</b>	
<i>Сень П.А.</i> .....	226
<b>126. Алгоритм оценки технического уровня РЛС</b>	
<i>Сидюк С. Г., Пунчик Е. П.</i> .....	228
<b>127. Технология PLC (связь по ЛЭП)</b>	
<i>Снапко Р.Ю, Хомьук А.А.</i> .....	230
<b>128. Микропроцессорная система контроля электропривода промышленного оборудования</b>	
<i>Татарченко С.Н.</i> .....	231
<b>129. Система контроля работоспособности функциональных узлов роторного оборудования на основе анализа скейлограммы</b>	
<i>Толкач Р.В., Космач Н.В.</i> .....	233
<b>130. Веб-ресурс для создания и проведения социологических опросов</b>	
<i>Толстик В.Н.</i> .....	234
<b>131. Анализ вероятности ошибки сигналов при взаимном влиянии технологий MIMO</b>	
<i>Фам Хю Ань.</i> .....	236
<b>132. Защита персональных данных пользователей в процессе разработки веб-приложений</b>	
<i>Филиппов Н.С.</i> .....	238

<b>133. Учебно-исследовательский комплекс для подготовки специалистов в области радиационного контроля</b> <i>Цариков В.О.</i> .....	240
<b>134. Веб-сервис мультиссылок для доступа к социальным сетям и мессенджерам</b> <i>Чагина Е.А.</i> .....	241
<b>135. Веб-приложение учета рабочего времени сотрудников при помощи нейронных сетей</b> <i>Шопик Е.Р.</i> .....	243
<b>136. Синтез трансформирующих фильтров высших порядков диапазона сверхвысоких частот</b> <i>Юркин Ю.Т.</i> .....	244
<b>137. Методы синтеза согласующих цепей</b> <i>Юркин Ю.Т., Гузак И.С.</i> .....	246
<b>138. Анализ гармонических составляющих транзисторных автогенераторов</b> <i>Яковчук А.С.</i> .....	248
<b>139. RFID-системы УВЧ-диапазона</b> <i>Ярошук Е.В.</i> .....	250
<b>140. Система диагностики печатных узлов специальной аппаратуры</b> <i>Денис А.А.</i> .....	252
<b>141. Веб-приложение для автоматизации создания отчётов по проектам заказчиков</b> <i>Нескоромный Н.А.</i> .....	253
<b>142. Построение сети передачи цифровых данных для радиосети тактической связи</b> <i>Хачатурян А.А.</i> .....	255
<b>143. Использование игровых движков для моделирования физических процессов</b> <i>Волчек Д.В.</i> .....	257

## СТРУКТУРИЗАЦИЯ МОЛЕКУЛ ВОДЫ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА «МЕТАЛЛ-ВОДА»

Скавыш Ю.О., Лещинская А.В.

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

Петрович В.А. – канд. физ.-мат. наук, доцент

В работе представлены результаты исследования релаксационных процессов в деионизованной воде, подверженной влиянию электрического поля на границе раздела металл-раствор. Определена энергия активации воды, структурированной электрическим полем двойного электрического слоя.

При производстве полупроводниковых приборов и ИМС широко используются различные технологические операции, связанные с использованием деионизованной воды. В частности, промывка в воде является одной из ключевых технологических операций, связывающих предыдущие и последующие обработки, например, кремниевых пластин. Высокая «отмывающая» способность воды, а также высокая ее способность как растворителя, являются следствием двух аспектов:

- дипольный характер молекулярного строения воды;
- высокая ее диэлектрическая проницаемость.

Вместе с тем, следует иметь ввиду следующее обстоятельство [1]. На границе раздела металл-раствор или полупроводник-раствор формируется двойной электрический слой. Этот слой со стороны раствора часто называют слоем Гуи-Гельмгольца (ДЭС). Этот слой характерен тем, что в нем существуют значительные электрические поля с напряженностью многие сотни и тысячи вольт/см. Электрическое поле ДЭС неизбежно влияет на ориентацию молекул воды, имеющих дипольную структуру. Это же поле способствует не только ориентации молекул воды друг относительно друга, но и их адсорбции на границе раздела.

Направление электрического поля, во-первых, и его величина, во-вторых, определяется величиной и знаком гальвани-потенциала, возникающего на границе раздела электрод-раствор. В свою очередь, направление электрического поля и его величина зависят от разницы значений энергии Ферми в электроде, RedOx-энергии в растворе и от используемой пары: материал электрода, состав раствора.

Например, если электрическое поле ДЭС направлено вглубь раствора, то в ДЭС, в том числе, непосредственно, на границе раздела электрод-раствор, молекула воды, как диполи, будут ориентированы преимущественно так, что атомы кислорода будут ближе находиться к границе раздела, нежели атомы водорода. При этом в ДЭС молекулы воды, по вполне естественным причинам, теряют часть своих степеней свободы (как поступательных, так и вращательных). Иными словами, молекулы воды в ДЭС становятся жестче связаны, чем молекулы воды, находящиеся за пределами ДЭС.

Указанные особенности изменения структуры воды за счет влияния электрического поля ДЭС неизбежно должны приводить к изменению, прежде всего, вязкости воды, а также величины ее диэлектрической проницаемости, электропроводности и иных физических и физико-химических свойств.

При выполнении экспериментальной части использовалась деионизованная вода, произведенная на ОАО «Интеграл», г. Минск. Исследования производились при нормальных условиях измерительным прибором регистратор иммитанса Е7-25 (производство ОАО «МНИПИ» г. Минска) на диапазоне частот от 25 Гц до 1 МГц. Основным иммитансным параметром, несущим максимальное количество информации о свойствах изучаемых объектов, является тангенс угла потерь,  $\text{tg}\delta$  [2]. Возможно использование для объяснения получаемых результатов иных иммитансных параметров: добротности, угла сдвига фаз ( $\varphi$ ), параметров параллельной и последовательной эквивалентных RC-цепей. Эти параметры несут дополнительную информацию, но в данной работе не приведены.

Для обеспечения формирования ДЭС и его электрического поля мы использовали датчики конденсаторного типа. Особенностью этих датчиков является то, что на их металлической части отсутствует слой изоляционного покрытия. Благодаря этому и формируется ДЭС. В качестве металла электродов датчика мы использовали медь, никель, цинк, нержавеющей сталь, платину. В материалах данной работы мы представили результаты регистрации  $\text{tg}\delta$  только для датчика, изготовленного из платины. Эти данные, по нашему мнению, представляют предмет отдельного рассмотрения.

Использовались датчики двух конструкций:

1. Расположенные параллельно друг другу металлические пластины как одинаковой, так и разной площади. Расстояние между пластинами могло регулироваться путем установки между ними дистанционных диэлектрических шайб и могло изменяться в пределах 0,1-10 мм.
2. Спиралевидный наружный электрод, внутрь которого был вставлен штыревой электрод.

В работе [2] было показано, что численные значения  $\text{tg}\delta$  не зависят ни от конструкции, ни от геометрических размеров датчика, а являются только функцией материала, из которого изготовлены электроды.

На рисунке 1 представлена зависимость  $\text{tg}\delta$  от частоты  $f$  при использовании датчика, изготовленного из платины. Зависимость носит ярко выраженный экстремальный характер, при этом на частоте около 700 Гц значение  $\text{tg}\delta$  достигают 35 единиц. Как при увеличении, так и при уменьшении частоты значение  $\text{tg}\delta$  уменьшаются. При увеличении частоты до  $10^5$  Гц и более численными значениями  $\text{tg}\delta$ , по сравнению с 35 единицами, очевидно, можно пренебречь. При понижении частоты также наблюдается уменьшение  $\text{tg}\delta$ , однако, использованный нами измеритель иммитанса E7-25 не позволяет «опуститься» по частоте ниже 25 Гц и «заглянуть» в эту область частот не удается. Однако это и не важно в данной работе.

Для выяснения причины очень больших значений  $\text{tg}\delta$  по сравнению со значениями  $\text{tg}\delta$  [2] (значение  $\text{tg}\delta$  для воды примерно в 40 раз больше, чем для спиртов) было сделано следующее: осуществлена регистрация  $\text{tg}\delta$  при двух значениях измерительного синусоидального напряжения: 40 мВ и 700 мВ. Это напряжение приложено между двумя электродами датчика.

Мы предполагали, что значительное значение  $\text{tg}\delta$  по сравнению со спиртами в вышеупомянутой работе связаны с потерями энергии. Эти потери предположительно должны были быть обусловлены фарадеевскими процессами на границе раздела «металл-раствор»: окисление и восстановление воды из молекулярной формы ( $\text{H}_2\text{O}$ ) и ее продуктов самодиссоциации ( $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ ).

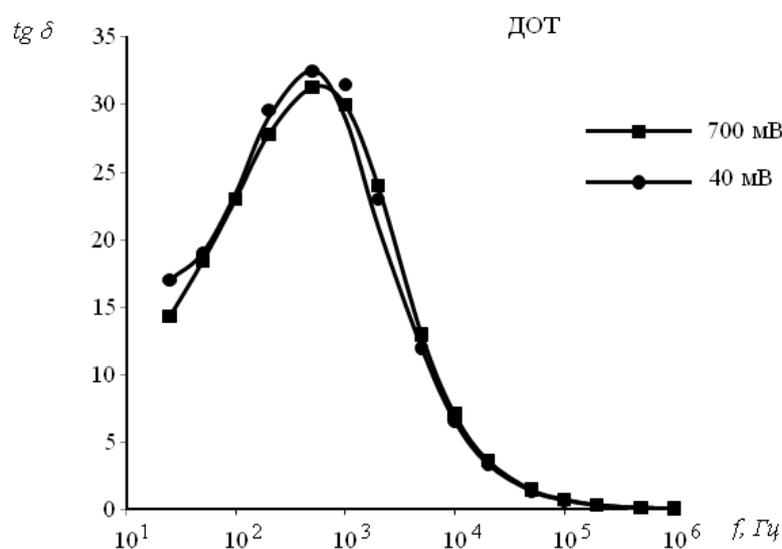


Рисунок 1 – зависимость  $\text{tg}\delta$  от частоты для воды при различных уровнях измерительного сигнала

Как видно из рисунка 1, величина измерительного напряжения, меняющегося почти в 20 раз, практически не оказывают влияния на зависимости  $\text{tg}\delta$  от частоты: зависимости практически совпадают друг с другом, следовательно, ожидаемая роль фарадеевских процессов потерь энергии (на электролиз воды) в нашем эксперименте не выявляется.

По нашему мнению, значительное увеличение численных значений  $\text{tg}\delta$  обусловлено увеличением вязкости воды в приэлектродном пространстве (ДЭС), уменьшением диэлектрической проницаемости воды в этом же электрическом слое (тем самым уменьшение реактивной энергии в датчике увеличением сопротивления водной прослойки в ДЭС).

Мы понимаем, что сделанное предположение требует проведения дополнительных и весьма прецизионных измерений, ведь речь идет о свойствах слоев воды толщиной в десятые, сотые, тысячные доли мм. Именно с размерами такого порядка сталкиваются разработчики микро- и нанoeлектронных изделий.

Таким образом, представленные выше результаты и сравнение их с результатами, например, [2], однозначно свидетельствуют о том, что ДЭС существенно изменяет энергию активации релаксационного процесса воды, находящейся в нем, по сравнению со «свободной» водой значительно изменяет многие ее электрофизические и химические свойства. В соответствии с результатами, опубликованными в [2], частоте 700 Гц на рисунке 1 соответствует энергия активации 0,54 эВ. Это значение энергии больше, чем аналогичная энергия активации для неструктурированной электрическим полем ДЭС воды (0,46 эВ).

#### Список использованных источников:

Цивадзе А.Ю. (ред.) Структурная самоорганизация в растворах и на границе раздела фаз. Монография. - Москва, ЛКИ, 2008. - 544 с.

S. A. Volchek, V. A. Petrovich, S. V. Granko, V. Yu. Serenkov and V.A. Yakovtseva Bond Energy in Nanostructured Water — World scientific publishing company, 2019

## РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ДЕИОНИЗОВАННОЙ ВОДЕ В КИЛОГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Скавыш Ю.О., Лещинская А.В.

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

Петрович В.А. – канд. физ.-мат. наук, доцент

В работе представлены результаты исследования релаксационных процессов в деионизованной воде. Зарегистрировано максимальное значение тангенса угла диэлектрических потерь на определенной частоте и произведено сравнение с другими ранее проведенными исследованиями в этой области.

При производстве полупроводниковых приборов и ИМС широко используются различные технологические операции, связанные с использованием деионизованной воды (ДВ), а также растворов на ее основе. В связи с этим, а так же в связи с разработкой новых технологических операций в области микро- и нанoeлектроники, становится весьма актуальной задача не только получения сверхчистой воды и изучения ее свойств, но и их изменение при внесении в воду различных примесей.

Применительно к любой среде (твердое тело, жидкость, газ)  $\text{tg}\delta$  – это отношение двух энергий: в числителе - активная энергия (мощность), в знаменателе - реактивная энергия (мощность). В работе [1] моего руководителя было показано, что этот параметр является наиболее чувствительным к структуре и свойствам различных сред. Более того, численные значения  $\text{tg}\delta$  не зависят от геометрических размеров и конструкции датчика, находящегося, например, в ДВ.

В публикации [2] было показано, что для гомологического ряда  $\text{H}$ -спиртов в диапазоне частот не свыше 1 МГц зависимость  $\text{tg}\delta$  имеет экстремум. Авторы этой работы справедливо отмечают, что в этом же районе частот значение диэлектрической проницаемости спиртов уменьшается.

С нашей точки зрения, структурная формула молекул воды может быть записана так же, как и для любого из спиртов ( $\text{R-OH}$  для спиртов и  $\text{H-OH}$  для воды). По этой причине мы ожидали и обнаружили, что ДВ так же, как и спирты, в упомянутом диапазоне частот обладает ярко-выраженной экстремальной зависимостью  $\text{tg}\delta$  от частоты  $f$  (рисунок 1).

На рисунке 1 представлена зависимость  $\text{tg}\delta$  от частоты  $f$  для ДВ при  $\text{pH}=6,7$  (производство ОАО «Интеграл» г. Минск).

Для регистрации  $\text{tg}\delta$  был использован регистратор иммитанса Е7-25 (производство ОАО «МНИПИ» г. Минска). В качестве датчика мы использовали два металлических электрода изолированных от непосредственного контакта с ДВ слоем высококачественного диэлектрика. Частным случаем таких датчиков могут быть медные спирали или штыри, изготовленные на основе провода марки ПЭВ-2. Металлические части этого изолированы от прямого контакта с водой слоем эмали – винифлекс (или поливинилацеталь). Лак был нанесен заводом производителем моточных проводов. По этой причине, использованные нами датчики, давали возможность наблюдать только за объемными свойствами воды. Свойства же слоев воды, находящихся в слое Гуи-Гельмгольца (некий аналог областей ОПЗ в  $p$ - $n$ -переходах) таким датчиком не контролируются.

Значение  $\text{tg}\delta$ , в соответствии с рисунком 1, в максимуме равно 0,4 единицы при частоте около 20 кГц. На «низких» частотах (ниже 100 Гц) значение  $\text{tg}\delta$  порядка 0,02 и может быть принято за 0 по отношению к его максимальному значению. При частотах свыше 1 МГц ситуация аналогична: значение  $\text{tg}\delta$  стремится к 0.

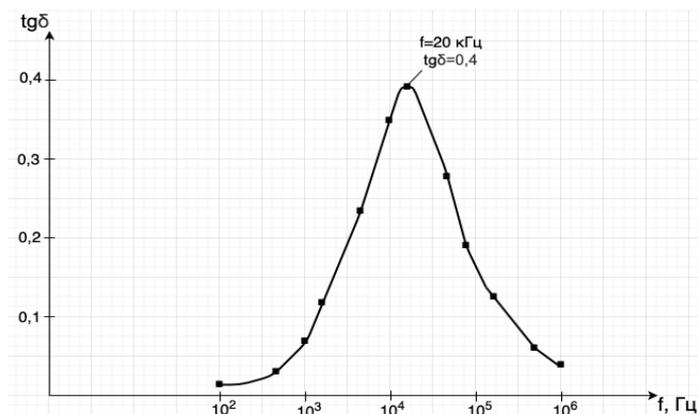
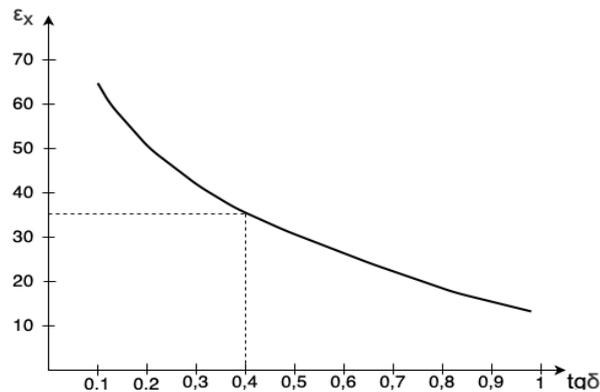


Рисунок 1 – Экспериментальная зависимость  $\text{tg}\delta$  от частоты

Рисунок 2 – Теоретическая зависимость  $\epsilon_x$  от  $\operatorname{tg}\delta$ 

В соответствии с моделью релаксационных потерь (моделью Дебая) такое поведение  $\operatorname{tg}\delta$  описывается уравнением (1):

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\omega\tau(\epsilon_c - \epsilon_x)}{\epsilon_c + \epsilon_x(\omega\tau)^2} \quad (1)$$

Максимальное значение  $\operatorname{tg}\delta$  определяется условием (2):

$$\omega\tau = \sqrt{\frac{\epsilon_c}{\epsilon_x}} \quad (2)$$

В этих уравнениях  $\omega=2\pi f$ , где  $f$ -частота измерений в Гц,  $\tau$  – время релаксации наблюдаемого процесса,  $\epsilon_c$  – стационарное значение диэлектрической проницаемости (для воды  $80\pm 2$  единиц),  $\epsilon_x$  – диэлектрическая проницаемость при частоте намного большей, чем частота, отвечающая максимальному значению  $\operatorname{tg}\delta$ .

Решая систему уравнений (1) и (2), мы получили соотношение (3):

$$\frac{\epsilon_c}{\epsilon_x} = (1 + 2\operatorname{tg}^2\delta) - 2\operatorname{tg}\delta \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\delta} \quad (3)$$

Графический вид соотношения (3) представлен на рисунке 2. Эта зависимость позволяет по значениям  $\operatorname{tg}\delta$  в максимуме определить значение диэлектрической проницаемости  $\epsilon_x$  до которой уменьшается  $\epsilon_c$  на «высоких» частотах.

Совместный анализ рисунка 1 и 2 позволяет сделать следующее заключение: на частотах в районе 20 кГц диэлектрическая проницаемость ДВ уменьшается до значений 35 единиц на частотах 10<sup>6</sup> Гц и выше. Этот результат имеет существенную новизну: до сих пор считалось, что до частот около 10<sup>9</sup> Гц значение диэлектрической проницаемости ДВ не меняется и составляет около 80 единиц.

Единичным структурным элементом воды является диполь H<sub>2</sub>O, поэтому находясь в относительно свободном состоянии (в жидкой фазе), вода неизбежно подвержена структурной самоорганизации [3,4]. При этом в воде формируются нанокластеры различной структуры. Проявление одной из форм этих кластеров мы и наблюдаем на дисперсии  $\operatorname{tg}\delta$  (f). Выяснением, какова при этом структура конкретного нанокластера мы сейчас занимаемся.

Можно отметить только следующее: численное значение частоты, на которой наблюдается максимальное значение  $\operatorname{tg}\delta$ , позволяет определить энергию активации соответствующего релаксационного процесса по методике, предложенной в работе [5]. Для нашего случая, частоте 20 кГц, соответствующей максимуму  $\operatorname{tg}\delta$ , соответствует энергия активации  $E_a=0,46$  эВ. Это весьма значительная энергия связи, хотя в целом она полностью соответствует (по порядку величины) известному значению водородных связей.

Выводы:

- особые свойства ДВ могут быть использованы как диагностический инструмент при разработке и контроле технологических процессов не только в микро- и нанoeлектронике, но и в биомедицине.

- релаксационный процесс для ДВ в килогерцовой области свидетельствует, с точки зрения физики протекающих в ДВ процессов ее самоорганизации, о структурной неоднородности воды, как единого целого.

- на основе полученных значений  $\operatorname{tg}\delta$  и соответствующих этим значениям частот можно определить энергию активации (связи) молекул воды.

**Список использованных источников:**

1. S. A. Volchek, V. A. Petrovich, S. V. Granko, V. Yu. Serenkov and V.A. Yakovtseva Bond Energy in Nanostructured Water — World scientific publishing company, 2019
2. ФКС XIII: Материалы конференции — Гродно: ГрГУ, 2015, стр 29
3. Цивадзе А.Ю. (ред.) Структурная самоорганизация в растворах и на границе раздела фаз. Монография. - Москва, ЛКИ, 2008. - 544 с.
4. Клеман М. Основы физики частично упорядоченных сред / М.Клеман, О. Д. Лаврентович; пер. с англ. под ред. С. А. Пикина, В.Е. Дмитриенко. - М: Физматлит, 2007
5. Журнал №3 «Нанотехнологии: разработка, применение XXI век» — Москва, 2019.стр 5-13

## ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ОПТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ АБСОРБЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Кисель Д.С.

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

Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент

Проведены измерения оптических покрытий на примере просветляющего покрытия и многослойного диэлектрического зеркала на спектрофотометре МС 122. Описана оптическая система спектрофотометра МС 122. Представлены спектральные характеристики оптических покрытий.

Научно-технический прогресс в оптическом приборостроении активизировал развитие в области оптики и спектроскопии пленок и интерференционных покрытий. И наоборот, фундаментальные исследования в области физики тонких пленок позволили создать принципиально новые типы систем оптоэлектроники.

Основными параметрами, определяющими оптические свойства пленок, являются дисперсия показателя преломления и поглощения. Для определения параметров оптических пленок разработаны и успешно применяются на практике спектрофотометрические методы, в основу которых положен анализ спектров пленок и покрытий. Этой задаче в настоящее время уделяется большое внимание. Основные трудности при ее реализации связаны с неоднозначностью анализа спектрофотометрических спектров, в особенности при исследовании пленок, обладающих дополнительными полосами поглощения, отсутствующими в монокристаллах.

Метод абсорбционной спектроскопии (спектрофотометрии) относится к оптическим методам анализа и основан на взаимодействии вещества с излучениями ближней ультрафиолетовой (УФ), видимой и части ближней инфракрасной (ИК) областей электромагнитного спектра, а именно на избирательном поглощении электромагнитного излучения однородными нерассеивающими системами.

В данной работе для получения спектральной характеристики оптических покрытий был использован абсорбционный спектрофотометр МС 122, позволяющий анализировать не только спектры поглощения и пропускания, но и отражения.

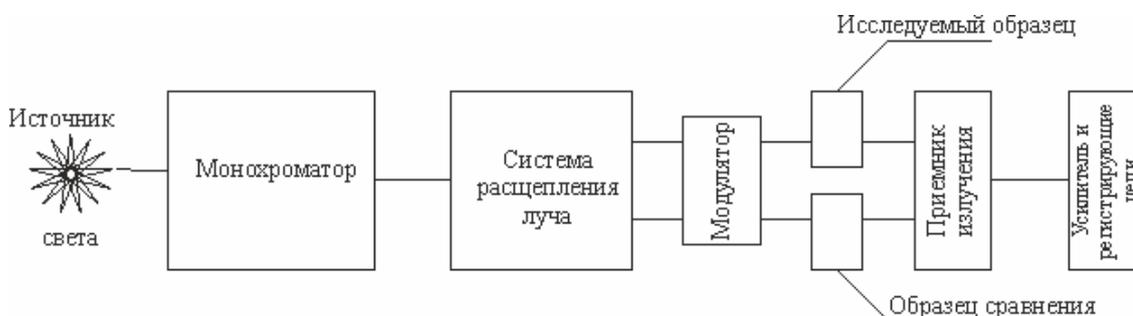


Рисунок 1 – Блок-схема абсорбционного спектрофотометра МС 122

На рисунке 1 показано, что МС 122 обладает двухлучевой оптической системой. Это позволяет обеспечить минимальные потери интенсивности разделенных лучей при сканировании по спектру. Спектрофотометр МС 122 позволяет проводить измерения в диапазоне 190 – 1100 нм. В приборе имеются два источника непрерывного спектра: дейтериевая лампа для работы в области 190 – 350 нм и галогенная лампа для измерений в области 320 – 1100 нм. Для обеспечения работы прибора в широком диапазоне спектра используется фотоприемник – кремниевый фотодиод.

Для аналитических исследований были использованы 7-слойное просветляющее покрытие

Перед проведением измерений просветляющего покрытия была произведена калибровка прибора, то есть измерение нулевого спектра. Для этого был пропущен пучок света через пустую кювету и промерен спектр воздуха в диапазоне 300 – 1100 нм для просветляющего покрытия и 750 – 860 нм для многослойного интерференционного зеркала с шагом спектрального сканирования 5 нм.

Оптические покрытия были получены методом электронно-лучевого испарения на вакуумной установке ВУ-1А на подложках стекла К8. Конструкция просветляющего покрытия является многослойной и состояла из последовательно чередуемых слоев  $ZrO_2$  и  $SiO_2$  с показателями преломления  $n=2,05$  для  $ZrO_2$  и  $n=1,46$  для  $SiO_2$  соответственно. В результате получено оптическое покрытие с минимальным уровнем коэффициента отражения (менее 1,5%) в области 350 – 1000 нм, что отображено на рисунке 2. Образец был установлен на специальный держатель и измерен в диапазоне 300 – 1100 нм под углом падения  $\alpha=0^\circ$ .

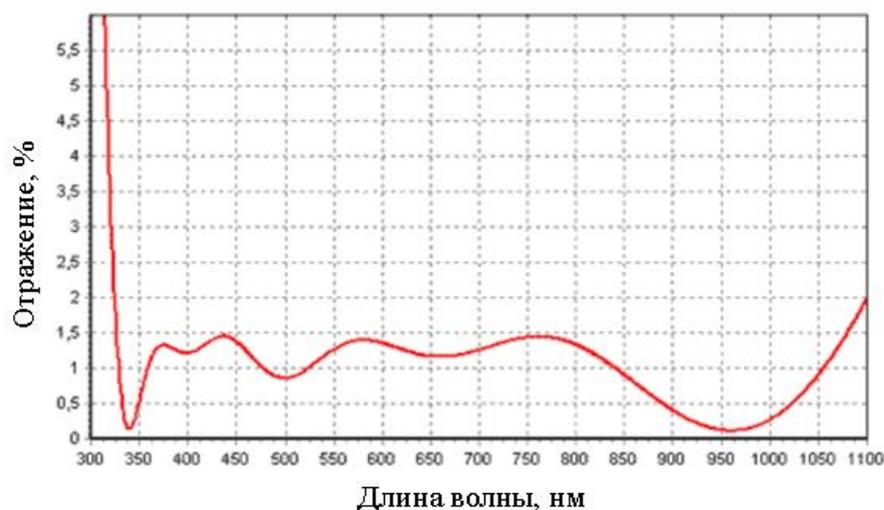


Рисунок 2 – Спектр просветляющего покрытия для 350-950 нм под углом 0°, полученного на спектрофотометре МС 122

Аналогичным образом (с помощью ЭЛИ) было получено многослойное интерференционное оптическое зеркало. Его конструкция состояла из последовательно чередуемых слоев высокопреломляющего пленкообразующего  $\text{HfO}_2$  ( $n=1,9$ ) и низкопреломляющего  $\text{SiO}_2$  ( $n=1,46$ ). Измерения проводились в диапазоне 750 – 860 нм, результаты измерения отображены на рисунке 3.

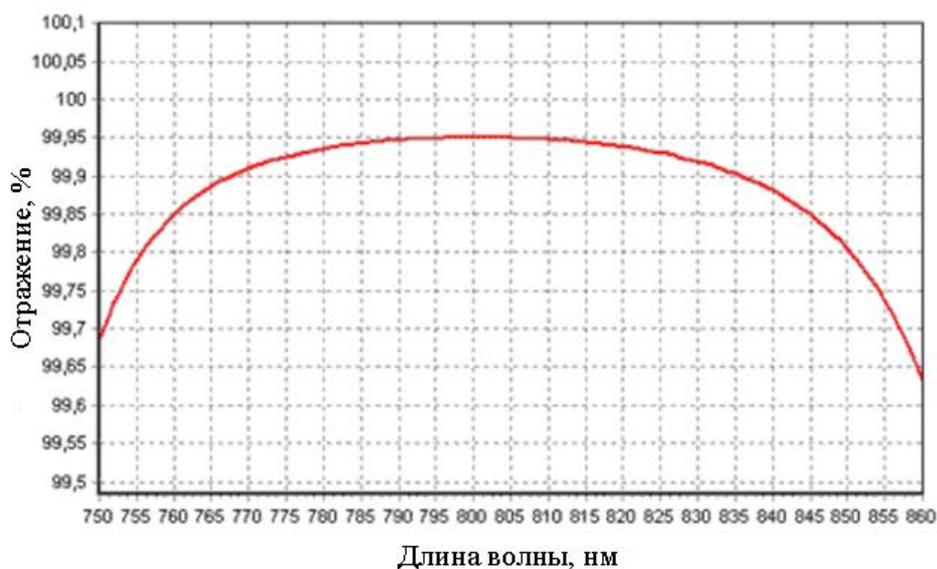


Рисунок 3 – Спектр интерференционного зеркального покрытия для 800 нм под углом 0°, полученного на спектрофотометре МС 122

Как видно из результата спектрофотометрических измерения, приведенных на рисунке 3, в области 750 – 860 нм с контрольной длиной волны  $\lambda=800$  нм, среднее отражение сохраняется на уровне 99,5 – 99,9% с минимальными потерями на поглощение и светорассеяние.

Оптические покрытия, аналогичные полученным на рисунках 2 и 3, могут применяться во многих областях, где свет проходит через оптический элемент и требуется снизить потери интенсивности. Наиболее распространёнными случаями являются линзы очков и объективы камер.

**Список использованны хисточников:**

1. Яковлев П.П., Мешков Б.Б. Проектирование интерференционных покрытий. М.: Машиностроение, 1987. 186 с.
2. Котликов Е.Н., Терещенко Г.В. Исследование оптических констант пленок, используемых для синтеза широкополосных просветляющих покрытий // Оптика и спектроскопия. 1997. Т. 82, № 4. С. 653–659.
3. Справочник технолога-оптика / Под общ. ред. М.А. Окатова. СПб.: Политехника, 2004. 679 с

# СВОЙСТВА ПЛЕНОК НИТРИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛАЗМЫ

Николаенко С.П., Леонович Н.В.

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

Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент

Описаны свойства, применение и способ получения пленок нитрида кремния методом плазмохимического осаждения из газовой фазы.

Нитрид кремния ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) — широко применяемый в микро- и нанoeлектронике материал для пассивации полупроводниковых приборов с целью уменьшения обратного тока диодов, а также в качестве подзатворного диэлектрика в транзисторных структурах.

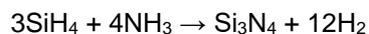
Обычно нитрид кремния используются как пассивирующий материал либо как материал для изоляции в процессах микрообработки или монтажа микросхем благодаря отличным адгезионным свойствам. Пленка нитрида кремния обеспечивает защиту от коррозии во влагосодержащих средах. Подтверждением таких свойств является широкое использование тонких слоев нитрида кремния и оксида кремния для пассивации алюминиевых контактных площадок и межсоединений в ИС. Кроме того, нитрид кремния широко используется для производства микроструктур благодаря своей хорошей механической стойкости и высокой износоустойчивости.

Нитрид кремния широко используется в керамических двигателях, микроэлектронике, атомной энергетике, космической науке и других областях благодаря его многочисленным превосходным свойствам, таким как устойчивость к высоким температурам, высокая прочность и хорошие свойства химической стабильности. Кроме того, наноразмерные материалы нитрида кремния, квантовые точки, нанотрубки, нанопроволоки и тонкие нанопленки обладают превосходными фотоэлектрическими и механическими свойствами.

Плазмохимическое осаждение из газовой фазы (PECVD) представляет собой процесс, при котором тонкие пленки из различных материалов могут быть нанесены на подложки при более низкой температуре, чем при стандартном химическом осаждении из паровой фазы (CVD).

В процессах PECVD осаждение достигается путем введения газа-реагента между параллельными электродами — заземленным электродом и электродом, работающим под напряжением. Емкостная связь между электродами возбуждает газы-реагенты в плазму, которая вызывает химическую реакцию и приводит к осаждению продукта реакции на подложке. Подложка, которая помещается на заземленный электрод, обычно нагревается до температуры от 250 до 350 °C, в зависимости от конкретных требований к пленке. Для сравнения, CVD требуют от 600 до 800 °C. Более низкие температуры осаждения являются критическими во многих применениях, где температуры CVD могут повредить изготавливаемые устройства.

Для получения пленок нитрида кремния плазменным осаждением обычно используются исходные реагенты в виде силана и аммиака. Реакция протекает следующим образом:



1)

Они широко применяются в качестве пассивирующих слоев. Низкая температура осаждения, хорошие диэлектрические и механические свойства делают их пригодными для применения в качестве межслойного диэлектрика. Такие пленки целесообразно использовать для изоляции и пассивации металлов с низкой температурой плавления (например, алюминия). Это связано с тем, что нитрид кремния эффективно препятствует проникновению ионов щелочных металлов и других примесей, а оксид кремния, имея напряжения сжатия, служит компенсирующим слоем для металлических пленок с напряжениями растяжения.

#### Список использованных источников:

1. *Fabrication of  $\text{Si}_3\text{N}_4$  Nanocrystals and Nanowires Using PECVD* / Jingwei Song, XiyinMa, Wang Zui, ChenWei, and Zhongpin Chen // *Advances in Materials Science and Engineering* – 2010 – ID892792 – p. 4
2. *Plasma-therm* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.plasma-therm.com/pecvd.html>
3. *Исследование свойств пленок нитрида и оксида кремния, полученных методом плазмохимического осаждения на кремниевую подложку / И. И. Рубцевич [и др.] // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2011 – № 4. – С. 29-32.*

## СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЛЬТА-СИГМА АЦП

Демиденко Е.В.<sup>1</sup>, Жарин А.Е.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ООО «НТЛаб системс», г. Минск, Республика Беларусь

Стемпичкий В.Р. – канд. техн. наук, доцент

Приведены этапы разработки и основные результаты схемотехнического моделирования дельта-сигма АЦП 4-го порядка, используемого в трансивере с ПЧ.

Цель работы является проектирование аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) с дельта-сигма архитектурой с частотой 10 МГц и полосой работы 256 кГц, минимальным значением ENOB=10 бит.

Работа включает следующие этапы:

- теоретическое исследование на предмет существующих решений;
- выбор структуры для достижения параметров, соответствующих техническому заданию;
- проверка модели АЦП с использованием программного продукта MATLAB;
- коррекция структуры для удовлетворения технического задания;
- реализация в программном комплексе Cadence;
- оптимизация и верификация схемы.

Итогом работы является схема дельта-сигма АЦП, состоящего из двух каскадов 2-го порядка: структурная схема каскада [1] представлена на рисунке 1. При такой структуре шум квантования составляет 55 дБ в полосе 256 кГц с частотой выборки 10 МГц. Оценка параметров проводилась с помощью быстрого преобразования Фурье с использованием окна Хэннинга. Для двухкаскадной структуры шум квантования составляет 84 дБ в полосе 256 кГц. Спектр преобразования Фурье, представленный на рисунке 2, получен для АЦП при схемотехническом моделировании при типовых условиях. Потребление схемы составило 350 мкА при напряжении питания 1.2 В.

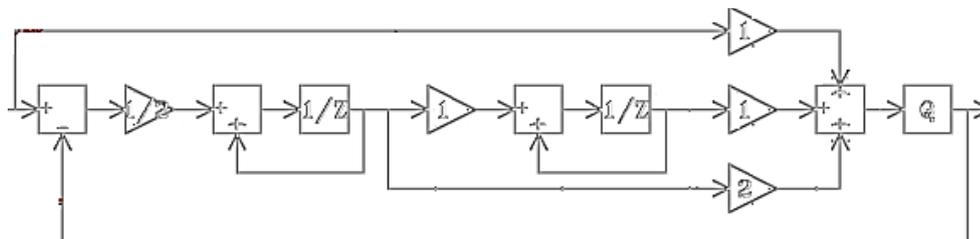


Рисунок 1 – Структурная схема дельта-сигма АЦП второго порядка

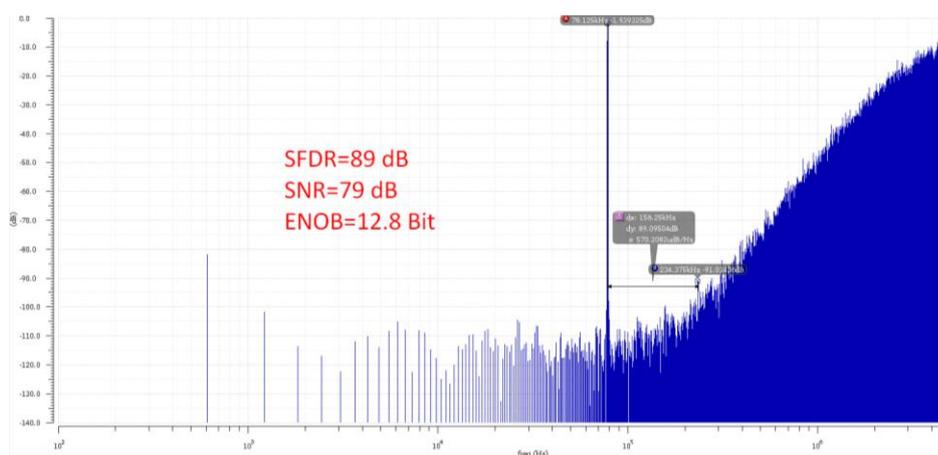


Рисунок 2 – Структурная схема дельта-сигма АЦП второго порядка

Используя спектр выходного основного сигнала АЦП, рассчитаны следующие параметры: SNDR, SNR и ENOB, которые составили 89 дБ, 79 дБ и 12,8 ,бит соответственно. Первые две точки спектра не учитываются из-за особенностей окна Хэннинга.

### Список использованных источников:

1. Second-Order  $\Delta\Sigma$ AD Modulator with Novel Feedforward Architecture / Hao San [et al.] // IEEE, 2007 – P. 148-151.

# ТОКОПЕРЕНОС ПО ЛОВУШЕЧНЫМ СОСТОЯНИЯМ В ОКСИДЕ МОЛИБДЕНА

Курапцова А.А.

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

Данилюк А.Л. – канд. физ.-мат. наук, доцент

В данной работе рассмотрен токоперенос по ловушечным состояниям в оксиде молибдена. Приведены результаты моделирования протекания туннельного тока посредством туннелирования между ловушками в оксиде молибдена в зависимости от концентрации ловушек, их энергии и напряженности электрического поля.

В настоящее время возрастает интерес к гетероструктурной фотовольтаике. Оксид молибдена  $\text{MoO}_3$  с широкой запрещенной зоной и относительно высокой работой выхода, 3,0-3,3 эВ и 6,2-6,7 эВ соответственно [1], благодаря своей невысокой стоимости и химической стабильности является перспективным полупроводником для применения в перезаряжаемых батареях, конденсаторах, газовых сенсорах, а также в солнечных элементах и устройствах фотокатализа благодаря слабому поглощению электромагнитного излучения и способностью выступать в качестве селективного контакта для дырок, эффективно разделяя генерированные солнечным излучением носители заряда [2].

Оксид молибдена обладает относительно высокой проводимостью благодаря неглубокому залеганию ловушечных состояний и их высокой концентрации.

Вакансии кислорода в оксиде молибдена выступают в роли ловушек, ответственных за транспорт носителей заряда [3]. Наиболее стабильным ловушечным состоянием в оксиде молибдена являются кислородные вакансии. Глубина залегания ловушечных состояний в оксиде молибдена составляет 0,3 эВ ниже дна зоны проводимости и определяет его n-тип проводимости [1]. Концентрация ловушек определяется стехиометрическим составом соединения  $\text{MoO}_3$  и составляет порядка  $10^{19} \text{ см}^{-3}$ .

Моделирование токопереноса по ловушкам проводилось с использованием модели фонон-облегченного туннелирования [4]:

$$J = eN^{2/3}v \quad (1),$$

где  $J$  – плотность туннельного тока;  $e$  – заряд электрона;  $N$  – концентрация ловушек;  $v$  – частотный фактор.

Частотный фактор  $v$  определяется как

$$v = \frac{\sqrt{2\pi\hbar}W_t}{m^*s^2\sqrt{(W_{opt}-W_t)kT}} \sinh\left(\frac{eFs}{2kT}\right) \exp\left(-\frac{W_{opt}-W_t}{2kT}\right) \exp\left(-\frac{2s\sqrt{2m^*W_t}}{\hbar}\right) \quad (2),$$

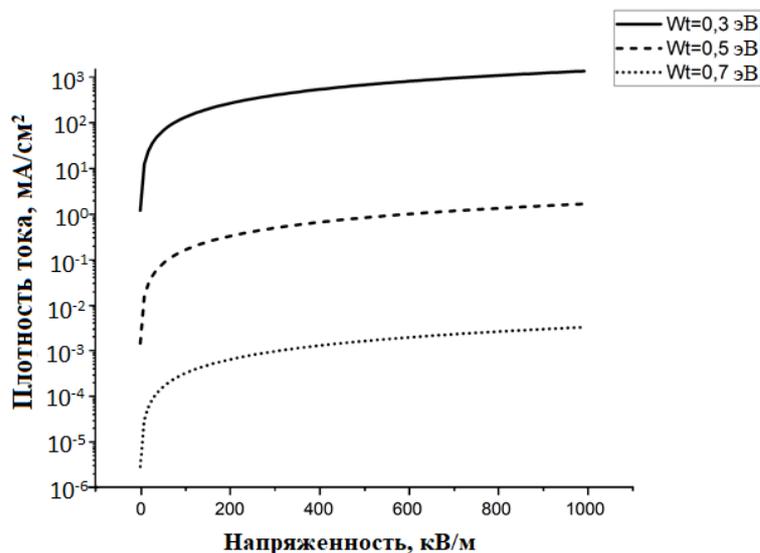
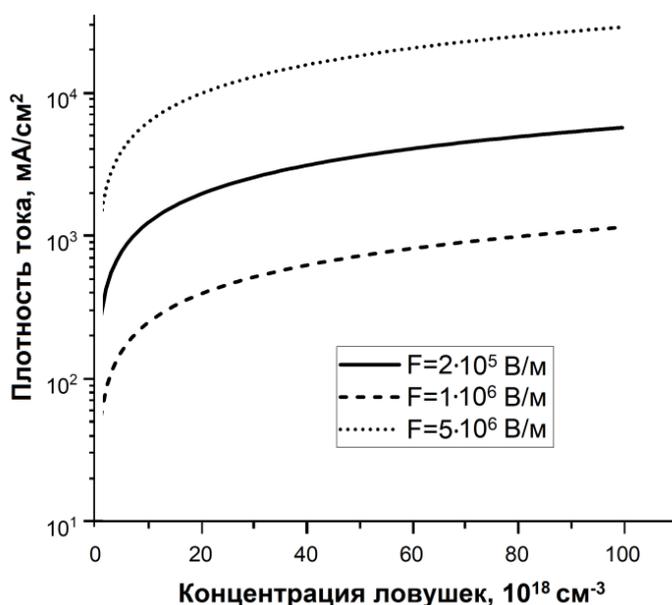
$$s = \left(\frac{3\pi N}{4}\right)^{1/3} \quad (3),$$

где  $W_t$  – термическая энергия ловушки,  $W_{opt}$  – оптическая энергия ловушки,  $\hbar$  - редуцированная постоянная Планка,  $m^*$  – эффективная масса носителя заряда (электрона или дырки),  $F$  – электрическое поле;  $s$  – среднее расстояние между ловушками.

Моделирование туннельного тока было проведено с использованием параметров:  $T=300 \text{ К}$ .

В результате моделирования были получены зависимости плотности туннельного тока от прикладываемого внешнего поля  $F$  при концентрации ловушек  $N=10^{19} \text{ см}^{-3}$  для различных значений  $W_t$  (рисунок 1) и плотность туннельного тока от концентрации ловушек  $N$  (рисунок 2) для различных значений  $F$ .

Как можно видеть из полученных зависимостей увеличение глубины залегания ловушек в диапазоне от 0,3 эВ до 0,7 эВ приводит к значительному уменьшению плотности тока как показано на рисунке 1. Увеличение концентрации ловушек ведет к уменьшению расстояния между ними и, следовательно, нелинейному возрастанию тока, что можно видеть из рисунка 2. Также изменение напряженности поля в диапазоне от  $2 \cdot 10^5 \text{ В/м}$  до  $5 \cdot 10^6 \text{ В/м}$  ведет к нелинейному росту тока, не меняя характер его зависимости от концентрации ловушек.

Рисунок 1 –Зависимость плотности тока  $J$  от напряженности поля  $F$ Рисунок 2 –Зависимость плотности тока  $J$  от концентрации ловушек  $N$ 

Полученные зависимости определяются высотой и шириной туннельного барьера между ловушками. Рост концентрации ловушек ведет к уменьшению ширины потенциального барьера, а увеличение их энергии – к росту высоты барьера. Данные параметры оказывают противоположное влияние на ток, что может быть использовано для осуществления выбора режима токопереноса.

Таким образом, благодаря возможности достижения высоких значений туннельного тока в оксиде молибдена, он может быть перспективным материалом для применения в устройствах фотокатализа и солнечных элементах за счет высокой концентрации ловушечных состояний и относительно небольшой глубине их залегания.

**Список использованных источников:**

1. Guo Yu. Origin of the high work function and high conductivity of  $\text{MoO}_3$  / Yu. Guo and J. Robertson // *Applied Physics Letters*. – 2014. – Vol. 105, iss. 22. – P. 1-5.
2. Formation of intrinsic and silicon defects in  $\text{MoO}_3$  under varied oxygen partial pressure and temperature conditions: an ab initio DFT investigation. / D. S. Lambert [et al.] // *RSC Advances*. – 2017. – Vol. 7, iss. 85. – P. 53810-53821.
3. Role of oxygen vacancy defects in the electrocatalytic activity of substoichiometric molybdenum oxide. / R. Kashfi-Sadabad [et al.] // *The Journal of Physical Chemistry*. – 2018. – Vol. 122, iss. 32. – P. 18212-18222.
4. Механизм транспорта заряда в тонких пленках аморфного и сегнетоэлектрического  $\text{Hf}_0.5\text{Zr}_0.5\text{O}_2$  / Д.Р.Исламов [и др.]. // *Письма в ЖЭТФ*. – 2015. – Т. 102, № 8. – С. 610–614.

## ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА НАНОТРУБОК СИЛИЦИДА КАЛЬЦИЯ

Алексеев А.Ю.

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

Мигас Д.Б. – д-р физ.-мат. наук, доцент

Результаты моделирования с помощью методов из первых принципов показали возможность формирования нанотрубок  $\text{Ca}_2\text{Si}$ . Установлено, что ширина их запрещенной зоны уменьшается с уменьшением диаметра нанотрубки и принимает значения от 0,69 эВ (ширина запрещенной зоны двумерного  $\text{Ca}_2\text{Si}$ ) и менее. В отличие от двумерного  $\text{Ca}_2\text{Si}$ , нанотрубки  $\text{Ca}_2\text{Si}$  кресельного типа являются прямозонными полупроводниками, что открывает для них перспективы в оптоэлектронике.

В последние десятилетия интенсивно изучаются наноструктуры различных материалов, так как они могут обладать уникальными свойствами из-за влияния эффектов квантового ограничения и доминирования поверхностных свойств над объемными. Среди них нанотрубки образуют большой класс наноструктур, привлекательный в связи с их структурными особенностями, которые также влияют на электронные свойства в зависимости от диаметра и хиральности [1,2]. По определению, нанотрубки – это свёрнутые в трубку наноленты (полоски), вырезанные из бесконечного двумерного материала. Недавно было теоретически предсказано существование двумерных силицидов, германидов и станидов щёлочноземельных металлов, которые являются полупроводниковыми материалами с шириной запрещенной зоны (ШЗЗ) 0,1–1,0 эВ [3,4]. Установлено, что когда в роли щёлочноземельного металла выступали Ca, Sr или Ba, предсказанные структуры оказались динамически стабильны в фазе T, а когда Mg – в фазе Td. Фазы T и Td соответствуют аналогичным фазам двумерных дихалькогенидов тугоплавких металлов [5]. Как и в случае дихалькогенидов тугоплавких металлов [2] не исключено, что сворачивая наноленты найденных двумерных материалов [3,4] в нанотрубки можно получить наноструктуры с новыми свойствами. В данной работе на примере  $\text{Ca}_2\text{Si}$  были исследованы возможности формирования нанотрубок из этого силицида и особенности их зонных структур.

Моделирование проводилось в рамках теории функционала плотности в коде VASP [6] с использованием приближения Пердью-Бурке-Эрнцерахофа для обменно-корреляционного потенциала [7]. Для расчётов использовалась энергия отсечки для базиса плоских волн 307 эВ и сетка точек в обратном пространстве  $1 \times 1 \times 15$ . Расчёт проведён для трёх нанотрубок типа зигзаг ((10,0), (12,0) и (14,0)) и трёх нанотрубок кресельного типа ((6,6), (8,8) и (9,9)) с диаметрами в диапазоне 15,6–23,6 Å. Их сечения, а также вид сбоку представлены на боковых панелях рисунка 1. Была проведена полная структурная оптимизация исследуемых нанотрубок. Поскольку в пределе бесконечного диаметра нанотрубка физически эквивалентна двумерной структуре, обнаружено, что все рассчитанные величины, включая полные энергии структур, структурные параметры и ШЗЗ, при увеличении диаметра стремятся к соответствующим величинам двумерного материала.

Разность полной энергии нанотрубки, рассчитанной на одну структурную единицу, и полной энергии соответствующего двумерного материала называется энергией напряжения нанотрубки. Чем она больше, тем больше энергии необходимо затратить для сворачивания наноленты в нанотрубку (наличие оборванных связей в наноленте, однако, может привести к тому, что при её сворачивании в нанотрубку энергия высвобождается [8]). Энергия напряжения положительна и обратно пропорциональна квадрату диаметра нанотрубки в случаях, когда сворачиваемый двумерный материал имеет ось симметрии второго порядка в плоскости двумерного материала, что справедливо для графена, двумерных дихалькогенидов тугоплавких металлов, исследуемых в данной работе материалов и других, но не справедливо, например, для имоголита [9]. Установлено, что изменение энергии напряжения в нанотрубках  $\text{Ca}_2\text{Si}$  также обратно пропорционально квадрату диаметра и находится в диапазоне значений 0,03–0,11 эВ, а сама энергия напряжения примерно в два раза меньше, чем энергия напряжения нанотрубок  $\text{MoS}_2$  [10]. Поскольку нанотрубки  $\text{MoS}_2$  уже были синтезированы ранее [2], меньшая энергия напряжения нанотрубок  $\text{Ca}_2\text{Si}$  позволяет сделать вывод о возможности их формирования. Энергия напряжения нанотрубок  $\text{Ca}_2\text{Si}$  кресельного типа оказалась незначительно ниже, чем для нанотрубок типа зигзаг (на 0,03 эВ между нанотрубками (10,0) и (6,6) и на 0,003 эВ между нанотрубками (14,0) и (8,8)).

Зонные структуры и соответствующие ШЗЗ представлены на центральной панели рисунка 1. Для сравнения, рассчитанная тем же методом ШЗЗ двумерного  $\text{Ca}_2\text{Si}$  равна 0,35 эВ. Таким образом, было обнаружено, что ШЗЗ уменьшается при уменьшении диаметра нанотрубки. Более того, непрямозонный двумерный  $\text{Ca}_2\text{Si}$  [4] становится прямозонным после его сворачивания в нанотрубку кресельного типа. Такая же тенденция изменения ШЗЗ и изменение характера первого перехода при изменении хиральности нанотрубки уже наблюдалась для нанотрубок дихалькогенидов тугоплавких металлов [10]. Наши расчёты не выявили зависимости длины связи Si–Ca от диаметра нанотрубки. Не исключено, что изменение зонных структур нанотрубок  $\text{Ca}_2\text{Si}$  обусловлено изменением углов между химическими связями в исследуемых структурах. Следует отметить, что тенденции изменения ШЗЗ одинаковы для нанотрубок обеих хиральностей – разность между ШЗЗ нанотрубок примерно

одного диаметра постоянна и равна 0,03 эВ. Известно, что используемый метод расчёта обменно-корреляционной энергии недооценивает ШЗЗ. ШЗЗ двумерного  $\text{Ca}_2\text{Si}$ , рассчитанная более точно с использованием гибридного потенциала, равна 0,69 эВ [4], поэтому следует полагать, что рассчитанные в работе значения будут ближе к экспериментальным значениям, если их увеличить на 0,34 эВ.

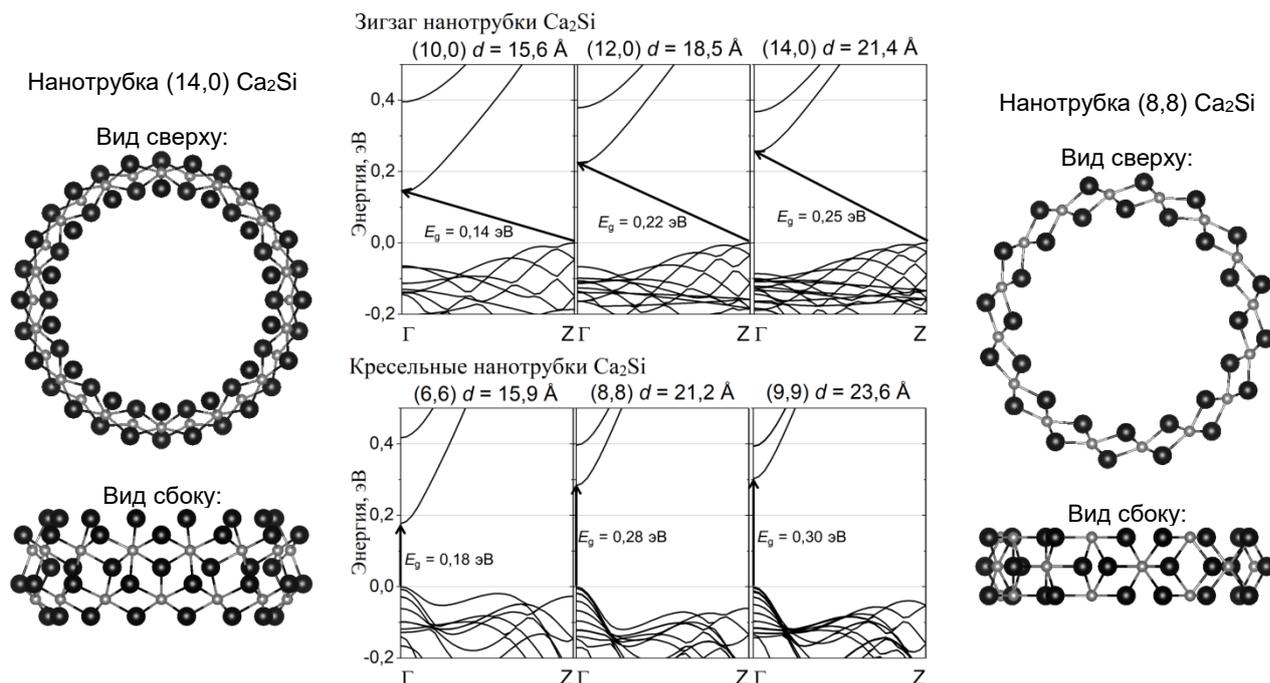


Рисунок 1 – Боковые панели: внешний вид зигзаг (14,0) и кресельных (8,8) нанотрубок  $\text{Ca}_2\text{Si}$  (тёмные шары – атомы Ca, светлые шары – атомы Si). Центральная панель: зонные структуры нанотрубок  $\text{Ca}_2\text{Si}$ . Ноль на шкале энергии соответствует потолку валентной зоны. Диаметры ( $d$ ) нанотрубок, первые переходы и ширины запрещённых зон также указаны

Таким образом, показана возможность формирования полупроводниковых нанотрубок  $\text{Ca}_2\text{Si}$  с различной хиральностью. Выявлен прямозонный характер запрещенной зоны у энергетически более стабильных нанотрубок кресельного типа, что подразумевает перспективы их применения в оптоэлектронике. В связи с тем, что свойства силицидов, германидов и станидов кальция, стронция и бария похожи, следует ожидать те же тенденции и для нанотрубок остальных соединений из этого ряда. В то же время, нанотрубки  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ,  $\text{Mg}_2\text{Ge}$  и  $\text{Mg}_2\text{Sn}$  могут обладать существенно отличными свойствами, как это имеет место в случае двумерных материалов, что требует дополнительного изучения.

#### Список использованных источников:

1. Saito, R. *Physical properties of carbon nanotubes* / R. Saito, G. Dresselhaus, M. S. Dresselhaus – London : Imperial College Press, 1998. – 259 p.
2. Tenne, R. *Inorganic nanotubes* / R. Tenne, C. N. R. Rao // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. – 2004. – Vol. 362, № 1823. – P. 2099–2125.
3. *Stability of 2D Alkaline-Earth Metal Silicides, Germanides and Stannides* / A. Yu. Alekseev [et al.] // *International Journal of Nanoscience*. 2019. – Vol. 18, № 03n04. – P. 1940013.
4. *Structural stability and electronic properties of 2D alkaline-earth metal silicides, germanides, and stannides* / A. Y. Alekseev [et al.] // *Japanese Journal of Applied Physics*. 2020. – Vol. 59. – P. SF0801.
5. Calandra, M. *Chemically exfoliated single-layer  $\text{MoS}_2$ : Stability, lattice dynamics, and catalytic adsorption from first principles*. M. Calandra // *Physical Review B*. – 2013. – Vol. 88, № 24. – P. 245428.
6. Kresse, G. *Efficiency of ab-initio total energy calculations for metals and semiconductors using a plane-wave basis set* / G. Kresse, J. Furthmüller // *Computational Materials Science*. – 1996. – Vol. 6, № 1. – P. 15–50.
7. Perdew, J. P. *Generalized gradient approximation made simple* / J. P. Perdew, K. Burke, M. Ernzerhof // *Physical review letters*. – 1996. – Vol. 77, № 18. – P. 3865–3868.
8. Seifert, G., Köhler, T., & Tenne, R. (2002). *Stability of metal chalcogenide nanotubes*. *The Journal of Physical Chemistry B*, 106(10), 2497-2501.
9. Guimarães, L., Enyashin, A. N., Frenzel, J., Heine, T., Duarte, H. A., & Seifert, G. (2007). *Imogolite nanotubes: stability, electronic, and mechanical properties*. *Acs Nano*, 1(4), 362-368.
10. Seifert, G. *Structure and electronic properties of  $\text{MoS}_2$  nanotubes* / G. Seifert [et al.] // *Physical Review Letters*. – 2000. – Vol. 85, № 1. – P. 146.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ <011>-ОРИЕНТИРОВАННЫХ НАНОШНУРОВ Si/Ge СО СТРУКТУРАМИ ТИПА ЯДРО-ОБОЛОЧКА И СЕГМЕНТНОГО ТИПА

Холяво И.И., Хомец А.Л., Сафронов И.В.

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

Мигас Д.Б. – д-р физ.-мат. наук, доцент

В работе проведено исследование влияния морфологии нанощнуров Si и Ge с ориентацией <011> и диаметром около 5 нм на их теплопроводность. Обнаружено, что для нанощнуров Si-ядро/Ge-оболочка возможно достичь коэффициента теплопроводности менее 10 Вт/(м·К), и для нанощнуров сегментного типа 2 Вт/(м·К), в то время как значения теплопроводности для нанощнуров из чистого Si и Ge составляют 19,1 и 11,4 Вт/(м·К).

В настоящее время все чаще применяются наноструктурированные материалы в термоэлектрических преобразователях, так как в них термоэлектрическая добротность может быть значительно увеличена по сравнению с объемными материалами. Это достигается за счет уменьшения теплопроводности без существенного уменьшения электропроводности. В данной работе рассматривались нанощнуры из Si и Ge в виде структур типа ядро-оболочка и сегментного типа с экспериментально наблюдаемой ориентацией <011> при малых диаметрах, сечением многогранника и диаметром ~ 5,2 нм.

Моделирование решеточной теплопроводности для рассматриваемых нанощнуров вдоль их оси проводилось с помощью пакета LAMMPS, применяя метод неравновесной молекулярной динамики. Коэффициент теплопроводности определялся из закона Фурье. Межатомное взаимодействие для атомов кремния и германия описывалось с помощью потенциала Терсоффа.

Для исследуемых Si/Ge ядро-оболочка нанощнуров обнаружены две отличающиеся закономерности изменения теплопроводности от соотношения объемного содержания типа материала ядра и оболочки. В случае структуры Si-ядро/Ge-оболочка (рисунок 1) при увеличении объемного содержания атомов Si наблюдается минимум на зависимости теплопроводности, который лежит ниже значения теплопроводности для нанощнура из чистого Ge (11,4 Вт/(м·К)), а в случае структуры Ge-ядро Si-оболочка (рисунок 2) имеет место понижение значения теплопроводности с 19,1 (для нанощнура из чистого Si) до 11,4 Вт/(м·К) (для нанощнура из чистого Ge) без четко-выраженного минимума.

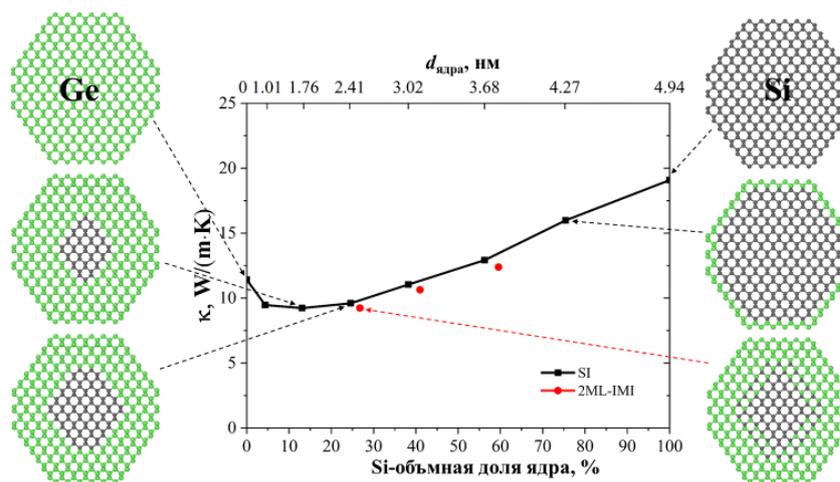


Рисунок 1 – Зависимость теплопроводности от процентного содержания атомов Si в нанощнуре

В случае с исследуемыми нанощнурами с чередующимися Si/Ge сегментами было обнаружено, что при уменьшении периода модуляции до 16 монослоев (4 параметра решетки) в Si/Ge ячейке с обоими типами границ наблюдается снижение значения коэффициента теплопроводности до ~2 Вт/(м·К), а при дальнейшем уменьшении периода модуляции до минимально возможного значения (8 монослоев) имеет место повышение значения коэффициента теплопроводности: до 2,3 Вт/(м·К) в случае резких границ и до 7,5 Вт/(м·К) в случае перемешанных границ толщиной 4 монослоя. Как видно из графика рисунка 3 более тонкие перемешанные границы (2 монослоя) практически не оказывают влияние на теплопроводность. Значение коэффициента теплопроводности 7,5 Вт/(м·К) соответствует нанощнуру со структурой упорядоченного твердого раствора.

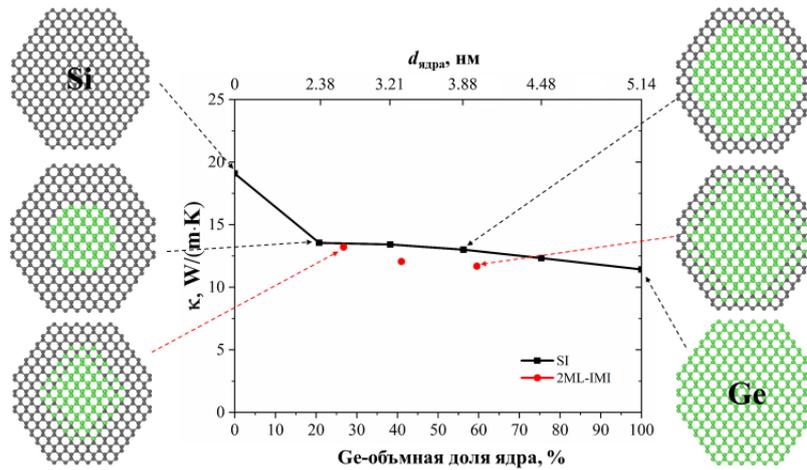


Рисунок 2 – Зависимость теплопроводности от процентного содержания атомов Ge в нанопрове

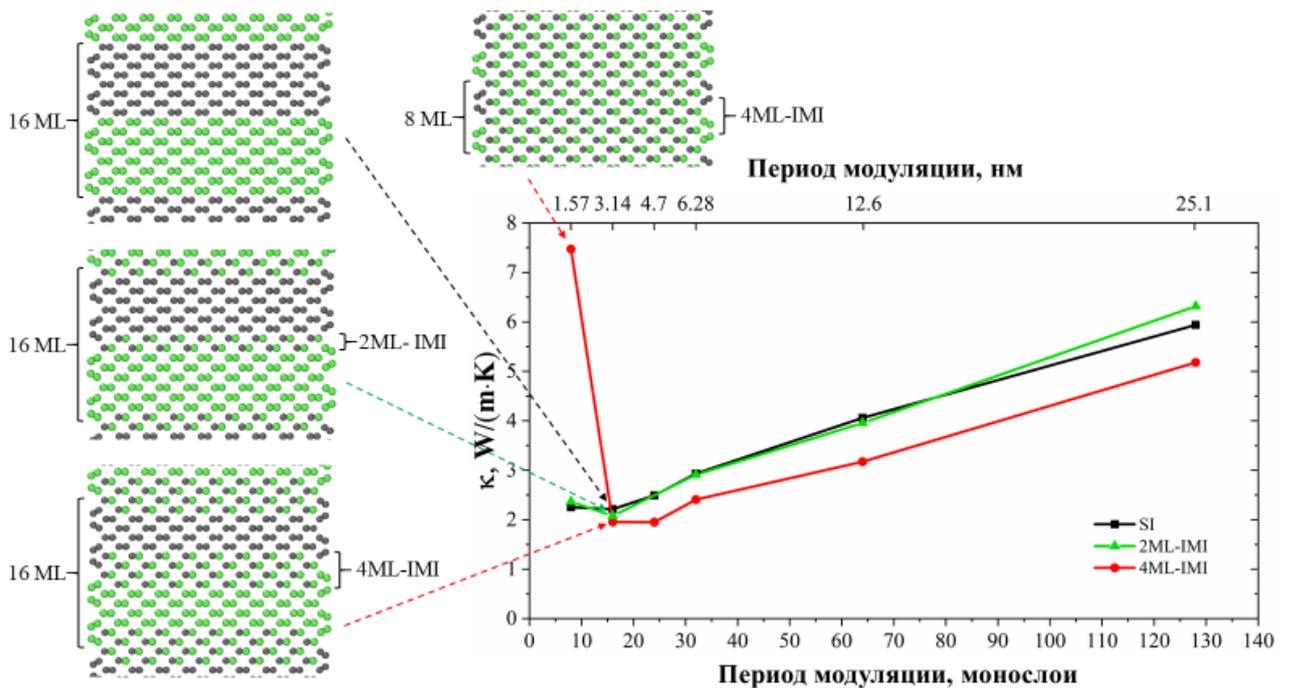


Рисунок 3 – Зависимость теплопроводности от периода модуляции

Таким образом, для эффективного уменьшения коэффициента теплопроводности в SiGe нанопрове типа ядро-оболочка целесообразно использовать наноструктуры с Ge оболочкой и Si ядром. В этом случае коэффициент теплопроводности оказался менее 10 Вт/(м·К). Что касается структуры сегментного типа, то целесообразно использовать наноструктуры со смешанными границами толщиной 4 монослоя. При этом значение коэффициента теплопроводности может быть около 2 Вт/(м·К).

Полученные результаты смогут стать отправной точкой для дальнейшего исследования SiGe нанопровов с чередующимися Si/Ge слоями в ядре. Не исключено, что SiGe нанопровы типа ядро/оболочка для других экспериментально наблюдаемых ориентаций, а именно  $\langle 111 \rangle$ ,  $\langle 112 \rangle$  и  $\langle 001 \rangle$ , также будут обладать схожей зависимостью теплопроводности от объемной доли материала ядра. Так же следует рассмотреть нанопровы в виде чередующихся сегментов Si и Ge вдоль оси нанопровы для других экспериментально наблюдаемых ориентаций, а именно  $\langle 111 \rangle$ ,  $\langle 112 \rangle$  и  $\langle 001 \rangle$ .

## ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ТОНКИХ ПЛЁНОК SiGe

Хомец А.Л., Холяво И.И., Сафронов И.В.

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

Мигас Д.Б. – д-р физ.-мат. наук, доцент

В данной работе представлены результаты исследования теплопроводности для тонких пленок SiGe с ориентацией  $\langle 110 \rangle$ , различными толщинами слоев и внутренних границ раздела. Установлены морфологии тонких пленок с минимальными значениями теплопроводности, а также выявлено влияние толщины слоев и переходных границ на теплопроводность.

В настоящее время огромный потенциал для исследований имеют термоэлектрические материалы. На основе этих материалов можно создавать термоэлектрические генераторы, работающие на эффекте Зеебека, и холодильные установки, работающие на эффекте Пельтье. Однако, эффективность термоэлектрических материалов в настоящее время невысокая, что негативно сказывается на КПД этих устройств. Эффективность термоэлектрических материалов определяется с помощью безразмерного коэффициента ZT.

$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{\kappa_e + \kappa_l} \quad (1)$$

где  $S$  - коэффициент Зеебека,  $\sigma$  – электропроводность материала,  $T$  – температура,  $\kappa_e$  и  $\kappa_l$  - электронная и решеточная составляющие теплопроводности соответственно. Одной из возможностей увеличения эффективности термоэлектрических материалов является снижение решеточной составляющей теплопроводности, так как электронная составляющая теплопроводности и электропроводность материала связаны между собой законом Видемана-Франца. Снижение теплопроводности в этом случае происходит из-за рассеяния фононов в широком диапазоне частот на внутренних границах раздела между слоями Si и Ge, и на точечных дефектах в кристаллической решетке.

Тонкие пленки по толщине имели размеры 8, 16, 24, 48 монослоев в Si/Ge ячейке. Переходный слой между Si и Ge создавался путем замены атомов Si на атомы Ge и, наоборот, в зеркальном порядке. В качестве примера на рисунке 1 представлены модели тонкопленочных структур (вид сбоку) для ориентации  $\langle 110 \rangle$  с разной толщиной слоев Si и Ge и разной толщиной переходного слоя. Теплопроводность измерялась как перпендикулярно направлению  $[110]$  (перпендикулярно слоям), так и параллельно направлениям  $[110]$  и  $[001]$  (параллельно слоям).

Расчет теплопроводности проводился с помощью метода неравновесной молекулярной динамики, реализованного в программном пакете LAMMPS. Для описания межатомного взаимодействия между атомами Si и Ge использовался потенциал Терсоффа. Коэффициенты решеточной составляющей теплопроводности определялись из закона Фурье:

$$dQ = \kappa_i \frac{dT}{dx_i} S$$

где  $Q$  – тепловой поток,  $\kappa$  – коэффициент теплопроводности,  $\frac{dT}{dx_i}$  – градиент температуры в структуре,  $S$  – площадь поперечного сечения структуры. Для создания теплового потока в системе на концах структуры располагались термостаты с температурами 310K горячего слоя и 290K холодного слоя.

На рисунке 2а представлена зависимость теплопроводности от количества слоев Si и Ge для ориентации  $\langle 110 \rangle$ . Проанализировав зависимости можно сделать вывод, что минимальное значение теплопроводности достигается при распространении теплового потока перпендикулярно слоям. Для пленок, в которых тепловой поток распространялся вдоль слоев значения теплопроводности выше. Это связано с тем, что теплопроводность, в общем случае, является анизотропным свойством кристалла, и, как следствие, для разных направлений будет разная групповая скорость фононов [2].

На рисунке 2б представлена зависимость теплопроводности от толщины переходного слоя. Снижение теплопроводности в данном случае вызывается дополнительным рассеянием фононов на границе раздела между Si и Ge. Однако, для тонких пленок с толщиной 8 монослоев в Si/Ge ячейке теплопроводность при 4 монослойной смешанной границе оказалась немного выше. Это связано с тем, что в данном случае получается идеальный твердый раствор, в котором отсутствует один механизм рассеяния – рассеяние на внутренних границах раздела.

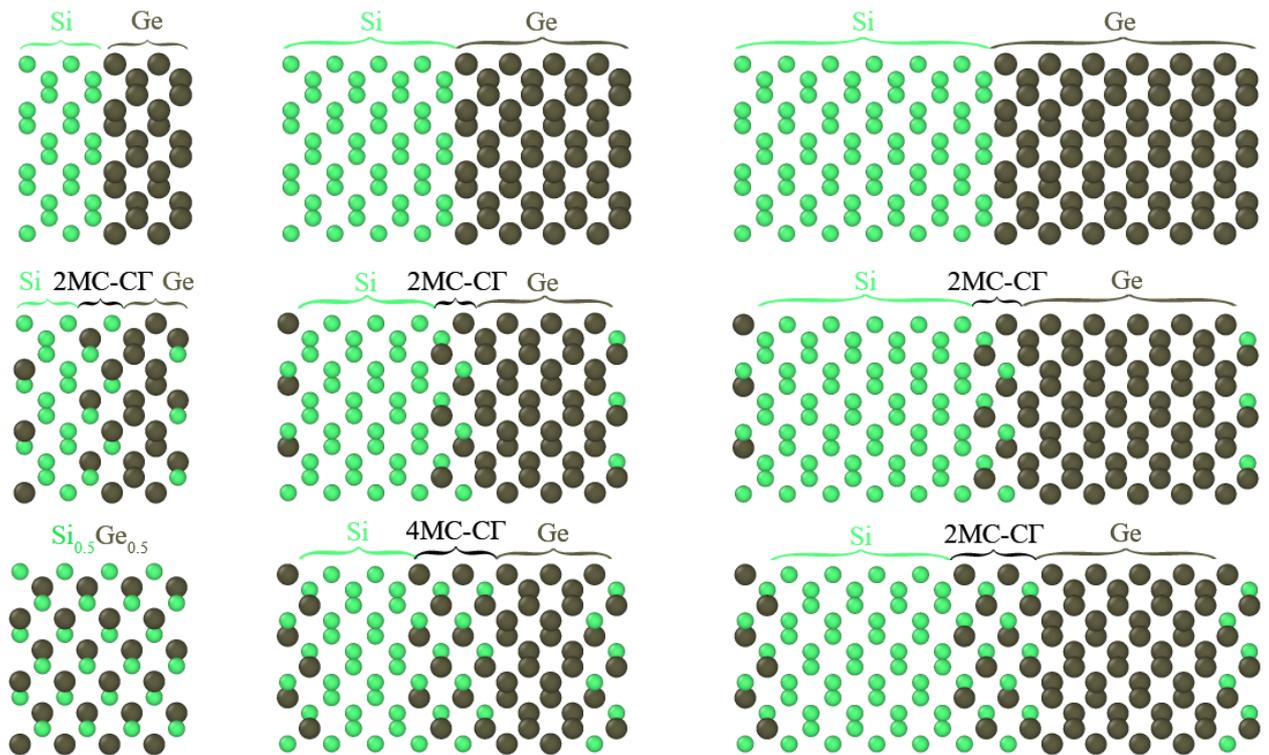


Рисунок 1 – Модель тонкопленочной структуры для ориентации <110>

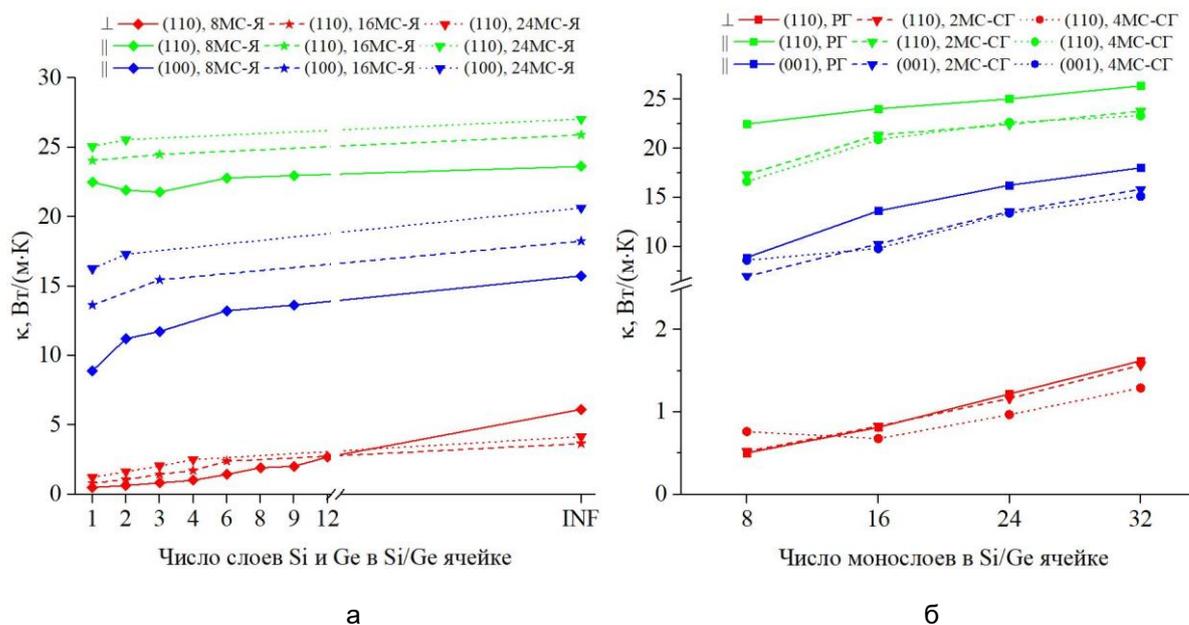


Рисунок 2 – Зависимость теплопроводности от количества слоев (а) и толщины переходного слоя (б) для ориентации <110>

Таким образом, проведен расчет теплопроводности тонких пленок SiGe. Полученные зависимости показали, что снизить решеточную составляющую теплопроводности можно путем уменьшения размеров пленки и добавлением внутренних границ раздела.

**Список использованных источников:**

1. Anisotropic heat conduction in cubic crystals in the boundary scattering regime / A.K. McCurdy, H. J. Maris and C. Elbaum// *Phys. Rev. B* 2, 4077 – Published 15 November 1970.
2. Thermal conductivity engineering of bulk and one-dimensional Si-Genanoarchitectures / Ali Kandemir, AybekOzden, TahirCagin, CemSevik // *Science and Technology of Advanced Material.* – 2017. – Vol. 18, NO. 01, P. 187-196.

## МЕТАЛЛ-СТИМУЛИРОВАННОЕ ХИМИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ КРЕМНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕНДРИТОВ СЕРЕБРА

Гревцов Н.Л.

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

Бондаренко В.П. – канд. техн. наук, доцент

Исследован процесс химического травления кремниевых пластин, стимулированного дендритами серебра. Нанонити, полученные данным методом на подложках n-типа, обладают меньшим аспектным соотношением по сравнению с их аналогами p-типа, что приписывается меньшей концентрации свободных дырок. Увеличение длины нитей путем повышения продолжительности осаждения объясняется окислением и переосаждением серебра с металлических дендритов большой площади.

Металл-стимулированное химическое травление может быть использовано для формирования в приповерхностной области кремниевых пластин систем пор и/или кремниевых нитей диаметром от единиц нанометров до 1 мкм. Данный процесс осуществляется в две стадии, на первой из которых производится осаждение на кремниевую пластину частиц благородного металла. На второй стадии производится обработка полученной структуры в растворе, содержащем фтористоводородную кислоту и окислитель. При этом за счет каталитической активности металла в реакции восстановления окислителя, приводящей к локальному окислению пластины, области кремния, расположенные непосредственно под осажденными частицами металла, растворяются в HF намного быстрее, чем области без металлического покрытия. Различие в скоростях травления приводит к формированию в обрабатываемой подложке пористой структуры, на морфологию которой оказывают существенное влияние многочисленные параметры процесса [1].

Основной проблемой создания упорядоченных массивов кремниевых нанонитей с требуемыми структурными и оптическими параметрами является плохая воспроизводимость существующих в настоящее время методик, не включающих фотолитографию и иные дорогостоящие методы упорядочения металлической маски. С целью внесения вклада в ее решение в составе настоящей работы произведено установление влияния типа легирования обрабатываемой кремниевой пластины, а также толщины сформированного на первой стадии слоя дендритов серебра на структуру формируемых нанонитей.

В качестве подложек для формирования массивов кремниевых нанонитей использовались пластины монокристаллического кремния электронного типа проводимости, легированные фосфором, с кристаллографической ориентацией (100) и удельным сопротивлением 20 Ом·см, или КЭФ 20, а также пластины дырочного типа проводимости, легированные бором, с кристаллографической ориентацией (100) и удельным сопротивлением 12 Ом·см, или КДБ 12.

Для *осаждения серебра* использовался 10 мМ водный раствор  $\text{AgNO}_3$ , содержащий HF и  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ . Осаждение серебра производилось в течение 0.5–10 минут. В 34 мл применяемого раствора содержится 0.34 мл  $\text{AgNO}_3$  (1 М), 4 мл HF (45%), 2 мл  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  и 27.66 мл  $\text{H}_2\text{O}$ . В состав раствора, применяемого для *травления* подложки, входят HF и пероксид водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$ , выступающий в качестве окислителя. Травление образцов производилось в течение 60 минут. В 30 мл применяемого раствора содержится 5.82 мл HF (45%), 0.475 мл  $\text{H}_2\text{O}_2$  (50%) и 23.525 мл  $\text{H}_2\text{O}$ .

Как видно из РЭМ изображений полученных структур (рисунок 1), варьирование продолжительности осаждения позволяет с достаточной точностью контролировать аспектное соотношение формируемых нанонитей.

На структурах, полученных при длительном осаждении серебра (более 3 минут), ярко выражен рост слоя металлических дендритов большой толщины, не принимающих непосредственного участия в процессе травления. Их присутствие значительно затрудняет получение РЭМ изображений поверхности образцов, однако приводит к существенному повышению длины формируемых на стадии травления нанонитей. Предположительно, это обусловлено следующими факторами:

1. Существенный объем металлических дендритов, погруженный на стадии травления в раствор с содержанием  $\text{H}_2\text{O}_2$ , окисляется с образованием большого числа ионов  $\text{Ag}^+$ , которые впоследствии восстанавливаются до Ag и переосаждаются [2]. Переосаждение может происходить как на кремнии, так и на других частицах серебра, в том числе на глубине пор [3].

2. Диффузия генерируемых при переосаждении дырок в приповерхностные частицы металла, принимающие непосредственное участие в травлении, приводит к повышенной скорости окисления кремния [4].

3. Значительная масса дендритов означает более плотное прилегание нижележащих частиц серебра к поверхности подложки. Данный фактор может повышать скорость диффузии дырок из этих частиц в кремний, ускоряя окисление подложки.

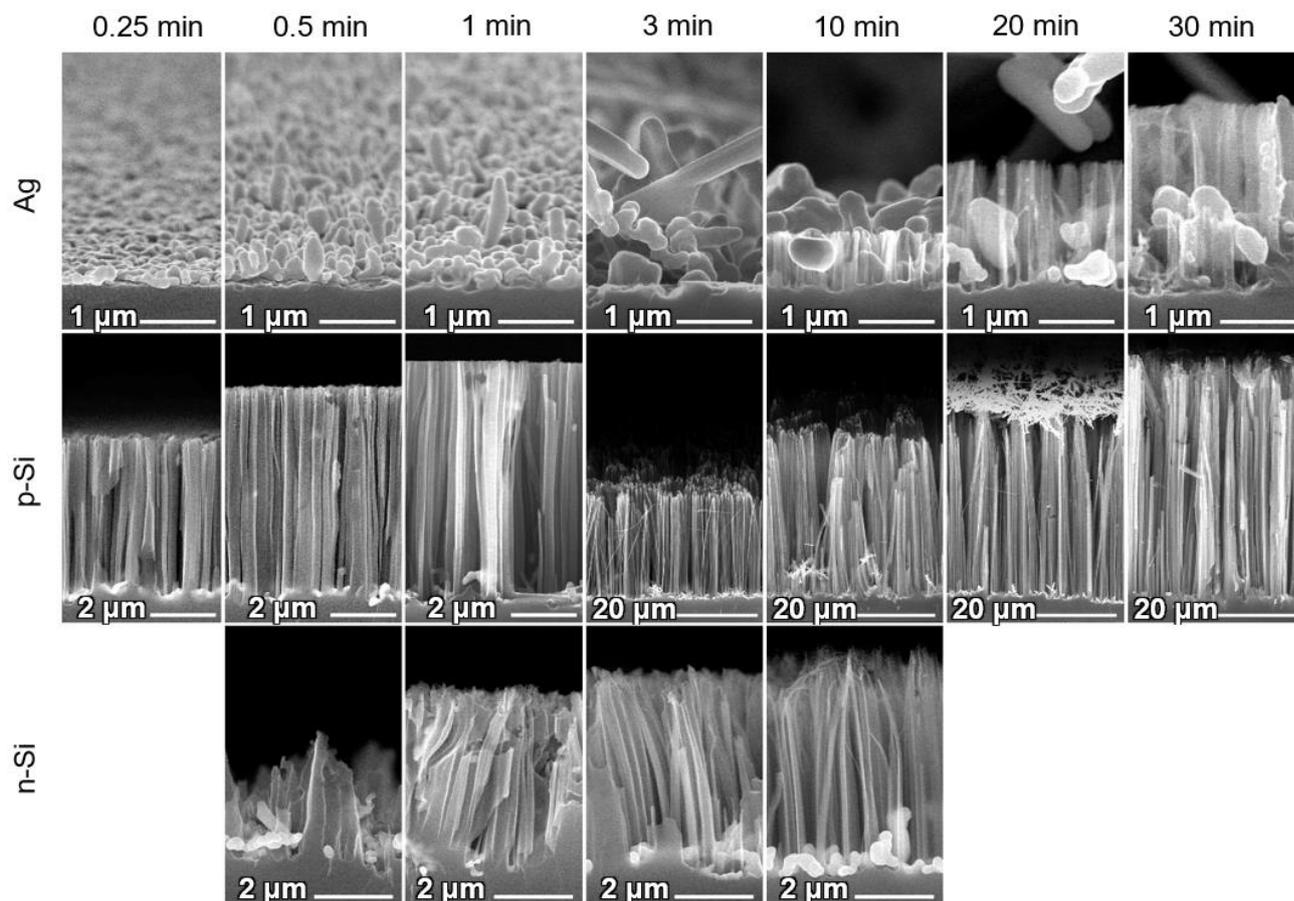


Рисунок 1 – РЭМ изображения боковых сколов образцов с осажденным слоем серебра (сверху) и соответствующих им структур (снизу), полученных металл-стимулированным химическим травлением пластин р- и n-типов при различных продолжительностях стадии осаждения серебра

Стоит отметить нелинейный характер зависимости длины формируемых нанонитей от продолжительности осаждения. Рост толщины слоя дендритов означает все большее затруднение доступа  $\text{H}_2\text{O}_2$  и  $\text{HF}$  к поверхности кремния и глубине пор по мере увеличения времени осаждения, в том числе – за счет уменьшения ширины промежутка между кремнием и металлом, в котором происходит транспорт реагентов и продуктов реакции.

Сравнение динамики роста длины нанонитей с повышением времени осаждения для подложек различного типа проводимости показывает, что структуры, формируемые на кремниевых пластинах n-типа, обладают несколько большим диаметром и значительно меньшей (и менее равномерной в разных точках) длиной. Это особенно ярко выражается при большой продолжительности осаждения, где имеется различие в длине нанонитей почти на один порядок. При этом рост дендритов серебра происходит всё с той же скоростью, существенно замедляя процесс травления на его поздних этапах.

Разница в скорости травления может объясняться меньшей концентрацией свободных дырок, требуемых для процесса окисления кремниевой подложки.

**Список использованных источников:**

1. Huang, Z. *Metal-Assisted Chemical Etching of Silicon: A Review* / Z. Huang [et al.] // *Advanced Materials*. – 2010. – Vol. 23, iss. 2. – P. 285–308.
2. Huang, Z. *Silicon Nanowires with Mesopores: Fabrication and Optical Properties* / Z. Huang, J. Liu // *JSM Nanotechnology & Nanomedicine*. – 2015. – Vol. 3, iss. 1. – P. 1035.
3. Wee, Q. *Optimized Silicon Nanostructures Formed by One-Step Metal-Assisted Chemical Etching of Si (111) Wafers for GaN Deposition* / Q. Wee, J. Ho, S. Chua // *ECS Journal of Solid State Science and Technology*. – 2014. – Vol. 3, iss. 6. – P. 192–197.
4. Vinzons, L. *Unraveling the Morphological Evolution and Etching Kinetics of Porous Silicon Nanowires During Metal-Assisted Chemical Etching* / L. Vinzons [et al.] // *Nanoscale Research Letters*. – 2017. – Vol. 12, iss. 385.

## ДЕГРАДАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МОП-СТРУКТУР В УСЛОВИЯХ НАКОПЛЕНИЯ ЗАРЯДА В ПОДЗАТВОРНОМ ДИЭЛЕКТРИКЕ НА ОСНОВЕ ДВУОКИСИ КРЕМНИЯ

Писаренко Н.С.

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

Бондаренко В.П. – канд. техн. наук, доцент

Деградация характеристик МОП транзисторов, связанная с ухудшением свойств подзатворного диэлектрика на основе диоксида кремния, является одной из основных проблем отечественных КМОП ИМС. Решение этой проблемы обуславливает дальнейшую миниатюризацию и увеличение надежности микроэлектронных устройств. Практическая значимость проводимых научных исследований связана с необходимостью повышения надежности МОП транзисторов субмикронных размеров на кремниевых подложках КДБ12 (100) и КДБ10 (111). Настоящая работа посвящена исследованиям, направленным на повышение качества подзатворного оксида в условиях изготовления отечественных ИМС, что позволит значительно снизить количество брака и отказов, связанных с пробоем подзатворного диэлектрика.

МОП транзисторы являются основой для значительной части изделий, выпускаемых для различных отраслей электронного приборостроения (бытовая техника, компьютеры, ракеты, спутники) и робототехники. На их основе строится большинство современных интегральных схем (ИМС), среди которых есть также и схемы с большой степенью интеграции. МОП ИМС обладают рядом преимуществ перед другими электронными приборами. При равных функциональных возможностях они имеют меньшие геометрические размеры, чем ИМС на биполярных транзисторах. Процесс изготовления МОП ИМС проще, чем биполярных ИМС. Значительным преимуществом является высокая надежность и высокая скорость работы цифровых КМОП ИМС [1].

По мере развития технологии размеры МОП транзисторов существенно уменьшились и ученые столкнулись с ухудшением характеристик и параметров, а также последующим отказом транзисторов. Одним из основных видов отказа МОП транзисторов является пробой подзатворного (обычно  $\text{SiO}_2$ ) диэлектрика, на его долю приходится около 50% брака.

Около 90% современных отечественных изделий изготавливаются на подложках КДБ12 (100) и КДБ10 (111). В зависимости от назначения и конструктивно-технологических особенностей существуют два типа КМОП ИМС: без подлегирования и с подлегированием канала методом ионной имплантации. Это оказывает воздействие на пороговые напряжения структур и на качество границы раздела  $\text{Si-SiO}_2$ .

Срок службы МОП транзисторов во многом зависит от деградиационного воздействия горячих носителей и пробоя подзатворных оксидных слоев, которые приводят к недопустимому увеличению паразитного тока. Эти процессы обусловлены постепенно нарастающим накоплением дефектов и захватом зарядов на них. Однако в случае воздействия горячих носителей, происходит ухудшение параметров выходных характеристик МОП транзисторов, обусловленное накоплением заряда с течением времени в объеме подзатворного диэлектрика и на границе раздела  $\text{Si/SiO}_2$ . При возникновении пробоя подзатворных оксидных слоев происходит выход из строя транзисторов, который вызван в свою очередь процессом образования проводящих каналов в подзатворном оксиде в результате влияния эффектов нейтральных и заряженных дефектов [2].

Особой чувствительностью к электрически активным дефектам обладают методы, использующие критические радиационные, термополевые и инжекционные воздействия. Целью настоящей работы является изучение физических механизмов деградации характеристик МОП транзисторов, особенностей переноса заряда в областях зарядовых дефектов, устойчивости диэлектрических пленок к пробую, выявление природы дефектов, приводящих к ухудшению свойств диэлектрических пленок.

Практическая значимость проводимых нами исследований связана с необходимостью повышения надежности МОП транзисторов субмикронных размеров на кремниевых подложках. Повышение качества подзатворного оксида в условиях изготовления отечественных ИМС позволяет значительно снизить количество брака, связанного с пробоем подзатворного диэлектрика [3].

### Список использованных источников:

1. Красников, Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов/ Красников, Г.Я. Москва: Техносфера, 2011. - 800 с.
2. Ферри Д., Электроника ультрабольших интегральных схем/ Ферри Д., Эйкерс Л., Гринич Э. Мир, 1991. - 327 с.
3. Сорокин, И. Н. Технология электронных компонентов / Сорокин И. Н. -М.: МИЭТ, 1999. - 100 с.

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Никонов Ф.Д., Селезнев А.С., Шлык И.Р.*

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

*Уткина Е.А. – канд. техн. наук, доцент*

В современных системах преобразования солнечного излучения в электричество одной из главных задач является повышение их эффективности. Одним из направлений является расширение спектрального диапазона и азимутального распределения поглощения солнечного излучения фотоэлектрическими преобразователями солнечной энергии. Использование наноструктурированных оснований-подложек, поиск и разработка новых материалов и методов формирования гетеропереходов солнечных элементов (СЭ) позволяют решать эту задачу.

Фотовольтаический (солнечный) элемент представляет собой фотоэлектрическое устройство, в котором энергия фотонов солнечного света превращается непосредственно в электричество за счет фотовольтаического эффекта. Электрические характеристики солнечных элементов (СЭ), например, фототок, выходное напряжение, электрическое сопротивление изменяются при поглощении фотонов [1].

Наиболее распространенными являются в настоящее время СЭ на основе монокристаллического и поликристаллического кремния. Однако, стоимость таких устройств пока остается достаточно высокой, и их удельная мощность в расчете на единицу стоимости (Вт/руб.) является низкоконтурной в сравнении с другими источниками электрической энергии.

Вторая группа СЭ – это тонкопленочные солнечные элементы (ТП-СЭ). В тоже время, многие современные ТП-СЭ содержат такие токсичные, редкие и дорогие элементы, как кадмий, индий, теллур, галлий и т.д., что повышает стоимость их изготовления, небезопасно с точки зрения экологии и широкомасштабного коммерческого использования. Новые полупроводниковые материалы  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  (CZTS) и  $\text{SnS}_x$  являются одними из наиболее эффективных полупроводников и содержат распространенные, с низкой стоимостью, материалы, обладающие высокой стабильностью – медь, цинк, олово, серу. Благодаря оптимальной для фотоэлектрических элементов ширине запрещенной зоны  $E_g \sim 1.5$  эВ и  $1.4$  эВ, соответственно, а также высокому коэффициенту поглощения излучения  $\sim 10^4 \text{ см}^{-1}$  такие материалы могут служить альтернативой используемым в настоящее время полупроводниковым соединениям.

Один из путей повышения эффективности СЭ - применение наноструктурированных оснований-подложек, на которые производится осаждение пленок полупроводников. К числу таких материалов относятся структуры на основе пористого анодного оксида алюминия, позволяющие значительно повысить эффективность поглощения солнечного излучения в СЭ благодаря увеличению эффективной площади поверхности и расширению спектрального диапазона поглощения солнечного излучения [2].

С точки зрения выбора оптимальных материалов для СЭ – в сравнительном исследовании авторы [1] пришли к заключению, что образец СЭ на основе гетероструктуры  $\text{ZnO:Al/CZTS}$ , содержащий внедренный буферный слой  $\text{SnS}$ , демонстрирует меньше дефектов, вторичных фаз и обладает более стехиометрическим составом полупроводника CZTS. На рисунке 1 представлено схематическое изображение такого солнечного элемента. Успешно исследуются и другие альтернативные безкадмиевые материалы для буферного слоя СЭ на основе CZTS полупроводников -  $\text{ZnO}$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{In}_2\text{S}_3$ ,  $\text{Zn(O,S)}$  [3].

Обязательным условием разработки современных эффективных СЭ является компьютерное моделирование их электронных и фотоэлектрических характеристик с привлечением специализированных программ [4], что позволяет сократить материальные и временные ресурсы при оптимизации конструкции СЭ, подборе оптимальных материалов и технологических процессов. Так, в работе [5] проведен анализ гетероструктуры на основе CZTS с  $\text{SnS}_2$  в качестве буферного слоя и  $\text{SnS}$  в качестве тыльного барьерного слоя.

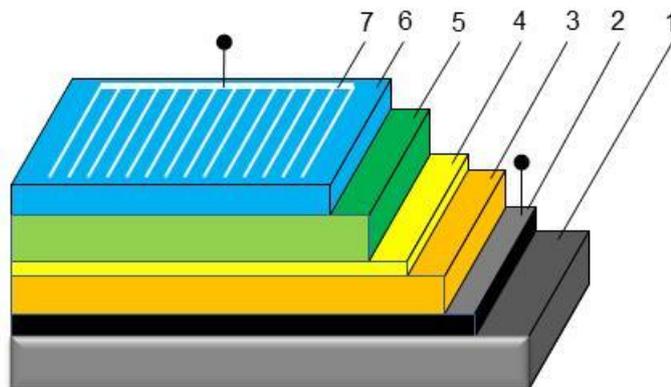


Рисунок 1 – Схематическое изображение тонкопленочного солнечного элемента:  
 1- наноструктурированная подложка; 2- Al тыльный контакт; 3- CZTS слой поглотитель излучения;  
 4- SnS буферный слой; 5- широкозонный ZnO:Al слой; 6- прозрачный проводящий слой;  
 7- Al токосъемный электрод

Таким образом, повышение эффективности преобразования солнечного излучения с помощью ТП-СЭ может быть достигнуто следующими основными методами:

1. Оптимизация конструкции ТП-СЭ с помощью компьютерного моделирования. На этой стадии производится выбор и оптимизация электрофизических параметров материалов и тонких пленок, составляющих гетероструктуру СЭ – толщина слоев, спектральные характеристики поглощения излучения, тип легирующей примеси, уровень легирования, и т.п.

2. Использование наноструктурированной подложки, на которой формируются активные полупроводниковые слои, для повышения эффективности поглощения солнечного излучения. Одним из недорогих способов создания таких подложек является электрохимическое окисление (анодирование) алюминия в режиме формирования пористого оксида алюминия с последующим удалением (полным или частичным) данного оксида, в результате чего образуется наноструктурированная подложка с развитой поверхностью, позволяющей увеличить величину поглощения падающего излучения в активном слое полупроводника CZTS.

3. Разработка новых недорогих методов осаждения полупроводниковых материалов типа  $\text{SnS}_x$  и CZTS, а также методов исследования их свойств. Среди таких перспективных методов – электрохимическое осаждение, а также послойное химическое осаждение – т.н. метод SILAR (successive ionic layer adsorption and reaction).

4. Уменьшение количества дефектов структуры и вредных примесей в объеме активного полупроводникового слоя CZTS с целью увеличения времени жизни неосновных носителей заряда и ограничения их рекомбинации, что достигается оптимизацией процессов препарирования подложки и последующего осаждения слоя основного полупроводника и широкозонного верхнего слоя гетероструктуры.

5. Выбор оптимального материала буферного слоя и метода его формирования.

6. Выбор материала тыльного омического контакта для уменьшения рекомбинации неосновных носителей заряда и снижения резистивных потерь. Сюда же относится и оптимизация конструкции верхнего токособирающего электрода.

**Список использованных источников:**

1. S.A. Khalate, R.S. Kate, R.J. Deokate. A review on energy economics and the recent research and development in energy and the  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  (CZTS) solar cells: A focus towards efficiency // *Solar Energy*. - 2018. – V.169. –P. 616–633.
2. Zhao, L.-R. Anodic aluminum oxide films formed in mixed electrolytes of oxalic and sulfuric acid and their optical constants / Zhao L.-R., Wang J., Li Y., Wang C.-W., Zhou F., Liu W.-M. // *Physica B*. - 2010. – V.405. – P. 456–460.
3. Xin Cui, Kaiwen Sun, Jialiang Huang, Chang-Yeh Lee, Chang Yan, Heng Sun, Yuanfang Zhang, Fangyang Liu, Md. Anower Hossain, Yahya Zakaria, Lydia Helena Wong, Martin Green, Bram Hoex, Xiaojing Hao. Enhanced heterojunction interface quality to achieve 9.3% efficient Cd-free  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  solar cells using atomic layer deposition ZnSnO buffer layer // *Chem. Mater.* - 2018. – V. 30(21). – P. 7860–7871.
4. Интернет-ресурс: <http://scaps.elis.ugent.be>
5. A. Kumar, A.D. Thakur. Analysis of  $\text{SnS}_2$  buffer layer and SnS back surface layer based CZTS solar cells using SCAPS // *arXiv.org >cond-mat>arXiv:1510.05092* (2015)

## ФОРМИРОВАНИЕ АНОДНОГО НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ПОРИСТОГО ОКСИДА ТИТАНА ДЛЯ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Тихонов И.А., Коренькова С.Ю.

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

Чубенко Е.Б. – канд. техн. наук, доцент

В данной работе представлены результаты исследования процесса формирования плёнок наноструктурированного анодного диоксида титана, изучена его структура и морфология, а также поэтапно рассмотрена предполагаемая кинетика роста синтезируемых наноструктур.

Исследования самоорганизованных наноструктурированных плёнок диоксида титана крайне актуальны, как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения. В частности, внимание к нанотрубчатым анодным оксидам титана обусловлено их возможным применением в газовых сенсорах, катализаторах, солнечных элементах, биосовместимых материалах. Использование безводных фторсодержащих электролитов, таких как, глицерин или этиленгликоль с добавлением  $\text{NH}_4\text{F}$ , позволило получить нанотрубчатые анодные оксидные покрытия на титане толщиной до нескольких сотен нм [1].

Для формирования анодного наноструктурированного диоксида титана пластины металлического титана толщиной 100 мкм предварительно полировались пастой ГОИ, после чего очищались в ацетоне. Анодирование пластин производилось в потенциостатическом режиме при помощи платинового катода в электролите, который представлял собой безводный 0,5 % раствор фторида аммония в этиленгликоле. Спектры рамановского рассеяния были получены при помощи 3D сканирующего лазерного Рамановского микроскопа SOL Instruments Confotec NR 500. Электронные фотографии образцов получены на растровом электронном микроскопе (РЭМ) Hitachi S-4800.

На рисунке 1 представлены электронные микрофотографии нанотрубчатого  $\text{TiO}_2$  полученного при 50 В в течение 30 мин. На поперечном срезе хорошо видны боковые поверхности нанотрубок, а также их идеальная цилиндрическая форма. Это означает, что размеры трубок по мере роста толщины плёнки не изменяются в процессе их формирования. Также важно отметить равномерность толщины плёнки, о чём свидетельствует неизменная высота нанотрубок на всей площади образца.

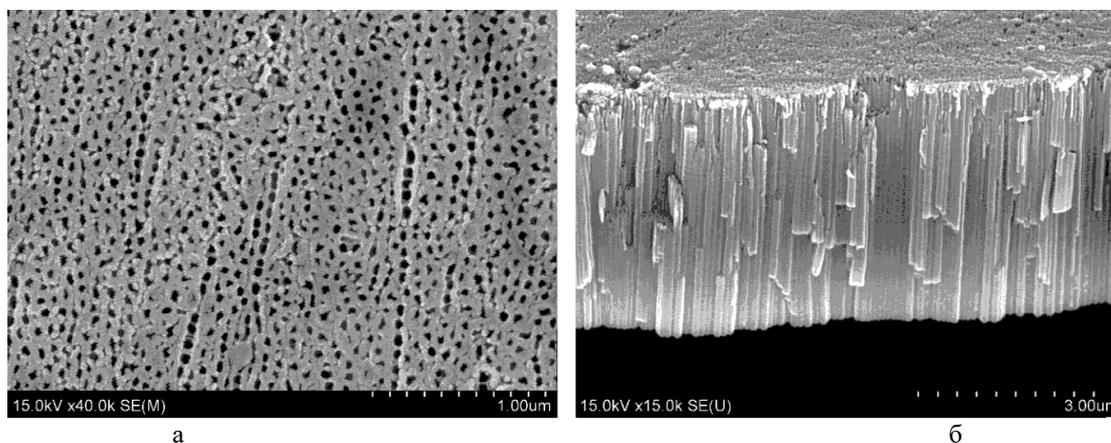


Рисунок 1 – Полученные с помощью РЭМ изображения поверхности (а) и поперечного скола (б) нанотрубчатого диоксида титана, синтезированного методом анодирования в течение 30 мин при 50 В

Микрофотография поверхности показывает, что сформированные нанотрубки неравномерно распределены по площади образца и в некоторых участках образовали линейные кластеры, связанные с дефектами исходной титановой подложки. При анодировании неполированного титана плёнка неравномерна по толщине и её поверхность имеет грубый рельеф, некоторые группы нанотрубок сростаются друг с другом. При изменении напряжения обработки титановых пластин от 40 до 60 В средний внутренний диаметр нанотрубок увеличивается от 33 до 51 нм.

При отжиге образцов при температуре 500 °С в течение двух часов, морфология плёнки сохраняется, как и распределение пор по внутреннему диаметру. Однако если до отжига плёнка наноструктурированного материала по данным рамановской спектроскопии представляла собой аморфный диоксид титана (рисунок 2), то в процессе отжига она приобретает кристаллическую структуру типа анатаза. Об этом свидетельствуют характерные для данной модификации кристаллической решётки пики на спектре, расположенные в точках с волновыми числами 395, 515 и 640  $\text{см}^{-1}$  (см. рисунок 2). Анатаз имеет наилучшие фотокаталитические свойства среди других модификаций кристаллической решётки диоксида титана.

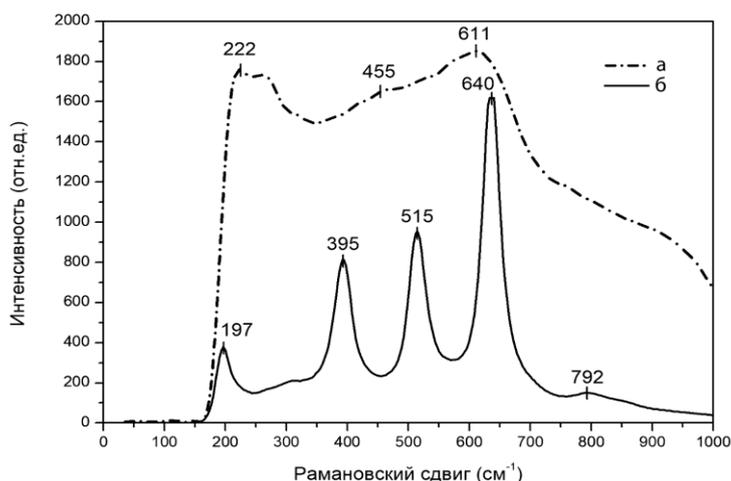


Рисунок 2 – Спектры комбинационного рассеяния нанотрубчатого диоксида титана до (а) и после (б) отжига при температуре 500 °С в течение 2 ч

Согласно источникам [2], рассмотрим возможную кинетику роста нанотрубчатого анодного диоксида титана. На рисунке 3 представлены предполагаемые этапы формирования наноструктурированной плёнки. В начале анодирования образец представляет собой пластину металлического титана с естественным слоем оксида (а), в котором начинают протравливаться небольшие углубления (б). Далее эти углубления начинают расти в полноценные поры до тех пор, пока они не приблизятся к границе раздела металл/оксид (в). По достижению этой границы происходит мгновенная репассивация дна пор (г) и рост структуры продолжается. По мере роста, концентрация ионов  $O^{2-}$  между пор уменьшается вследствие падения напряжённости электрического поля. В результате образуется оксид титана со степенью окисления меньше, чем +4, который легче растворяется в электролите. Травление данных оксидных фаз приводит к появлению пустот между отдельными порами (д), отчего структура становится трубчатой (е). В процессе роста каналов структуры в ширину, на дне трубок начинается образование новых пор (ж, з). Для того, чтобы этого избежать необходимо тщательно подбирать режим анодирования.

Данная работа выполнена в рамках задания 2.21 ГПНИ Республики Беларусь «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии» и гранта БРФФИ X18М-107. Авторы также выражают благодарность Д.В. Жигулину за проведения растровой электронной микроскопии образцов.

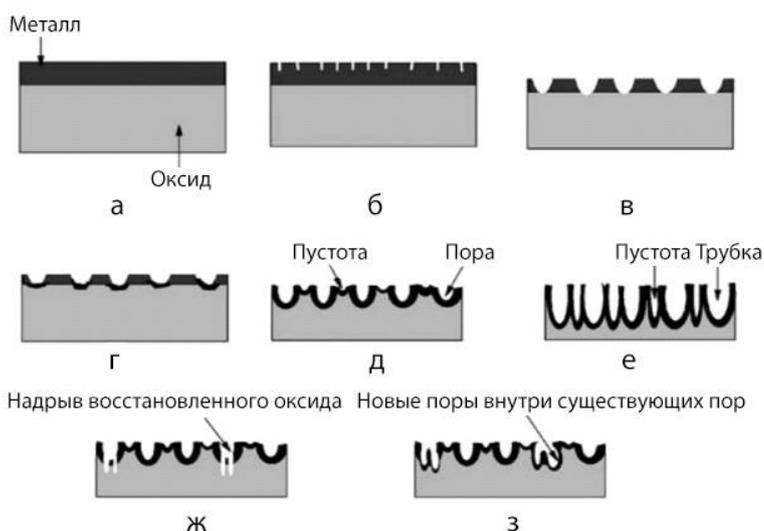


Рисунок 3 – Предполагаемые этапы формирования наноструктурированной плёнки диоксида титана [2]

**Список использованных источников:**

1. Атомная структура нанотрубчатого анодного оксида титана / Савченко О. И., Яковлева Н. М., Яковлев А. Н. // *Конденсированные среды и межфазные границы*. – 2013. – Т. 14. – С. 243-249.
2. Fabrication of titanium oxide nanotube arrays by anodic oxidation / Zhao J., Wang X., Chen R., Li L. // *Solid State Commun.* – 2005. – Vol. 134. – P. 705-710.

## ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦИНКА В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ

Коренькова С.Ю., Тихонов И.А.

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

Чубенко Е.Б. – канд. техн. наук, доцент

Химическим гидротермальным методом синтезированы частицы оксида цинка в объеме растворов на основе нитрата цинка  $Zn(NO_3)_2$ . Полученные частицы были помещены в диэлектрическую оптически прозрачную матрицу силиката натрия. Композитный материал путем центрифугирования послойно наносился на подложку монокристаллического кремния. Получены электронные фотографии наночастиц оксида цинка на кремниевых подложках до и после внесения в матрицу силиката натрия, изучены спектры фотолюминесценции для различных значений pH исходного раствора.

Оксид цинка является перспективным полупроводниковым материалом для изготовления оптоэлектронных [1], фотовольтаических и пьезоэлектрических [2] устройств. ZnO – прямозонный полупроводник с шириной запрещенной зоны 3,37 эВ при температуре 300 К и энергией связи экситона 60 мэВ. Данный материал имеет большое преимущество над такими широкозонными полупроводниками как GaN (энергия связи экситона 21–25 мэВ) и ZnSe (20–22 мэВ) [1], а также обеспечивает эффективную экситонную эмиссию даже при комнатной температуре и представляет наибольший интерес для высокоэффективных коротковолновых наноприборов благодаря высокой механической и термической стабильности [3]. Кристалл ZnO представляет собой гексагональный вюрцит и имеет параметры кристаллической решетки  $a = 0,3296$  нм и  $c = 0,52065$  нм. В качестве стабилизирующей оптически прозрачной матрицы оптимальным выбором стало жидкое стекло – водный щелочной раствор силиката с формулой  $Na_2O(SiO_2)_n$ .

На данный момент известно большое количество методов получения наночастиц ZnO, и одним из них является низкотемпературный метод химического гидротермального синтеза, отличающийся низкой себестоимостью, возможностью использования гибких подложек, простотой контроля параметров морфологии и свойств получаемого материала [4].

Гидротермальный синтез проводили путем термического разложения  $Zn(NO_3)_2$  при температуре 100 °С в течение 2 ч. Для осаждения оксида цинка использовался водный раствор, содержащий нитрат цинка  $Zn(NO_3)_2$  и гексаметиленetetрамин  $C_6H_{12}N_4$  в эквимольной концентрации (0,01 М). ГМТА влияет на морфологию наночастиц, помогая им расти упорядоченно. pH приготовленных растворов варьировался в пределах 3–5. После высыхания по истечении суток порошкообразный оксид цинка в составе водного раствора соединялся с жидким силикатом натрия в пропорции 1:1. Данная суспензия наносилась послойно на поверхность монокристаллической кремниевой подложки путем центрифугирования при скорости 1000 об/мин. Электронные фотографии образцов получены на растровом электронном микроскопе (РЭМ) Hitachi S-4800. Спектру фотолюминесценции исследованы на лазерном спектрометрическом комплексе на базе монохроматора-спектрографа SOLAR MS7504i с использованием в качестве детектора цифровой камеры с кремниевой ПЗС матрицей. В качестве источника излучения выступала ксеноновая лампа мощностью 1 кВт. Узкие монохроматические линии из широкого спектра лампы выделялись при помощи двойного монохроматора SOLAR DM 160. Все измерения проводились при комнатной температуре.

Электронные микрофотографии свободных частиц ZnO из раствора, помещенных на кремниевую подложку, приведены на рисунке 1. На изображениях (рисунок 1, а, б) отчетливо видны конгломераты из крупных (с диаметрами от 200 нм до 550 нм) и мелких (с диаметрами от 30 нм до 60 нм) частиц, которые имеют форму наностержней гексагональной формы, характерной для кристаллов с решеткой типа вюрцита. После внедрения наночастиц в стабилизирующую матрицу силиката натрия (рисунок 1, с, д) заметно увеличилась упорядоченность конечной структуры, а также плотность распределения наночастиц по поверхности подложки. Диаметры наночастиц оксида цинка, распределенных в объеме матрицы, варьируются в диапазоне от 30 нм до 50 нм. Крупные кристаллы оксида цинка в матрице силиката натрия не были обнаружены.

На рисунке. 2, а, б представлены спектры фотолюминесценции наноструктурированного оксида цинка, сформированного в растворах с различным pH до и после внесения в матрицу силиката натрия. На спектре фотолюминесценции оксида цинка при комнатной температуре присутствуют две полосы фотолюминесценции с максимумами в ультрафиолетовой и видимой областях. В области ультрафиолета максимум полосы расположен на длине волны  $\lambda_{max1} = 383$  нм. Данный пик соответствует экситонной люминесценции, обусловленной рекомбинацией свободных экситонов. Широкая полоса фотолюминесценции с максимумом на длине волны  $\lambda_{max2} = 590$  нм связана с рекомбинационными процессами, протекающими на глубоких энергетических уровнях в запрещенной зоне, и ее происхождение обусловлено различными типами поверхностных дефектов [5], таких как ионизированные вакансии кислорода  $V_o$  и междоузельные атомы кислорода  $O_i$  [6].

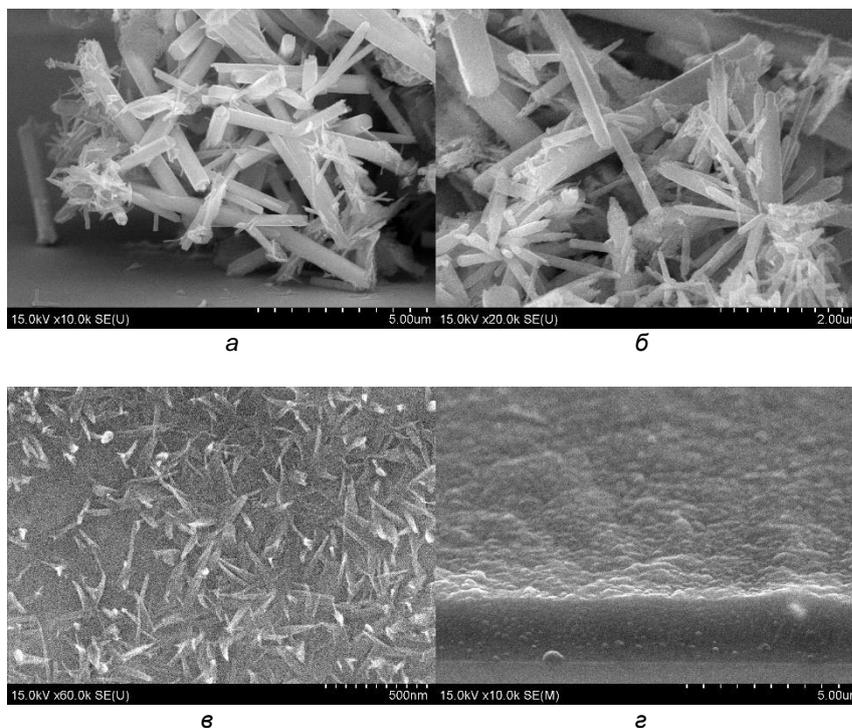


Рисунок 1 – Электронные фотографии кристаллов оксида цинка, сформированных гидротермальным методом при  $pH=3,35$  исходного раствора, и помещенных на монокристаллическую кремниевую подложку: до внесения частиц в матрицу силиката натрия (а, б), в составе матрицы силиката натрия (в, г)

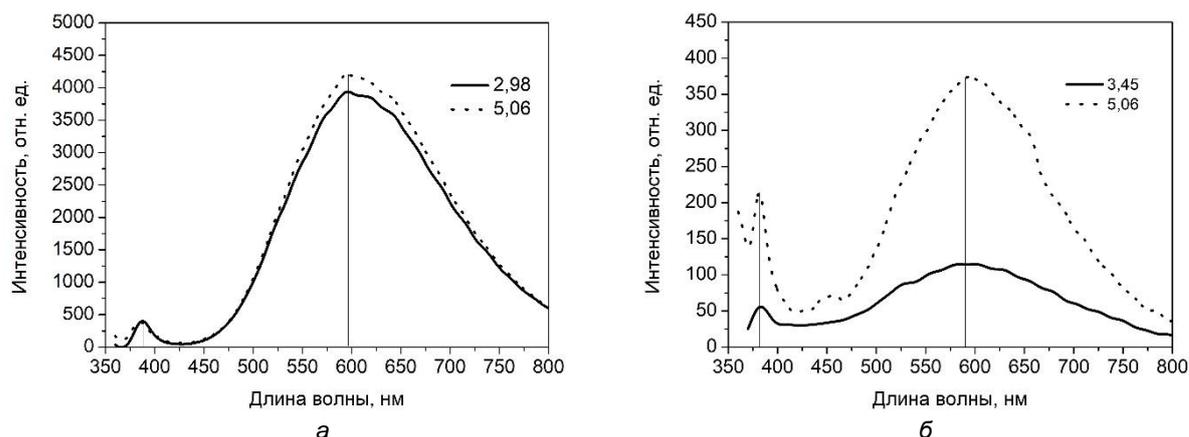


Рисунок 2 – Спектры фотолюминесценции наночастиц оксида цинка при различных значениях  $pH$  раствора без внесения в матрицу силиката натрия (а) и после внесения в матрицу силиката натрия (б)

Спектры фотолюминесценции частиц оксида цинка при комнатной температуре показали, что стабилизирующая матрица оказывает влияние на интенсивность фотолюминесценции композитного материала в видимой области спектра и уменьшение количества поверхностных центров безызлучательной рекомбинации, сохраняя при этом относительно высокую интенсивность экситонной рекомбинации в ультрафиолетовой области.

Данная работа выполнена в рамках задания 2.21 ГПНИ Республики Беларусь «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии». Авторы также выражают благодарность Д.В. Жигулину за проведения растровой электронной микроскопии образцов.

**Список использованных источников:**

1. Synthesis and photoluminescence characterization of ZnO nanoparticles / R. Davood // *J.of Lumin.*, 2013. – P. 213-214.
2. An overview of lead-free piezoelectric materials and devices / H. Wei, H. Wang] // *J. of Mater. Chem.C*, 2018. – P. 12446-12448.
3. Люминесценция наностержней оксида цинка / Г.А. Емельченко [и др.] // *ФТП*, 2007. – С. 181-182.
4. Наноструктурированные материалы на основе оксида цинка для гетероструктурных солнечных элементов / А.А. Бобков [и др.] // *ФТП*, 2015. – С. 1401-1403.
5. Effect of adsorption on the photoluminescence of zinc oxide nanoparticles / S. Kim, R.M. Dulanga S. Somaratne., J.E. Whitten // *J.I of Phys. Chem. C*, 2018. – P. 18985-18986.
6. Microwave-hydrothermal synthesis and photoluminescence characteristics of zinc oxide powders / C.H. Lu., W.J. Hwang, S.V. Godbole // *J. of Mater. Res.*, 2005. – P. 469-470.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛОвого ПОТОКА В ОКСИДНЫХ ПОДЛОЖКАХ ИЗ СИТАЛЛА

Лушпа Н.В.

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

Врублевский И.А. – канд. техн. наук, доцент

В работе представлены результаты тепловых исследований для подложки из ситалла с нагревательным элементом, выполненных с помощью тепловизионных измерений. В качестве нагревательного элемента применялась углеродная нить. Результаты исследований показали, что локальный нагрев поверхности с помощью линейного источника тепла может быть использован в термометрии для оценки теплопроводности твердых материалов.

Задачей линейного источника тепла при проведении тепловых измерений в условиях быстропротекающего режима нагрева (нестационарный режим) является обеспечение высокого уровня линейной мощности нагрева. Современные методы термометрии позволяют контролировать температуру поверхности исследуемого материала. Одними из наиболее перспективных методов, используемых для регистрации температуры на поверхности различных материалов, являются оптические, и, в частности, тепловизионные методы [1-3]. Достоинством такого метода является его относительная простота и возможность визуализации процесса изменения температуры в реальном масштабе времени. В данной работе представлены результаты тепловых измерений подложки из ситалла с углеродной нитью в качестве источника тепла.

На рисунке 1 представлены результаты тепловых измерений подложки из ситалла на 20 с нагрева для верхней и нижней стороны платы.

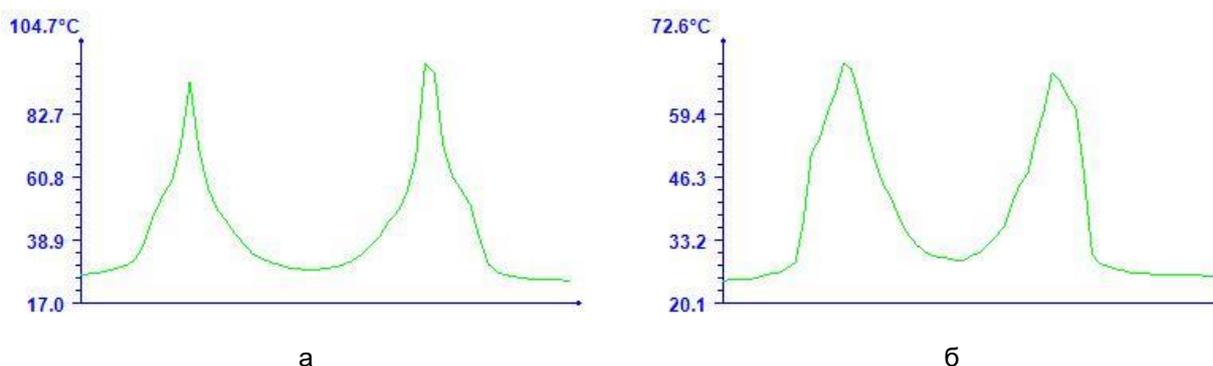


Рисунок 1 – Распределение температуры на поверхности подложки из ситалла на 20 с нагрева для верхней (а) и нижней (б) стороны

На рисунке 1 четко можно выделить два пика температуры на двух ветвях нагревательного элемента. Величина пика температуры относительно поверхности подложки определяется теплопроводностью материала подложки. Как видно из рисунка 1б, на нижней стороне образца площадь под тепловыми кривыми значительно больше, чем на верхней, т.е. тепловой поток от линейного источника тепла распространялся изотропно.

Сделан вывод, что тепловизионные измерения являются действенным методом для регистрации температуры и определения динамики распространения теплового потока на поверхности твердых материалов.

### Список использованных источников:

1. Лушпа, Н. В. Контактный локальный нагрев алюминиевой основы с нанопористым оксидом алюминия линейным источником тепла для использования в термометрии / Лушпа Н. В., Динь Х. Т. // Доклады БГУИР. – 2019. – № 6 (124). – С. 105– 109. – DOI: <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2019-124-6-105-109>.

2. Lushpa N.V. Thermal and electrical characteristics of flat heaters made of aluminum with nanoporous anodic aluminum oxide and a resistive element of carbon filament / N. V. Lushpa and other // 14. Chemnitzer Fachtagung Mikrosystemtechnik: collection of materials of international scientific and practical conference, Chemnitz, 23 - 24 October 2018. – Chemnitz: TU Chemnitz, 2018. – P. 148 – 149.

3. Динь Х.Т. Исследование распространения тепла в плате из алюминия с нанопористым анодным оксидом алюминия тепловизионным методом / Х. Т. Динь [и др.] // Доклады БГУИР. - 2019. - № 1 (119). - С. 45 - 50.

## ЭЛЕКТРОДНАЯ СТРУКТУРА НА БАЗЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ ПЛАНАРНОГО МИКРОСУПЕРКОНДЕНСАТОРА

Кукуть Ю.М.

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

Лабунев В.А. – академик НАН Беларуси,  
д-р техн. наук, профессор

В данной работе разработана технология формирования электродной структуры на базе локализованных массивов углеродных нанотрубок (УНТ) для планарного микросуперконденсатора. Технология основана на взрывной фотолитографии и химическом парофазном осаждении УНТ с комбинированным катализатором. Применение комбинированного катализатора никель-ферроцен позволило достичь толщины пористых электродов 370мкм и минимизировать сопротивление коллектора тока.

Одной из основных тенденций развития электронной промышленности является миниатюризация и повышение степени интеграции элементов на кристалле. В рамках повышения степени интеграции существует потребность в миниатюризации источников питания и миниатюрных накопителей энергии. В последнее десятилетие в качестве миниатюрных накопителей энергии большой интерес представляет суперконденсатор. По плотности мощности и плотности энергии суперконденсаторы занимают промежуточное положение между электролитическими конденсаторами и электрическими аккумуляторами. Для суперконденсаторов характерны длительный срок службы, высокая скорость зарядки-разрядки, а соответственно более высокая плотность мощности, по сравнению с электрическими аккумуляторами [1]. Традиционные суперконденсаторы представляют собой слоистую структуру, состоящую из двух пористых электродов, как правило изготовленных из активированного угля, пропитанных электролитом и разделенных между собой диэлектрической пористой мембраной, проницаемой для ионов электролита. Механизм накопления энергии в суперконденсаторе заключается в формировании двойного электрического слоя на границе раздела твердое тело/электролит.

Технологии микроэлектроники позволяют изготавливать микросуперконденсаторы в планарном исполнении по тонко- либо толстопленочной технологии. Самая распространенная конструкция планарных микросуперконденсаторов основана на встречно-штыревой структуре, из-за чего больше не требуется мембрана, так как электроды физически разнесены друг от друга [2]. Встречно-штыревая структура (коллектор тока) служит в качестве токоподвода для пористых электродов, сформированных на ее поверхности. В данной работе использована встречно-штыревая структура, сформированная из никеля, так как он может быть использован в качестве катализатора для роста УНТ.

Изготовление электродной структуры микросуперконденсатора выполнено в два этапа: 1) изготовление встречно-штыревой структуры на кремниевых подложках с термическим окислом толщиной 0,5 мкм при помощи технологии контактной взрывной фотолитографии (рисунок 1). В качестве маскирующего слоя использован сухой негативный пленочный фоторезист Ordyl Alpha 350 применяющийся для изготовления печатных плат и МЭМС-компонентов.

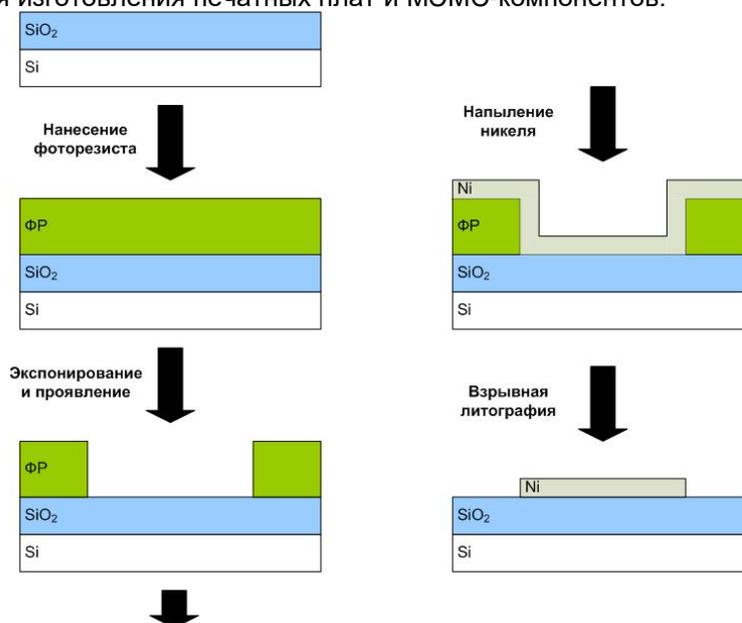


Рисунок 1 – Последовательность операций взрывной контактной фотолитографии

2) селективное осаждения локализованных массивов углеродных нанотрубок на поверхности изготовленной встречно-штыревой структуры (рисунок 2) методом химического парового осаждения при атмосферном давлении. Процесс синтеза проводился в трубчатом кварцевом реакторе с внутренним диаметром 14 мм в среде аргона (80 см<sup>3</sup>/мин) и водорода (80 см<sup>3</sup>/мин) при температуре 760°C. В качестве прекурсора (источника углерода) использовался декан, содержащий 0,1% (масс.) ферроцена (инжектированный катализатор). Время синтеза 15 минут, скорость инъекции 0,2 см<sup>3</sup>/мин.

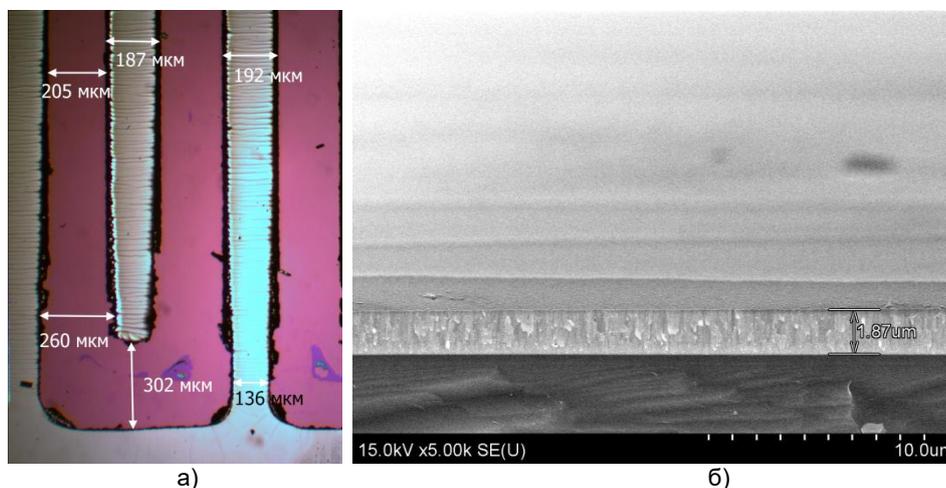


Рисунок 2 – Встречно-штыревая структура а) фотография участка встречно-штыревой структуры; б) снимок РЭМ поперечного сечения слоя никеля

Морфология массивов углеродных нанотрубок полученных на встречно-штыревой структуре представляет собой плотные жгуты, собранные в пучки, достигающие 370 мкм в высоту (рисунок 3). Комбинированный катализатор позволил получить массивы УНТ на относительно толстом слое никеля за счет своей высокой каталитической активности при сохранении высокой селективности роста массива УНТ.

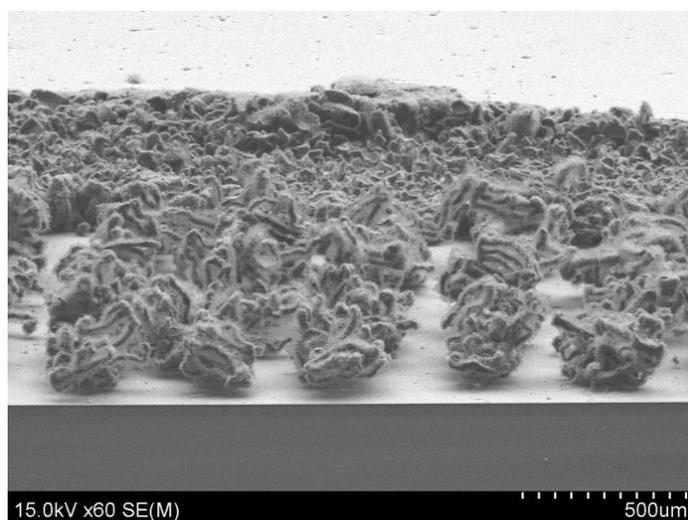


Рисунок 3 – Снимок РЭМ электродной структуры на базе углеродных нанотрубок

Особенностями разработанной технологии является использование относительно толстого слоя никеля, позволяющего минимизировать сопротивление токоподвода, а также применение комбинированного катализатора роста УНТ, позволяющего достичь толщины пористых электродов 370 мкм. Увеличение толщины электродов планарного микросуперконденсатора позволяет увеличить поверхность, контактирующую с электролитом, что ведет к росту удельной емкости (Ф/см<sup>2</sup>).

**Список использованных источников:**

1. Wang J. et al. Recent progress in micro-supercapacitor design, integration, and functionalization //Small Methods. – 2019. – Т. 3. – №. 8. – С. 1800367.
2. Lethien C., Le Bideau J., Brousse T. Challenges and prospects of 3D micro-supercapacitors for powering the internet of things //Energy & Environmental Science. – 2019. – Т. 12. – №. 1. – С. 96-115.

## РАВНОМЕРНОСТЬ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЁНОК НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДЛОЖКАХ

Рабатуев Г.Г.

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

Лазарук С.К. – д-р физ.-мат. наук

Проведён анализ профиля электрохимического анодирования металлических плёнок на диэлектрической подложке в электрохимической ячейке с круглой областью анодирования. Выделены определяющие его факторы – соотношение удельных проводимостей анодируемой плёнки и электролита, форма катода и межэлектродное расстояние. Результаты математического моделирования качественно согласуются с результатами эксперимента.

Электрохимическое анодирование – удобный инструмент для травления, наноструктурирования металлических плёнок и формирования самоупорядоченных пористых матриц. Благодаря явлению самоорганизации оксида алюминия в пористую структуру при соблюдении определённых технологических режимов электрохимического анодирования, использование пористого анодного оксида алюминия (ПАОА) в качестве маски для наноструктурирования каких-либо поверхностей является относительно малозатратным подходом. Так, были предприняты попытки реализации электрохимического травления медной плёнки на стеклянной подложке через сформированную на её поверхности матрицу ПАОА на этапе лабораторных испытаний технологии формирования прозрачных электродов на основе металлических наноструктурированных сеток [1]. При использовании неподходящих толщин слоёв меди и алюминия, конфигурации электродов и концентрации электролита происходил обрыв электрической цепи за счёт локализации процесса анодирования и полного окисления металла по периметру анодируемой области, в то время как в центре образца остаются десятки нанометров не окисленного алюминия. Возникшая проблема была проанализирована с использованием пакета математического моделирования Comsol Multiphysics, а результаты расчётов сопоставлены с экспериментами.

Очевидными способами увеличить скорость протекания электрохимического процесса в центре области – снизить для неё электрическое сопротивление контура плёнка-электролит-катод. Для этого был изготовлен катод наподобие зонда из медной трубки диаметром 4 мм, конец которой при анодировании был приближен к алюминиевой плёнке до расстояния 4 мм, однако обрыв цепи вновь наступил по контуру участка.

**Математическое моделирование.** Было промоделировано распределение плотности тока через металлическую плёнку во время анодирования для определения фронта протекания процесса и выявления определяющих его факторов. В качестве переменных параметров модели выбраны радиус сечения катода ( $r$ , см), межэлектродное расстояние ( $H$ , см – высота катода над уровнем анода) и соотношение удельных электропроводностей металлической плёнки и электролита ( $S$ ). Установлено, что при анодировании тонких плёнок на диэлектрической подложке только при величине  $S$  порядка 100 плотность постоянного тока через центр области анодирования может превысить плотность тока на периферии, как видно из распределения на рисунке 1. При этом расстояние  $H$  должно составлять порядка 1 мм, а радиус  $r$  – 100 мкм, что эквивалентно использованию иглы в качестве катода. При увеличении же соотношения  $S$ , требования к остальным параметрам снижаются. При меньших величинах  $S$  плотность тока на периферии образца в десятки раз превышает плотность тока по остальной площади образца (рисунок 2).

**Эксперимент.** Для наглядного качественного подтверждения результатов моделирования, на стеклянные подложки была нанесена медная плёнка толщиной 3 мкм с адгезией класса 5В [2] и проведено 2 процесса электрохимического травления этой плёнки в растворах серной кислоты с концентрацией 0,3% и 1,5% в стандартной фторопластовой электрохимической ячейке с областью анодирования 1 см<sup>2</sup>. Как известно, с увеличением концентрации удельная электропроводность растворов сначала возрастает, достигая некоторого максимального значения, затем начинает уменьшаться за счёт ион-ионного взаимодействия. Поэтому использован сильноразбавленный электролит на основе серной кислоты в диапазоне концентраций, соответствующим наибольшей скорости роста электропроводности за счёт диссоциации кислоты по второй ступени.

Травление проводилось при ограничениях плотности тока 30 мА/см<sup>2</sup> и напряжения 10 В. Как видно из фотографии образцов после травления (рисунок 3), в 1,5% растворе скорость травления была максимальна по периметру анодируемого участка, и при обрыве электрической цепи на стекле осталась островковая прозрачная медная плёнка. В менее электропроводном 0,3 % растворе фронт оголения стекла оказался более равномерным, и металлическая плёнка полностью растворилась.

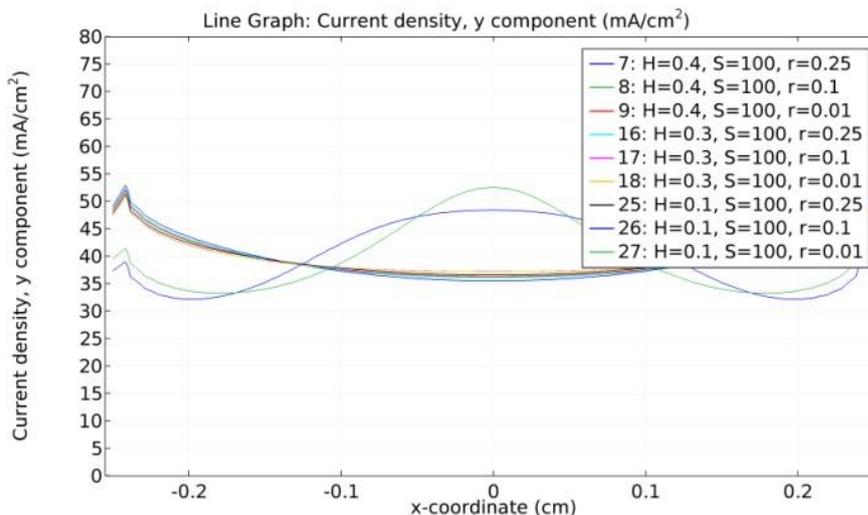


Рисунок 1 – Результаты расчёта распределения плотности тока при соотношении проводимостей металлической плёнки и электролита  $S=100$

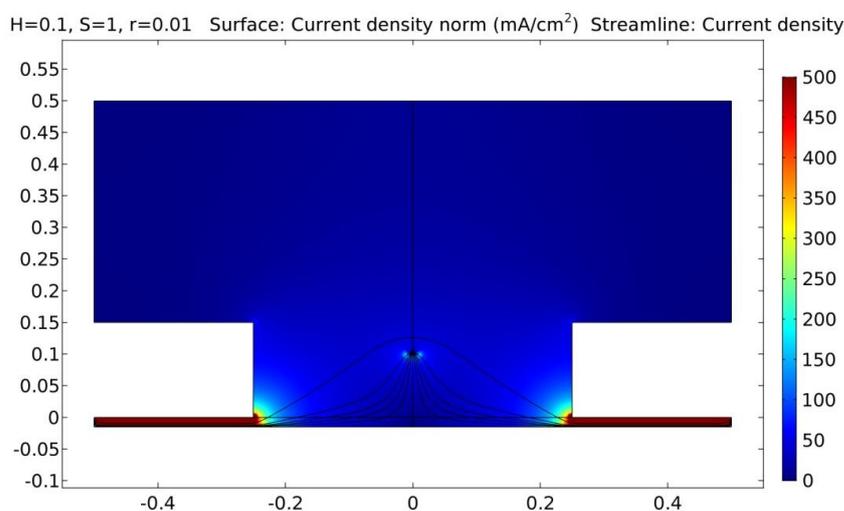


Рисунок 2 – Распределение плотности тока при анодировании тонкой (с высоким удельным сопротивлением) металлической плёнки на диэлектрической подложке при  $S=1$



Рисунок 3 – Образцы стекла с медной плёнкой после её локального анодирования в растворах 0,3 % (слева) и 1,5 % (справа)

Таким образом, при проведении электрохимической обработки тонких металлических плёнок на диэлектрических подложках необходимо учитывать величины электропроводности плёнки (толщину и параметры материала) и электролита (концентрация, температура и д.р.) для достижения нужной равномерности процесса, которой возможно эффективно управлять геометрией и расположением противоположного электрода при высоких значениях  $S > 100$ .

**Список использованных источников:**

1. Г.Г. Рабатуев, А.И. Дуцник «Электрохимически наноструктурированные прозрачные металлические покрытия» // Физико-химические проблемы возобновляемой энергетики : сборник трудов российской конференции 18-20 ноября 2019 г., Санкт-Петербург. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – с. 141-142.
2. Рабатуев Г.Г. «Формирование медной плёнки на стеклянной подложке с адгезией класса 5В методом магнетронного распыления» // 55-я юбилейная конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 22-26 апреля 2019 г., БГУИР, Минск, Беларусь: тезисы докладов. – Мн. – 2019. – с.211.

## СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Галынин Т.Е.

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

Стемпицкий В.Р. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. Задействование в «интернете вещей» предметов физического мира, не обязательно оснащённых средствами подключения к сетям передачи данных, требует применения технологий идентификации этих предметов («вещей»). Хотя толчком для появления концепции стала технология RFID, но в качестве таких технологий могут использоваться все средства, применяемые для автоматической идентификации: оптически распознаваемые идентификаторы (штрихкоды, Data Matrix, QR-коды), средства определения местонахождения в режиме реального времени.

В связи с бурным развитием сетей с пакетной коммутацией и прежде всего Интернета в начале 2000-х годов мировое телекоммуникационное сообщество сначала выработало, а затем и приступило к реализации новой парадигмы развития коммуникаций – сетей следующего поколения NGN (Next Generation Networks). Технологии NGN уже прошли эволюционный путь развития от гибких коммутаторов (Softswitch) до подсистем мультимедийной связи IMS (IP Multimedia Subsystem) и беспроводных сетей долговременной эволюции LTE (Long Term Evolution). При этом всегда предполагалось, что основными пользователями сетей NGN будут люди и, следовательно, максимальное число абонентов в таких сетях всегда будет ограничено численностью населения планеты Земля.

Однако в последнее время значительное развитие получили методы радиочастотной идентификации RFID (Radio Frequency IDentification), беспроводные сенсорные сети WSN (Wireless Sensor Network), коммуникации малого радиуса действия NFC (Near Field Communication) и межмашинные коммуникации M2M (Machine-to-Machine), которые, интегрируясь с интернет, позволяют обеспечить простую связь различных технических устройств («вещей»), число которых может быть огромным. По расчетам консалтингового подразделения Cisco IBSG в промежутке между 2008 и 2009 годами количество подключенных к интернету предметов превысило количество людей, к 2015 году количество подключенных устройств достигнет 25 миллиардов, а к 2020 году – 50 миллиардов. Таким образом, в настоящее время происходит эволюционный переход от «Интернета людей» к «Интернету вещей», IoT (Internet of Things).

В общем случае под Интернетом вещей понимается совокупность разнообразных приборов, датчиков, устройств, объединённых в сеть посредством любых доступных каналов связи, использующих различные протоколы взаимодействия между собой и единственный протокол доступа к глобальной сети. В роли глобальной сети для Интернет-вещей в настоящий момент используется сеть Интернет. Общим протоколом является IP.

Беспроводные сенсорные сети (БСС) являются базовой основой для Интернета вещей. В настоящее время БСС получили бурное развитие, особенно в связи с исследованиями технологий микроэлектронных механических систем (MEMS – Micro Electro-Mechanical Systems), которые облегчили разработку и внедрение умных датчиков. Типовая БСС состоит из большого количества беспроводных датчиков, которые осуществляют сбор, хранение, обработку информации, взаимодействуя с соседними узлами. В прошлом датчики соединялись проводами, но с развитием энергоэффективных беспроводных технологий датчики объединяются в самоорганизующиеся сети по беспроводным каналам, что приводит к еще большему удобству реализации и использования таких сетей в дальнейшем. В настоящее время Интернет вещей сделал качественный рывок, став одной из самых обсуждаемых тем в сфере технологий. Такое растущее признание происходит из-за воздействия Интернета Вещей на сбор и обработку данных, в том числе потенциал, который все еще остается неиспользованным до конца. Каждый день новые машины, датчики, и устройства, подключенные к сети IoT, передают все больше и больше информации для последующей обработки. Компании внедряют новые идеи в свои IoT проекты, которые позволяют лучше управлять увеличенными объемами информации. Традиционные базы данных и архитектуры аналитики всегда будут жизненно необходимы, но IoT дает новые возможности по обработке разнообразных данных, потоком передающихся от огромного числа источников. Совокупность данных от IoT-устройств огромна и очень быстро распространяется. Данная статья носит обзорный характер по методам управления, хранения и обработки данных от устройств и приложений Интернета вещей.

Радиочастотная идентификация RFID (Radio Frequency IDentification) – общий термин, используемый для обозначения систем, которые беспроводным путем посредством радиоволн считывают идентификационный номер (в форме уникального серийного номера) какого-либо предмета или человека. RFID относится к обширной области технологий автоматической идентификации (Auto-ID), которые включают в себя также штриховые коды, оптические считыватели и некоторые биометрические технологии, как например, сканирование сетчатки глаза. В общем случае технологии Auto-ID используются с целью экономии времени и труда, затрачиваемых на ввод данных

вручную и улучшения точности информации. Некоторые Auto-ID технологии, такие как системы штрихового кода, зачастую требуют участия человека, для сканирования и фиксации информации вручную. Система RFID же сконструирована таким образом, что дает возможность считать и передавать данные в компьютерную систему без участия человека и в реальном масштабе времени. Технология RFID способна принести пользу в самых разных областях человеческой деятельности, включая промышленность, торговлю, образование, медицину и др.

Для извлечения данных, хранящихся на RFID-метке, используется считывающее устройство – ридер (англ., reader). Типичный ридер имеет одну или несколько антенн, которые излучают радиоволны и принимают сигналы от метки. Далее полученная информация (идентификационный номер метки, ID считывающего устройства и время, когда метка была прочитана) в цифровом виде передается в компьютерную систему для дальнейшей обработки. Следует учитывать, что считыватели должны работать на той частоте, для которой предназначены метки.

Функции, выполняемые RFID-считывателем:

1. Энергоснабжение пассивных меток за счет передачи энергии меткам с использованием электромагнитного поля.
2. Чтение данных, которые хранятся на метке.
3. Запись данных на метку – используя метки с возможностью чтения-записи, данные можно менять, добавлять новые и удалять старые, в любое время на протяжении всего жизненного цикла продукта.
4. Связь с компьютерной системой – считыватель отвечает за транспортировку информации между метками и компьютерной системой, это происходит посредством порта Bluetooth, сети Ethernet или других проводных или беспроводных технологий.

Память метки – важный элемент RFID системы. В памяти может храниться различная информация, например, уникальный идентификатор объекта, место и дата выпуска продукта и т.п. Обычно объем памяти меток составляет от 16 бит до сотен килобит.

По типу памяти RFID-метки бывают следующих типов:

- только с чтением RO (Read Only) – данные в них записывают только единожды, при их изготовлении, эти метки используются только для идентификации объекта;
- однократной записью и многократным чтением WORM (Write Once Read Many) – эти метки, кроме идентификатора содержат еще блок памяти, в которую можно однократно записать информацию и которую затем можно неоднократно считывать;
- с неоднократными записью и чтением RW (англ. Read and Write) – содержат блок памяти и идентификатор, данные в этих метках можно перезаписывать неоднократно и соответственно стоят они дороже всех остальных меток;
- метки SAW-типа, работающие на принципе поверхностной акустической волны ПАВ (Surface Acoustic Wave – SAW).

Метка SAW-типа в корне отличается от меток на основе микрочипов. Для работы меток SAW-типа используются радиоволны малой мощности в частотном диапазоне 2,45 ГГц. В отличие от меток с микрочипами SAW-метке не нужен источник постоянного тока для ее питания при передаче данных. SAW-метка состоит из дипольной антенны, присоединенной к встречно-штыревому преобразователю IDT (Interdigital Transducer), расположенному на пьезоэлектрической подложке из ниобата лития или танталата лития. На подложке в точно рассчитанных местах расположены отдельные электроды, действующие как рефлекторы, изготовленные из алюминия или вытравленные на подложке. Антенна после приема радиочастотного сигнала от SAW-ридера подает электрический импульс на IDT. Этот импульс генерирует поверхностные волны, также называемые волнами Рэлея, и эти волны обычно проходят по подложке со скоростью от 3000 до 4000 м/с. Часть этих волн отражается рефлекторами обратно в IDT, а остальная часть поглощается подложкой. Отраженные волны образуют уникальную структуру, определяемую позициями рефлекторов и представляющую собой данные метки. Эти волны преобразуются в IDT обратно в радиосигнал и передаются через антенну метки назад RFID-ридеру. Затем ридер декодирует принятый сигнал и извлекает данные метки.

**Список использованных источников:**

- 1 Окулов Е. М., Киричек Р. В. Обзор международной деятельности в сфере разработки и исследования методов обработки данных от устройств Интернета Вещей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 4. С. 58–66.
2. Гудин, М. Технология RFID: реалии и перспективы [текст] / М. Гудин, В. Зайцев // Компоненты и технологии. – 2003.
3. RFID-метки [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rfid-m.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛЁНОЧНЫХ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Волк Д.И.

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

Хорошко Л.С. – канд. физ.-мат. наук

Предметом исследования данной работы являлось моделирование устройств на основе фотонных кристаллов (ФК). Предложена структура ФК и проанализированы его оптические свойства с применением модуля геометрической оптики пакета COMSOL Multiphysics®.

Фотонными кристаллами являются структуры с модуляцией в пространстве диэлектрических свойств по одному, двум или трём измерениям при масштабе порядка длины волны электромагнитного излучения [1]. Такие структуры могут быть использованы в областях нелинейной оптики, оптоэлектроники, СВЧ-техники и нанофотоники. ФК, работающие в инфракрасной и видимой областях спектра, также могут быть использованы для увеличения вычислительных мощностей и перспективного создания квантового компьютера.

В данной работе исследование свойств фотонных кристаллов проводили с помощью метода трассировки лучей, реализованного в модуле «Геометрическая оптика» программного пакета COMSOL Multiphysics®. В этом методе распространяющиеся электромагнитные волны рассматриваются как лучи, которые могут быть отражены, преломлены или поглощены на границах исследуемой геометрической модели. Рассмотрим простейшую структуру фотонного кристалла, включающую два диэлектрических материала А и В, удовлетворяющих четвертьволновому условию:

$$n_A \cdot q_A = n_B \cdot q_B = \frac{1}{4}. \quad (1)$$

где  $n_A$ ,  $n_B$  – коэффициенты преломления, а  $q_A$ ,  $q_B$  – толщины пленок для различных материалов, соответственно. С увеличением количества чередующихся слоев АВ можно наблюдать эффект образования фотонной запрещенной зоны в спектре пропускания пленочной структуры вида  $(AB)_n$ , как показано на рисунке 1 [2].

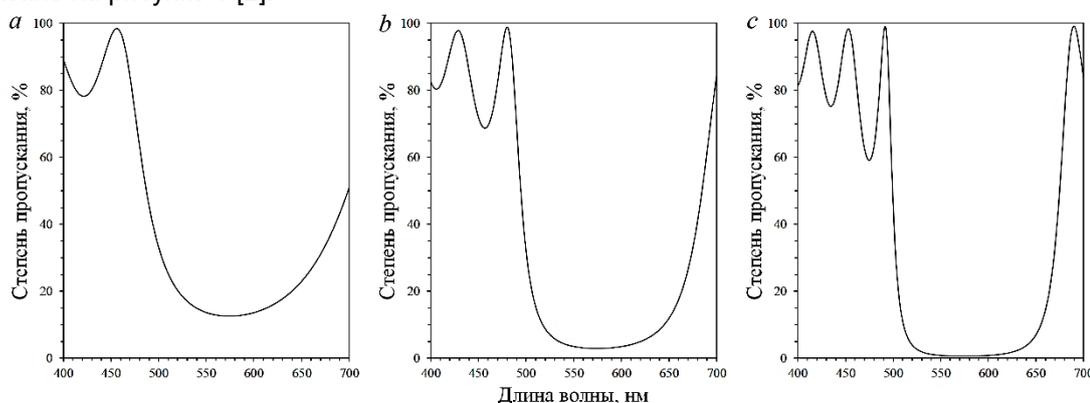


Рисунок 1 – Образование фотонной запрещенной зоны для структуры  $(AB)_n$  с различным значением  $n$ :  
а:  $n = 2$ ; б:  $n = 3$ ; в:  $n = 4$

Повторив два раза подряд один слой в такой структуре мы формируем т.н. «полуволновой дефект», означающий наличие пика резонансного пропускания на определенной длине волны, что позволяет использовать такой фотонный кристалл в качестве селективного фильтра, т.к. изменение толщин четвертьволновых слоев влияет на положение резонансного пика [3]. Если число четвертьволновых слоев с одной стороны полуволнового дефекта не равно числу слоев с другой стороны, то положение резонансного пика смещается в сторону меньшего числа слоев, что позволяет управлять его положением в запрещенной зоне. Для получения нескольких резонансных пиков в фотонной запрещенной зоне необходимо соответствующее количество дефектных слоев.

Таким образом, получена эффективная структура для создания устройств на основе фотонных кристаллов, позволяющая задавать различные параметры для получения различных оптических свойств.

#### Список использованных источников:

- [1] Benisty H. Photonic Crystals: an introduction / H. Benisty, V. Berger, J.-M. Gerard — Springer, Berlin, 2005 – 386 p.
- [2] Зайцев, Д.Ф. Нанофотоника и ее применение / Д.Ф. Зайцев. – Москва: «АКТЕОН», 2011. – 427 с.
- [3] Хорошко, Л.С. Моделирование многослойных ультратонких пленочных фотонных кристаллов для селективных фильтров / Л.С. Хорошко, А.В. Баглов, А.А. Гнатько // – Доклады БГУИР. – 2019. – № 7 (125). – С. 88-94.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СТАБИЛЬНОСТИ СВЧ НАГРЕВА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

Максимов С.Е.

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

Борисенко В.Е. – доктор. физ.-мат. наук, профессор

Предложена методика измерения стабильности мощности СВЧ магнетрона, основанная на измерении температуры конденсированной среды, что важно для контроля активируемого путем СВЧ нагрева химического синтеза материалов, в том числе наноструктурированных. С применением методики установлено, что режим максимальной мощности магнетрона бытовой СВЧ печи характеризуется в 2-2,5 раза большим значением среднеквадратичного отклонения, чем режимы 50% и 80% мощности, что ограничивает его применения для практического синтеза материалов. Средняя мощность магнетрона осциллирует в зависимости от времени работы, что может быть связано с особенностями бытовых СВЧ печей и требует учета при синтезе материалов путем СВЧ нагрева с частотой электромагнитного излучения 2,45 ГГц.

Использование электромагнитного излучения СВЧ, или микроволнового, диапазона, лежащего в области 300 МГц – 300 ГГц, для ускорения протекания химических реакций путем нагрева реакционной смеси является хорошо развитой и широко применяемой практикой. Последнее время повышается интерес для синтеза наноструктурированных материалов путем СВЧ нагрева прекурсоров, например для синтеза графитоподобного нитрида углерода [1-2].

Изготовление специализированных СВЧ нагревателей является достаточно дорогой и сложной операцией, поэтому исследователи часто используют обычные СВЧ печи в качестве мощного источника (до 1 кВт) СВЧ излучения с частотой 2,45 ГГц. К сожалению, разные производители используют различные методики для тестирования режимов работы магнетронов своих СВЧ печей, что затрудняет фактическую оценку мощности магнетрона в целом магнетрона синтезируемому материалу мощность. Целью данной работы было создание методики оценки стабильности нагрева конденсированных сред СВЧ излучением магнетрона бытовой СВЧ печи.

Так как выбор частоты 2,45 ГГц излучения в бытовых СВЧ печах обусловлен активным взаимодействием дипольных молекул воды с электрической компонентой падающего электромагнитного излучения, то в качестве конденсированной среды в качестве тестового объекта для нагрева была выбрана вода, обладающая высокой теплоемкостью, малым давлением паров при температуре ниже 50 °С, что позволило не учитывать массообменные процессы в системе за их малостью. Исследовали среднюю мощность магнетрона в режимах 100%, 80% и 50% мощности. Время нагрева составляло 1 мин, после чего СВЧ печь остывала около 5 мин. Нагрев повторяли десятикратно для получения статистически значимых результатов. Также проводили исследование средней мощности магнетрона в режиме 80% мощности на различных временных интервалах с целью оценки стабильности магнетрона во времени.

Средняя мощность магнетрона по результатам 10 измерений составляет 523 Вт, 399 Вт и 225 Вт для заданных режимов мощности в «100%», «80%» и «50%» соответственно. Графически они представлены на рисунке 1, где штриховой линией обозначены средняя мощность для указанного режима работы.

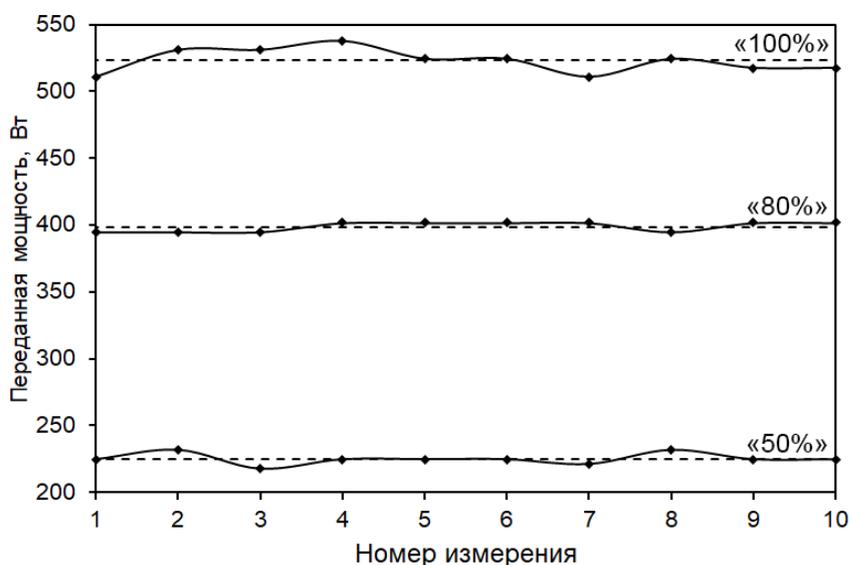


Рисунок 1 – Зависимость средней мощности магнетрона при различном режиме работы

Фактически, при времени нагрева 1 мин средняя мощность магнетрона оказывается ниже, чем указывается в программе управления, и составляет 76% для режима «80%» и 43% при заявляемых «50%». Стандартное отклонение измеренной средней мощности составляет 8,5 Вт, 3,3 Вт и 3,9 Вт для режимов «100%», «80%» и «50%» соответственно. Таким образом, предпочтительнее работать при пониженной мощности магнетрона, т.к. в этом случае стабильность средней мощности выше.

Синтез материалов требует большей длительности, чем 1 мин, а потому применение данной методики актуально и для оценки зависимости мощности магнетрона от времени. Непосредственное измерение мощности затруднительно без модификации системы питания магнетрона, но возможно модифицировать методику, основанную на контроле температуры конденсированной среды для такого исследования. Для этого мы провели нагревание тестового тела при выбранном режиме мощности «80%» при временах выдержки 60 – 180 с с шагом 10 с. Графически результаты представлены на рисунке 2.

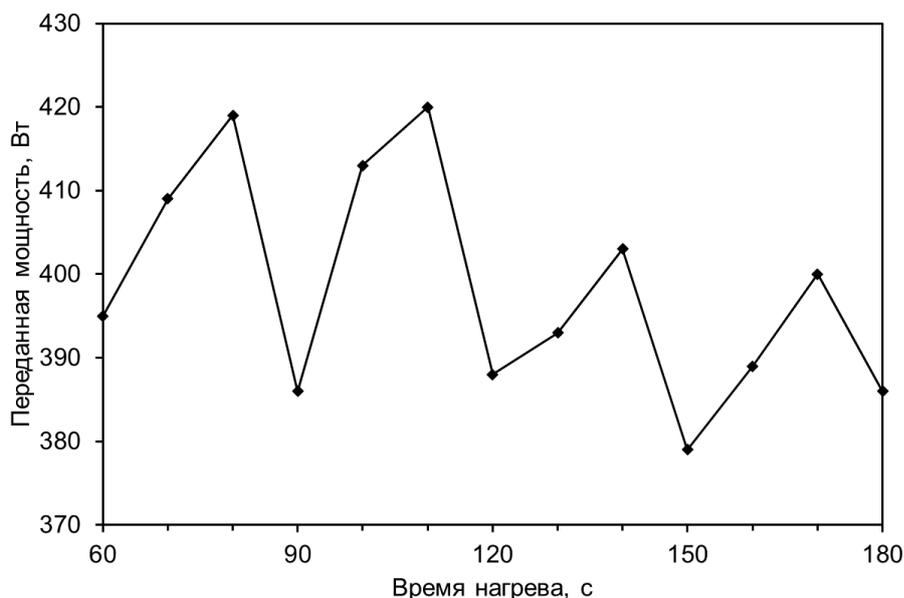


Рисунок 2 – Средняя мощность магнетрона для различных времен нагрева тестовой конденсированной среды

Хорошо заметно, что средняя мощность магнетрона при различном времени нагрева тестовой конденсированной среды изменяется в диапазоне 379 – 420 Вт. Такое поведение магнетрона воспроизводится, что говорит об особенностях работы магнетрона. В диапазоне времен нагрева 60 – 80 с средняя мощность возрастает, а затем резко снижается с дальнейшим повторением возрастания средней мощности и ее падением. Период таких колебаний составляет 30 с. Максимальная средняя мощность составляет 420 Вт в течение первых 2 мин, затем наблюдаются максимумы на мощности 400 Вт. Мы полагаем, что с увеличением времени нагрева будет наблюдаться дальнейшее снижение максимальной средней мощности с сохранением периодического характера изменения последней.

Таким образом, была разработана методика оценки средней мощности магнетрона бытовой СВЧ печи путем измерения температуры тестовой конденсированной среды. Изменение температуры в узком интервале (менее 20 °С) позволяет рассчитать тепловую мощность магнетрона, которая фактически является эквивалентом мощности электромагнитного излучения магнетрона за вычетом потерь на нагрев внутри камеры СВЧ печи. Данная методика позволяет исследовать фактическую мощность магнетрона при различных заданных режимах мощности, а также исследовать зависимость мощности магнетрона от времени нагрева. Получение численного значения средней мощности необходимо при контролируемом химическом синтезе материалов, в том числе наноструктурированных, активируемых СВЧ нагревом.

**Список использованных источников:**

1. *Microwave-assisted molten-salt rapid synthesis of isotype triazine/heptazine based g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> heterojunctions with highly enhanced photocatalytic hydrogen evolution performance* / H. Liu [et al.] // *Applied Catalysis B: Environmental*, V.203, 2017. – P. 300–313.
2. *In-situ synthesis of AgNbO<sub>3</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> photocatalyst via microwave heating method for efficiently photocatalytic H<sub>2</sub> generation* / P. Chen [et al.] // *Journal of Colloid and Interface Science*, V. 534, 2019. P. 163–171.

# КОМПЛЕКСНАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ МОНОСЛОЯ ГРАФЕНА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

Фельшерук А.В.

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

Данилюк А.Л. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Представлены результаты моделирования комплексной диэлектрической проницаемости графена в зависимости от приложенного перпендикулярно к плоскости графена магнитного поля в терагерцевом частотном диапазоне. Полученные частотные зависимости показали, что управлять комплексной диэлектрической проницаемостью графена можно путем изменения значения величины индукции магнитного поля.

За последнее десятилетие исследователи пришли к выводу, что на границе между проводником и диэлектриком возможно получить поверхностные плазмоны с той же частотой, что и внешние электромагнитные волны, но с намного меньшей длиной волны. Это позволит использовать плазмоны в наноструктурах для переноса информации внутри интегральной микросхемы. Плазмонные межсоединения стали бы настоящим прорывом в области повышения рабочих частот интегральных микросхем. В этом плане перспективным направлением для решения подобной задачи является исследование плазмонных колебаний в терагерцевом диапазоне частот и, в частности, с использованием графена на диэлектрической подложке. Однако на этом пути еще предстоит решить ряд не только технологических, но и физических задач по возбуждению, распространению и детектированию плазмонных колебаний с контролируруемыми параметрами.

Малая циклотронная масса электронов и зависимость концентрации носителей в графене от внешнего магнитного поля позволяют осуществлять контроль плазмонов в графене. Данный метод способен избавить от необходимости прямого электрического контакта для управления оптическим откликом однослойной графеновой наноструктуры [1].

В данной работе представлены результаты моделирования оптической  $\epsilon_{xx}$  и холловской  $\epsilon_{xy}$  диэлектрической проницаемости однослойной графеновой наноструктуры в зависимости от величины химического потенциала  $\mu$  и величины, приложенного перпендикулярно к плоскости структуры, магнитного поля  $B$  в терагерцевом частотном диапазоне. В качестве модели поверхностной проводимости графена было использовано следующее выражение [2]:

$$\sigma_S(\omega) = \sigma_{intra}(\omega) + \sigma_{inter}(\omega), \quad (1)$$

$$\sigma_{intra}(\omega) = -j \frac{e^2 kT}{\pi (h/2\pi)^2 (\omega - j2\Gamma)} \left( \frac{\mu}{kT} + 2 \ln \left( \exp \left( \frac{-\mu}{kT} \right) + 1 \right) \right), \quad (2)$$

$$\sigma_{inter}(\omega) = \frac{e^2}{4(h/2\pi)} \left[ H(\omega/2) + j \frac{4\omega}{\pi} \int_0^\infty \frac{H(\Omega) - H(\omega/2)}{\omega^2 - 4\Omega^2} d\Omega \right], \quad (3)$$

где  $\Gamma$  – скорость рассеяния электронов;  $h$  – редуцированная постоянная Планка;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – температура;  $e$  – заряд электрона;  $\omega$  – круговая частота;  $\mu$  – химический потенциал в графене, функции  $H(\Omega) = \sinh(h\Omega/2\pi kT) / [\cosh(h\Omega/2\pi kT) + \cosh(\mu/kT)]$ ,  $H(\omega/2) = H(\Omega \rightarrow \omega/2)$ .

В рассматриваемом диапазоне частот  $\sigma_{inter}(\omega) \ll \sigma_{intra}(\omega)$ , т. е. вкладом межзонных переходов в проводимость можно пренебречь [1]. Таким образом, поверхностная проводимость графена может быть описана в рамках теории Друде.

Если статическое магнитное поле приложено перпендикулярно к плоскости графена, то тензор диэлектрической проницаемости графена можно выразить в виде [3]:

$$\epsilon = 1 + \frac{i}{\omega d \epsilon_0} \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & 0 \\ -\sigma_{yx} & \sigma_{xx} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_d \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где  $d$  – толщина графена (для расчетов  $d=0,5$  нм);  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная,  $\sigma_d = \sigma_{xx}$  при  $B=0$ .

Оптическая  $\sigma_{xx}$  и холловская  $\sigma_{xy}$  проводимости однослойной графеновой наноструктуры могут быть представлены в виде [3]:

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \frac{e^2 |\mu|}{\pi (h/2\pi)^2} \frac{i(\omega + i/\tau)}{(\omega + i/\tau)^2 - \omega_c^2}, \quad (5)$$

$$\sigma_{xy} = -\sigma_{yx} = \frac{e^2 |\mu|}{\pi (h/2\pi)^2} \frac{\omega_c}{(\omega + i/\tau)^2 - \omega_c^2}, \quad (6)$$

где  $\tau$  – время релаксации электронов в графене;  $\omega_c = eBv_F/\mu$  – круговая частота столкновений электронов, аналогичная классической циклотронной частоте;  $v_F$  – скорость Ферми электронов в графене (в расчетах  $v_F = 10^6$  м/с).

На рис. 1 приведены частотные зависимости действительной части оптической  $\epsilon_{xx}$  и холловской  $\epsilon_{xy}$  диэлектрической проницаемости однослойного графена при  $\mu = 0,1$  эВ в магнитных полях от 1 до 10 Т. Из полученных зависимостей следует, что величина оптической  $\epsilon_{xx}$  диэлектрической проницаемости, начиная с величины магнитного поля  $B=7$  Т, изменяет знак с положительного на отрицательный. Зависимости холловской  $\epsilon_{xy}$  диэлектрической проницаемости однослойного графена, начиная с величины поля  $B=7$  Т, приобретают резонансный характер.

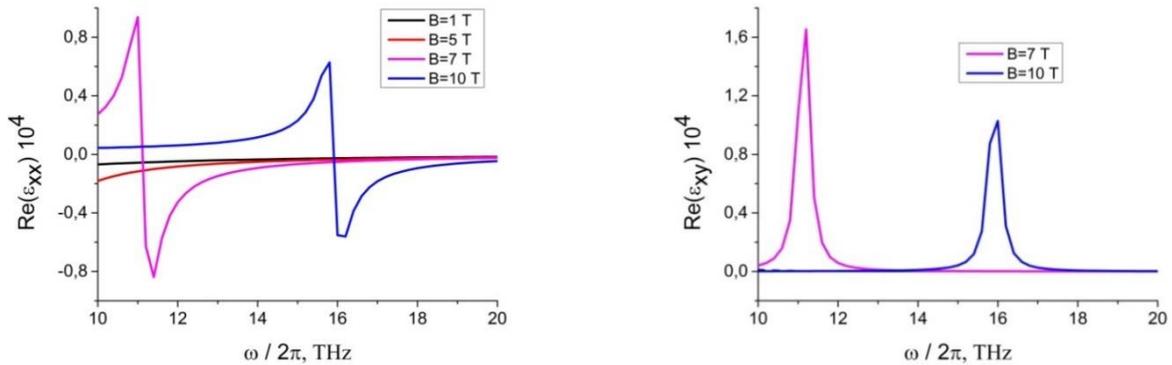


Рисунок 1 – Частотные зависимости действительной части оптической  $\epsilon_{xx}$  и холловской  $\epsilon_{xy}$  диэлектрической проницаемости однослойного графена при  $\mu = 0,1$  эВ в различных магнитных полях

На рис. 2 приведены аналогичные частотные зависимости  $\epsilon_{xx}$  и  $\epsilon_{xy}$  при  $\mu = 0,5$  эВ.

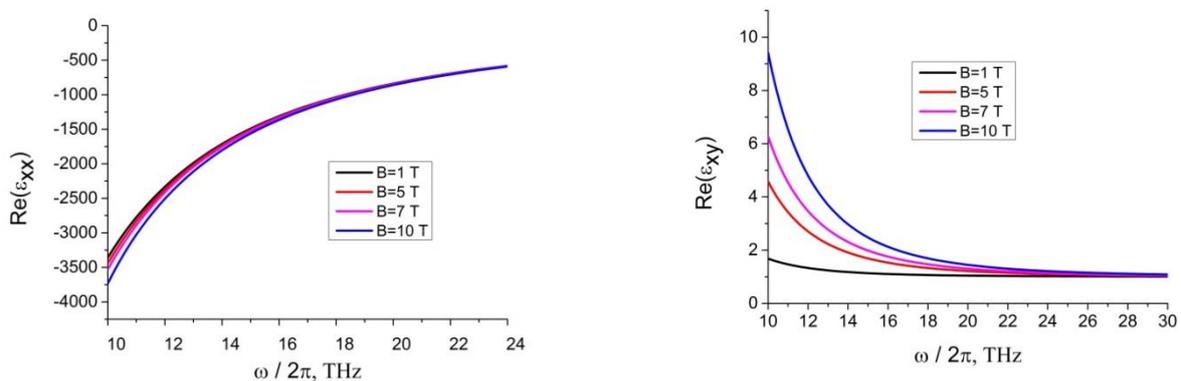


Рисунок 2 – Частотные зависимости действительной части оптической  $\epsilon_{xx}$  и холловской  $\epsilon_{xy}$  диэлектрической проницаемости однослойного графена при  $\mu = 0,5$  эВ в различных магнитных полях

Как видно, из полученных зависимостей, с увеличением значения химического потенциала частотные зависимости оптической  $\epsilon_{xx}$  и холловской  $\epsilon_{xy}$  диэлектрической проницаемости сохраняют нелинейный характер, однако влияние магнитного поля на  $\epsilon_{xx}$  и  $\epsilon_{xy}$  заметно ослабевает.

Проведенное моделирование электродинамических параметров однослойной графеновой наноструктуры в зависимости от химического потенциала и приложенного магнитного поля показало, что управлять диэлектрической проницаемостью графена, а значит и параметрами плазмонов, можно путем изменения величины магнитного поля.

**Список использованных источников:**

1. *Plasmonics of coupled graphene micro-structures.* / Yan H. [et al.] // *New Journal of Physics.* – 2012. – V. 14. – №. 12. – P. 125001.
2. *Andryieuski, A. Graphene metamaterials based tunable terahertz absorber: effective surface conductivity approach* / A. Andryieuski, A. V. Lavrinenko // *Optics express.* – 2013. – V. 21. – №. 7. – P. 9144-9155.
3. *Wang, W. Edge magnetoplasmons and the optical excitations in graphene disks* / Wang W., Apell S. P., Kinaret J. M. // *Physical Review B.* – 2012. – V. 86. – №. 12. – P. 125450.

## ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

Ткачёва Я.Н., Аксютыц А.В.

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

Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент

В данной работе проводились исследования влияния плазмы атмосферного давления на угол смачивания поверхности металлов. Обработка проводилась с помощью экспериментальной разработки, состоящей из системы питания, газовой системы и разрядной системы. В результате обработки удалось достичь уменьшения угла смачивания поверхности нержавеющей стали в 4 раза от 80° до 20° за 25 секунд. Угол смачивания поверхности латуни снизился в 2,7 раза от 61° до 22° за 25 секунд.

На всех поверхностях металлов присутствуют мельчайшие, не видимые глазу загрязнения, оказывающие негативный эффект при работе на производстве. Наиболее эффективным и дешевым методом очистки поверхности является обработка поверхности в плазме атмосферного давления. Данный метод не требует средств создания вакуума и позволят достичь атомарной чистоты поверхности.

Для исследования были выбраны нержавеющая сталь и латунь. Нержавеющую сталь применяют для изготовления емкостей, работающих под высоким давлением, технологических трубопроводов, производственного и измерительного оборудования и инструмента. Латунь используется в железнодорожной отрасли, строительстве.

Обработка материалов проводилась с помощью экспериментальной установки, структурная схема которой представлена на рисунке 1. Установка включает баллон с плазмообразующим газом аргоном (1), регулятор расхода газа РРГ-12 (2), обрабатываемую подложку (3), штатив (4), источник питания (5) и разрядную систему (6). В установке используется разрядное устройство коаксиального типа с диэлектрическим барьерным разрядом для создания плазмы диффузного типа при атмосферном давлении. Данная система позволяет формировать плазменный факел длиной до 3 см, с зоной обработки диаметром до 1 см [2].

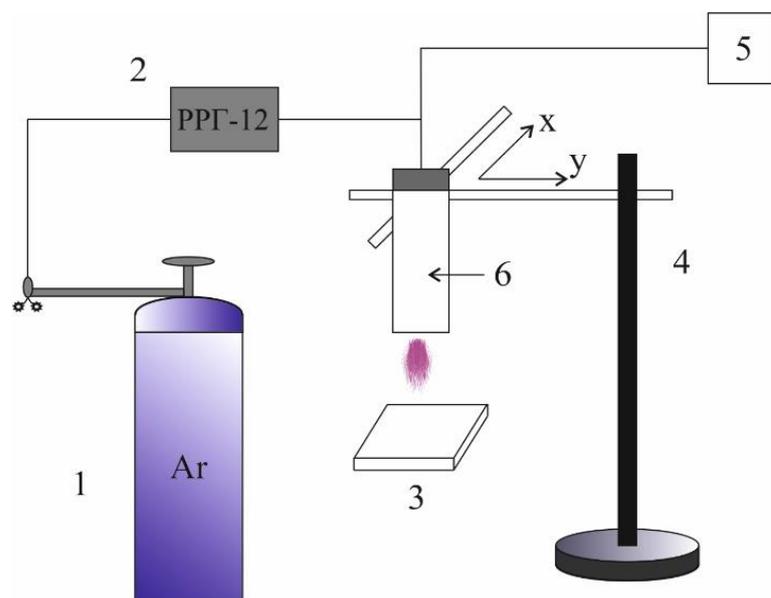


Рисунок 1 – Схематическое изображение экспериментальной установки

Количественной характеристикой смачиваемости поверхности является контактный угол смачивания. С его помощью возможно проследить влияние обработки на гидрофильные свойства поверхности. Для определения угла смачивания выбран метод лежащей капли, который заключается в измерении угла между твердой поверхностью и жидкостью в точке контакта трех фаз. Для определения угла смачивания на поверхность наносилась капля объемом 0,01 мл, а затем производилась ее фотофиксация, и с помощью программы AutoCAD определялся угол смачивания. [3–5] Изменение краевого угла смачивания указывает на изменение адгезии поверхности.

Обработка поверхности полимеров проводилась при мощности разряда 45 Вт, расходе аргона 186 л/ч и расстоянии между образцом и разрядным устройством 1 см.

Влияние времени обработки на угол смачивания поверхности нержавеющей стали представлен на рисунке 2.

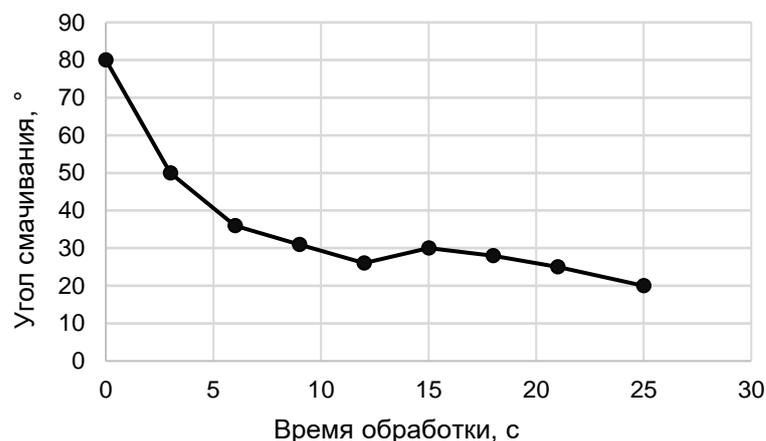


Рисунок 2 – Зависимость угла смачивания поверхности нержавеющей стали от времени обработки

За 25 секунд плазменной обработки удалось достичь существенного уменьшения угла смачивания от  $80^\circ$  до  $20^\circ$ . За первые 9 секунд поверхность очищается, и образуются свободные радикалы.

На рисунке 3 представлена зависимость краевого угла смачивания поверхности латуни от времени обработки.

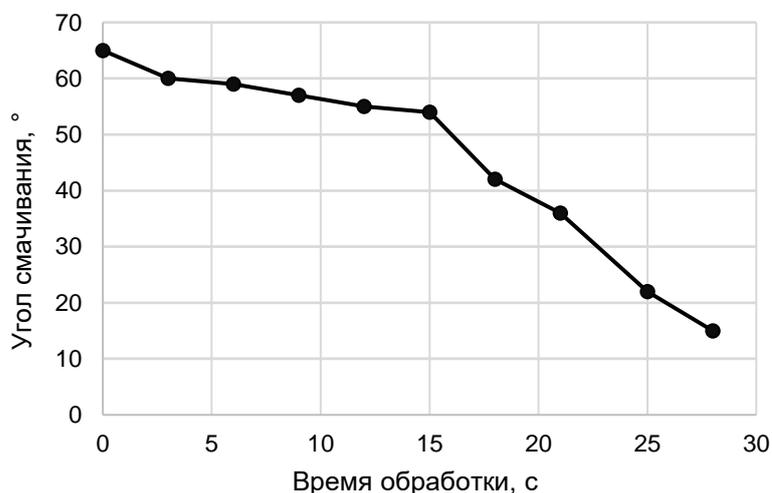


Рисунок 3 – Зависимость угла смачивания поверхности латуни от времени обработки

За 25 секунд плазменной обработки угол смачивания уменьшился от  $61^\circ$  до  $22^\circ$ . За 18 секунд наблюдается очищение поверхности и образование радикалов.

Полученные результаты говорят о том, что обработка в плазме атмосферного давления позволяет улучшить адгезию поверхности полимеров в 2,7–4 раз за 30 секунд. Это позволяет более полно использовать нержавеющую сталь и латунь в промышленности.

**Список использованных источников:**

1. Котов, Д. А. Изучение параметров плазменной струи, генерируемой диэлектрическим барьерным разрядом / Котов Д. А., Шукевич Я. И., Сигаи О. С. Материалы международной конференции «Молодёжь в науке -2016», Минск, Беларуская навука, 2017, с. 348-356.
2. Адамсон, А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон. – М. : Мир, 1979. – 568 с.
3. Метод лежащей капли [Электронный ресурс]. – URL: [https://tirit.org/articles/surface\\_theory\\_sessile.php](https://tirit.org/articles/surface_theory_sessile.php).
4. Уразаев, В. Гидрофильность и гидрофобность / В. Уразаев // Технологии в электронной промышленности. – 2006. – №3. – С. 33–36.
5. Плазменная очистка [Электронный ресурс] – URL: <https://www.relyon-plasma.com/applications/плазменная-очистка.ru>

## УПРАВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫМИ СВОЙСТВАМИ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛА В ПЛАЗМЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА

Вербицкая М.С., Жидкина Н.В., Запороженко Ю.В.

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

Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент

Проводилось исследование влияния плазмы диэлектрического барьерного разряда на поверхностные свойства полиметилметакрилата (ПММА). После обработки плазмой диэлектрического барьерного разряда в зависимости от времени обработки на ПММА проявляются гидрофобные и гидрофильные свойства.

Быстрое развитие новых технологий сопровождается уменьшением размеров структурных элементов и наносимых пленок. Для этого требуется высокое качество поверхности. На очищенной и активированной поверхности выше адгезия, что способствует хорошему сцеплению поверхности при покраске, склейке, нанесению металлизации и т.д. Одним из наиболее перспективных и эффективных методов подготовки поверхности является низкотемпературная плазма при атмосферном давлении. В настоящее время практически ни одно исследование в области физики поверхности и тонкопленочных технологий не обходится без применения методов сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ). Атомно-силовая микроскопия позволяет анализировать на атомном уровне структуру самых разных твердых материалов - стекла, керамики, пластиков, металлов, полупроводников. Измерение можно проводить не только в вакууме, но и на воздухе, в атмосфере любого газа и даже в капле жидкости. Этот метод незаменим и для исследования биологических объектов.

Плазменная обработка поверхности модифицирует свойства поверхности без изменения свойств самого материала: можно создать гидрофобную, гидрофильную поверхность, поверхность с необходимыми свойствами. Данные процессы возможны в результате формирования на поверхности объекта слоев «пленки» с определенными химическими свойствами. Выбирая правильные параметры обработки, можно сделать: плазменную очистку, плазменную активацию поверхности, плазменное осаждение, плазменное травление.

Обработка материалов проводилась с помощью экспериментальной установки, структурная схема которой представлена на рисунке 1. Установка включает баллон с плазмообразующим газом аргоном (1), регулятор расхода газа РРГ-12 (2), обрабатываемую подложку (3), штатив (4), источник питания (5) и разрядную систему (6). В установке используется разрядное устройство коаксиального типа с диэлектрическим барьерным разрядом для создания плазмы диффузного типа при атмосферном давлении. Данная система позволяет формировать плазменный факел длиной до 3 см, с зоной обработки диаметром до 1 см [1].

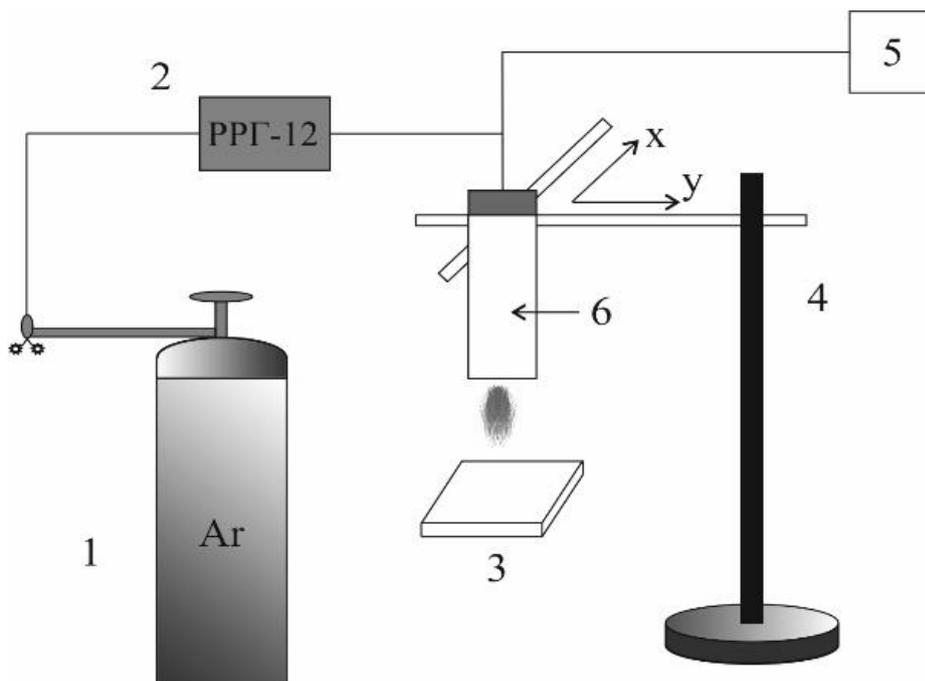


Рисунок 1 – Схематичное изображение экспериментальной установки

Проводилось исследование влияния плазмы на поверхность полиметилметакрилата (ПММА) в

зависимости от времени обработки.

Для оценки изменения поверхностных свойств полимера при обработке в плазме диэлектрического барьерного разряда использовался атомно-силовой микроскоп (АСМ) NT-206. С помощью АСМа измерялась сила трения и коэффициент трения с поверхностью. Этот метод основан на измерении угла закручивания кремниевой консоли зонда вокруг своей оси под действием сил трения между поверхностью и его острием. Определение величины этого угла закручивания позволяет рассчитать коэффициент трения, а также силу трения при дополнительной калибровке величины изгиба консоли в единицах силы.

Фиксируя величину этого угла закручивания, и с помощью программы Excel был рассчитан коэффициент трения с поверхностью ПММА.

Обработка поверхности полимера проводилась при расходе аргона 186 л/ч и расстоянии между образцом и разрядным устройством 1 см.

Влияние плазменной обработки на поверхностные свойства полимера можно отследить с помощью графиков прямого и обратного хода, полученных на атомно-силовом микроскопе.

Для количественного описания влияния плазменной обработки на поверхностные свойства ПММА был построен график зависимости изменения коэффициента трения от времени обработки.

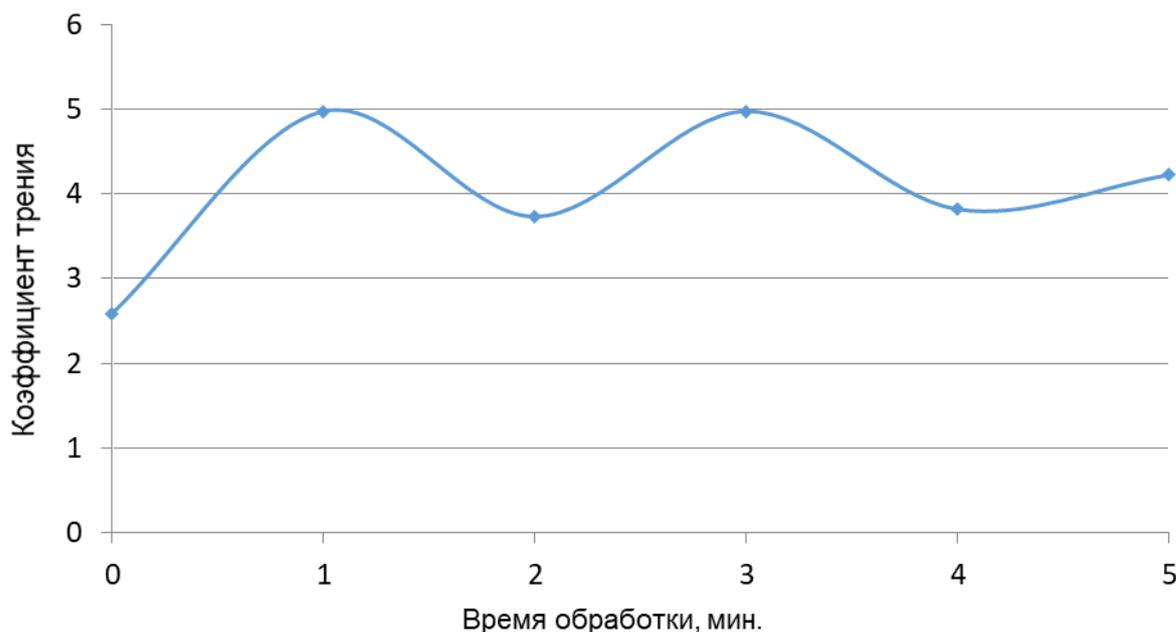


График 1 – Изменение коэффициента трения от времени обработки

Из графика следует, что при увеличении времени обработки полиметилметакрилата увеличивается коэффициент трения и улучшается адгезия - участок на графике от 0 до 1 минуты. Затем при дальнейшей обработке на поверхности образца образуется графитоподобный углерод, что ухудшает адгезию - участок на графике от 1 до 2 минуты. В процессе обработки выделяется газ  $\text{CO}_x$ . Также от времени обработки на ПММА проявляются гидрофобные и гидрофильные свойства – процесс циклический, т.к. полиметилметакрилат является органическим веществом.

**Список использованных источников:**

1. Котов, Д. А. Изучение параметров плазменной струи генерируемой диэлектрическим барьерным разрядом / Котов Д. А., Шукевич Я. И., Сигаи О. С. Материалы международной конференции «Молодёжь в науке -2016», Минск, Белорусская наука, 2017, с. 348-356.
2. Миронов, В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии: учебное пособие. / В. Л. Миронов. □ Н.Н. : РАН, 2004. – 110 с.
3. Rory A. Wolf. Atmospheric Pressure Plasma for Surface Modification / Rory A. Wolf. – Wiley, 2013. – 244 p.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ СТЕКЛА В ПЛАЗМЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА

Жидкина Н.В., Вербицкая М.С., Яцевич Е.В., Аксючиц А.В.

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

Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент

Проводилось исследование влияния плазмы атмосферного разряда на поверхностные свойства стекла. В результате эксперимента была выявлена зависимость коэффициента трения поверхности стекла от времени обработки. За 2–3 минуты обработки удалось достичь уменьшения коэффициента трения поверхности стекла в 3 раза.

Плазма широко используется в течение более полувека для селективного размерного травления, обработки поверхности, для управления адгезионными параметрами поверхности, а также нанесения слоев диэлектриков, полупроводников и проводников с заданным составом, стехиометрией, структурой и свойствами. Технология обработки в плазме атмосферного разряда представляет ряд таких достоинств, как отсутствие громоздких и энергоёмких систем создания и поддержания вакуума, возможность обработки различных материалов, в том числе низкотемпературных полимеров и биологических объектов, оперативность и универсальность применения, а также невысокой ценой разрядных систем. Для этих целей интерес представляют компактные высокоэффективные системы питания, обеспечивающие необходимым напряжением заданной частоты, формы и амплитуды для создания газового разряда определённого вида и мощности.

Исследовалось изменение гидрофильных свойств стекла при обработке в плазме атмосферного разряда. Для обработки использовалась экспериментальная установка, схема которой представлена на рисунке 1. Она включает в себя баллон с плазмообразующим газом аргоном (1), регулятор расхода газа РРГ-12 (2), обрабатываемую подложку (3), штатив (4), источник питания (5) и разрядную систему (6). В установке используется разрядное устройство коаксиального типа с диэлектрическим барьерным разрядом для создания плазмы диффузного типа при атмосферном давлении. Данная система позволяет формировать плазменный факел длиной до 3 см, с зоной обработки диаметром до 1 см [1].

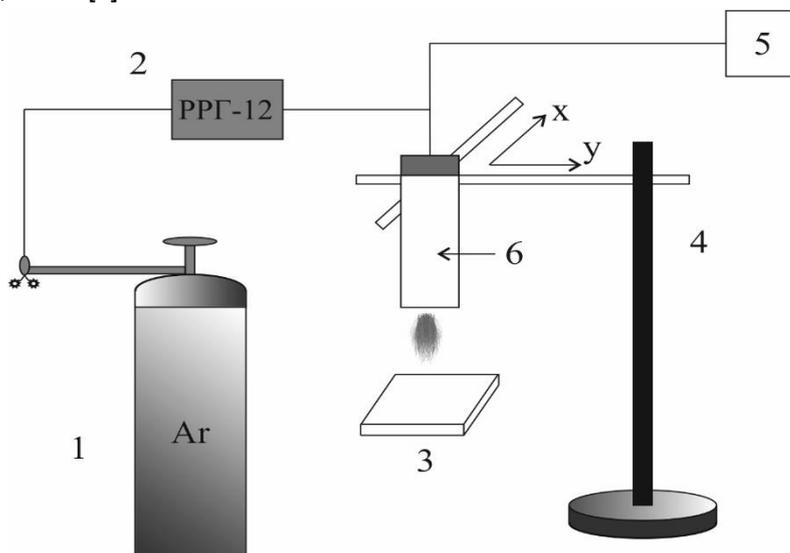


Рисунок 1 – Схематичное изображение экспериментальной установки

Обработка стекла проводилась при мощности разряда 45 Вт, расходе аргона 186 л/ч, расстоянии от факела плазменной установки до материала – 1 см. Времени изменялось от 1 до 5 минут с шагом в одну минуту.

Для оценки изменения поверхностных свойств стекла использовалась методика расчёта коэффициента трения по данным, полученным в процессе сканирования материала при помощи атомно-силового микроскопа NT-206 [2]. Расчёт коэффициента трения производился на основе измерения средней величины угла закручивания кремниевого зонда вокруг своей оси, при его прямом и обратном движении во время сканирования.

Фиксируя величину этого угла закручивания при прохождении зонда по поверхности в прямом и обратном направлении и делая разницу в показаниях пополам, получаем величину закручивания консоли при контакте с поверхностью  $dZ$ .

Из графика, полученного от прямого и обратного хода кремниевого зонда при сканировании поверхности стекла, выводились численные значения средней величины закручивания и производился расчёт коэффициента трения в программе Excel. На основании расчётов был построен график зависимости коэффициента трения от времени обработки. Данная зависимость представлена на рисунке 2.

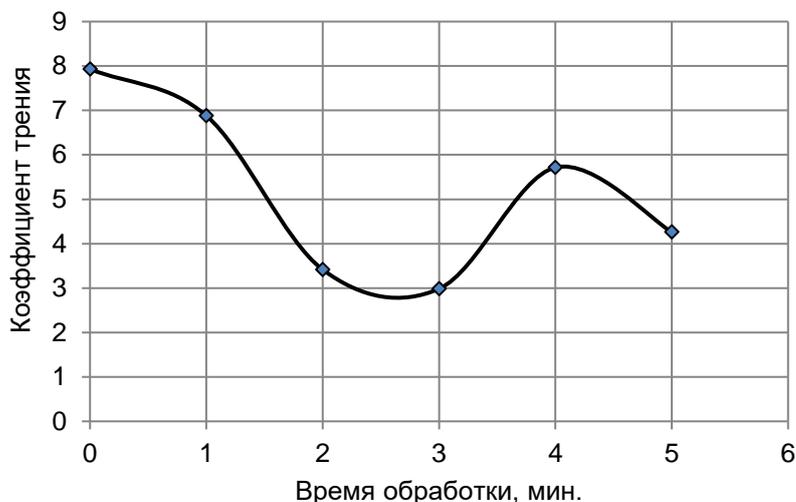


Рисунок 2 – График зависимости коэффициента трения поверхности от времени обработки стекла

Из графика зависимость коэффициента трения от времени обработки видно, что при обработке от 1 до 3 минут коэффициент трения падает. Это связано с тем, что в первые минуты обработки происходят процессы очистки и активации поверхности. Очистка атмосферной плазмой – это процесс удаления с обрабатываемой поверхности адсорбированных газов, влаги, органических и биологических загрязнений, а также пылевидных частиц за счет воздействия плазменных атмосферных потоков при использовании различных ионизированных газов – аргона, воздуха, азота, водорода, паров специальных химических соединений [3]. Активация поверхности состоит в формировании химически активного поверхностного слоя за счет образования свободных радикалов в процессе обработки. В результате активации повышается поверхностная энергия поверхности, что улучшает смачиваемость.

Однако при обработке плазмой более 3-х минут коэффициент трения возрастает и при приближении к 5 минутам вновь падает. Вероятнее всего такое увеличение коэффициента трения связано с тем, что при обработке поверхности плазмой на обычном воздухе, а не в вакууме, происходит окисление атомарно чистой поверхности и это приводит к понижению адгезии. При последующей обработке происходит повторная очистка поверхности, за счёт чего гидрофильные свойства улучшаются. Так же были получены 2 и 3 изображения поверхности, по которым можно судить о изменении рельефа поверхности.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что максимальное значение коэффициента трения, а, значит, и наибольшая адгезионная способность, достигается, при обработке поверхности стекла в плазме атмосферного давления в течении 3 минут. Увеличение времени обработки не приводит к улучшению, но увеличивает себестоимость обработки. Таким образом, воздействие плазмы атмосферного разряда на поверхность стекла в течении 3 минут позволяют получать более качественные покрытия.

**Список использованных источников:**

1. Котов, Д. А. Изучение параметров плазменной струи генерируемой диэлектрическим барьерным разрядом / Котов Д. А., Шукевич Я. И., Сигаи О. С. Материалы международной конференции «Молодёжь в науке -2016», Минск, Белорусская наука, 2017, с. 348-356.
2. Миронов, В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии: учебное пособие. / В. Л. Миронов. □ Н.Н. : РАН, 2004. □ 110 с.
3. Шмаков, М. Очистка поверхности пластин и подложек / М. Шмаков, В. Паршин, А. Смирнов // Технологии в электронной промышленности, 2008, №6, с. 72–75.

## ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИ СТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДА КРЕМНИЯ

Дуцник А.И.

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

Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент

В данной работе описывается процесс формирования и создания оптически прочных покрытий на основе оксида кремния методом ионно-лучевого распыления.

Сфера применения оптических покрытий в современном мире касается огромного количества областей, одной из которых является лазерная оптика. Для изготовления покрытий, пригодных для использования в лазерной оптике, предъявляются особые требования. Такие покрытия должны обладать максимальной отражающей или пропускной способностью и минимальной поглощающей способностью, соответственно минимальным количеством дефектов, которые являются центрами рассеяния и поглощения света.

При прохождении мощного лазерного излучения через оптическое покрытие, происходит локальный разогрев покрытия на месте дефекта и, соответственно, разрушение покрытия и потеря его оптических свойств.

Современные способы получения покрытий с минимальным количеством дефектов обладают низкой степенью контроля формирования пленки и низкой воспроизводимостью. Нами был использован метод ионно-лучевого распыления (IBS).

Во время ионно-лучевого распыления высокоэнергетическое электрическое поле используется для ускорения пучка ионов, придавая последним значительную кинетическую энергию. Попадание пучка ионов на мишень приводит к распылению материала и осаждению на подложку. При данном способе формирования покрытий, скорость роста отдельных слоев, подвод энергии и уровень окисления намного более точно отслеживаются и контролируются, что обеспечивает высокую воспроизводимую и согласованные характеристики покрытия с заданными спектральными и фазовыми параметрами.

С помощью IBS были сформированы многослойные образцы со структурой  $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{SiO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5 + \text{SiO}_2$  и  $\text{HfO}_2 + \text{SiO}_2$ . Проведен их анализ на лучевую стойкость используя серию мощных лазерных импульсов, с фиксацией повреждения пленки. Затем увеличение мощности, до нахождения порога начала разрушений. Данные представлены на рисунке 1.

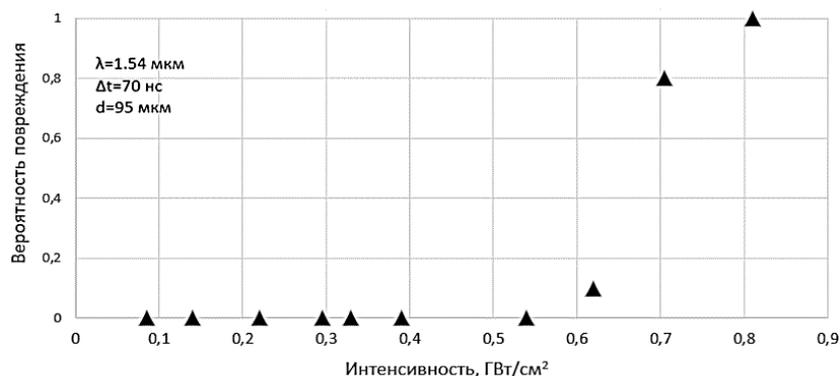


Рисунок 1 – Результаты проверки на прочность образца состава  $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{SiO}_2$ , методом «100 выстрелов в точку»

Испытание методом «100 выстрелов в точку» показывает, что при определенном уровне мощности, часть выстрелов из 100 оказывается деструктивной, эта точка фиксируется на оси «вероятность повреждения».

Таким образом можно сделать вывод, что образцы с покрытием состава  $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{SiO}_2$  имеют лучевую прочность до  $550 \text{ МВт/см}^2$ , при этом для образцов состава  $\text{Nb}_2\text{O}_5 + \text{SiO}_2$  и  $\text{HfO}_2 + \text{SiO}_2$  мощность тестирующего лазера оказалась недостаточно и можно сделать вывод что их оптическая прочность составляет не менее  $800 \text{ МВт/см}^2$ .

### Список использованных источников:

1. Сеточные источники ионов [электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.orc.ru/~platar/P2R.htm>
2. Маненков, А. А. Лазерное разрушение прозрачных твердых тел / А. А. Маненков, А. М. Прохоров // Успехи физ. наук. – 1986. – Т. 148, Вып. 1. – С. 179–211.
3. Аброян, И. А. Физические основы электронной и ионной технологии / И. А. Аброян, А. И. Андронов, А. И. Титов. – М. : Высшая школа, 1984. – 320 с.

# ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ТЕКУЧЕСТЬ СЫРОЙ НЕФТИ В ТРУБОПРОВОДЕ

Аль-ани А.А.А., Рабатуев Г.Г.

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

Борисенко В.Е. – д-р физ.-мат. наук, профессор

Представлена математическая модель, подтверждающая снижение энергозатрат на перекачку нефти в трубопроводах за счёт снижения продольной вязкости и подавления турбулентности потока при наложении продольного электрического поля. Модель основывается на поляризации идеализированных сферических частиц асфальтенов в электрическом поле между перфорированными обкладками конденсатора, встроенного в трубопровод.

Нефть представляет собой смесь тысяч различных углеводородов: от лёгких, таких как газولين и керосин, до тяжелых асфальтенов и парафинов [1]. В связи с ежедневной интенсивной транспортировкой нефти в трубопроводах по всему миру, снижение потребляемой мощности нефтетранспортными системами является важной задачей с экологической и экономической точек зрения. Основными направлениями неэффективного расхода энергии являются трата энергии на создание турбулентности в потоке, то есть на хаотическое движение частиц, и на преодоление силы вязкого трения между слоями потока. В частности, для повышения скорости потока жидкости в трубопроводе в 2 раза, необходимо увеличить мощность насоса в 2 раза в случае ламинарного потока и в 3,4 раза при турбулентном типе течения [2]. Одним из используемых методов снижения вязкости является подогрев нефтепровода, который является довольно дорогим, однако сопровождается увеличением энергии теплового движения частиц и степенью турбулентности потока.

Сырую нефть можно идеализированно представить как взвесь сферических частиц её тяжёлых компонентов одинакового размера в лёгкой текучей среде. Для примера рассмотрим взвесь частиц асфальтена в газолине в качестве текучей среды.

Электрическими параметрами модели являются диэлектрические проницаемости асфальтенов  $\epsilon_p=2,7$  и газоллина  $\epsilon_f=2,0$ , напряженность электрического поля  $E$  в пространстве между перфорированными электродами, размещёнными поперёк трубопровода для создания продольного электрического поля.

Параметры взвеси:

- Размер частиц асфальтена, принятый  $a=1,5$  нм в соответствии с моделью Йена и данных рентгеновской дифракции, согласно которым частицы асфальтена в сырой нефти имеют кристаллическую структуру и представляют собой пачечные структуры диаметром 0,9-1,7 нм из 4-5 слоев, отстоящих друг от друга на 0,36 нм [3];
- Концентрация частиц во взвеси  $n$  и соответствующее расстояние между частицами  $n^{(-1/3)}$ .
- Максимальная объёмная доля  $\varphi_m$ , которая для сферических частиц  $\varphi_{сфера} = 0,64$  (64%) и эллиптической формы (вытянутых)  $\varphi_{эллипс} = 0,72$  (72%);
- Динамическая вязкость базовой жидкости  $\eta_0=0,0015$  Па\*с;
- Величины собственной вязкости частиц  $\nu$  [4] различной эллиптичности  $e$  в сонаправленном  $\nu_{||}$  и перпендикулярном потоку  $\nu_{\perp}$  направлениях (таблица 1). Эллиптичность определяется по формуле  $e=(b-a)/b$ , где  $b$  – средний размер цепочек, образующихся при агрегации частиц размера  $a$ .

Таблица 1 – Величины собственной вязкости частиц различной эллиптичности [4]

Эллиптичность частицы, $e$	Продольная вязкость, $\nu_{  }(e)$	Перпендикулярная вязкость, $\nu_{\perp}(e)$
0 (сфера)	2,5	2,5
0,1	2,431	2,540
0,9	2,010	4,485

Итак, по формуле Эйнштейна вязкость суспензии определяется согласно уравнению:

$$\eta = \eta_0(1 - \varphi/\varphi_m)^{-\nu\varphi_m}, \quad (1)$$

где  $\eta_0$  – вязкость базовой жидкости,  $\varphi$  – объёмная доля частиц в дисперсионной системе

Атомы металлов, входящие в состав асфальтенов, могут придать молекуле полярность. Это приводит к тому, что в сырой нефти в нормальных условиях центры соседних молекул асфальтенов притягиваются друг к другу, тогда как внешние цепи отталкиваются цепями других молекул [5], а при приложении электрического поля очевидны смещение электронной плотности частиц и их поляризация. Вектор поляризации  $p$ , коллинеарный векторам электрического поля  $E$  и движения потока, приводит к возникновению силы притяжения между частицами  $F=6p^2n^{4/3}/\epsilon_f$ . При

сопротивлении среды  $F_{mp} = 6\pi\eta_0 V$ , средняя скорость частиц составит  $V = p^2 n^{4/3} / (\pi\eta_0 a \varepsilon_f)$ . Величина поляризации  $p$  определяется по формуле:

$$\vec{p} = \varepsilon_f \vec{E} a^3 (\varepsilon_p - \varepsilon_f) / (\varepsilon_p + 2\varepsilon_f) \quad (2)$$

Время, через которое частицы встретятся, будучи движимы силой дипольного притяжения, получается при делении расстояния между частицами на их скорость сближения:

$$\tau = n^{-1/3} V^{-1} = \frac{\pi\eta_0 \left(\frac{4\pi}{3}\varphi\right)^{5/3} (\varepsilon_p - \varepsilon_f)^2}{\varepsilon_f (\varepsilon_p + 2\varepsilon_f)^2 E^2} \quad (3)$$

По формуле (3) с использованием выше приведенных параметров модели, построена зависимость времени сближения частиц от напряженности электрического поля (рисунок 1) для суспензии асфальтена в газолине при объёмных долях частиц 10% и 50%. Поскольку в более концентрированной суспензии расстояние между частицами меньше, скорость агрегации и образования цепочек при увеличении концентрации в 5 раз увеличивается примерно на порядок.

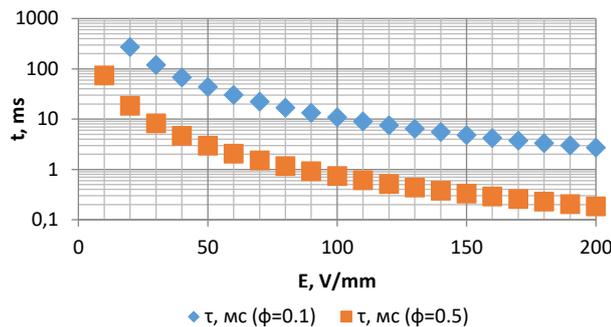


Рисунок 1. Зависимость времени агрегации от приложенного электрического поля

Благодаря высокой способности молекул асфальтена к образованию молекулярных агрегатов [6], за время  $\tau$  дисперсионная система сферических частиц превращается в систему сонаправленных молекулярных цепочек, и, соответственно, в уравнении (1) для вязкости взвеси при времени обработки  $t > \tau$  величина предельной объёмной доли частиц  $\varphi_m$  теперь меняет значение  $\varphi_{сфера} = 0,64$  на значение  $\varphi_{эллипс} = 0,72$ , величина собственной вязкости частиц изменяется с  $v_{||}(0) = v_{\perp}(0) = 2,5$  на  $v_{||}(e) = 2,01$  для продольной вязкости и  $v_{\perp}(0,9) = 4,485$  для поперечной вязкости (таблица 1). Таким образом, после подстановки этих величин в (1) справедливо условие (4), связывающее вязкость и время обработки электрическим полем. Время агрегации в свою очередь определяется приложенным электрическим полем (3).

$$\eta = \eta_0 \begin{cases} (1 - 1,56\varphi)^{-1,60}, & t < \tau \text{ (анизотропно)} \\ (1 - 1,35\varphi)^{-1,49}, & t \geq \tau \text{ (продольно)} \\ (1 - 1,35\varphi)^{-3,32}, & t \geq \tau \text{ (поперечно)} \end{cases} \quad (4)$$

При импульсной обработке условной сырой нефти импульсным электрическим полем с напряженностью 100 В/мм с длительностью импульса 10 мс в предположении образования цепочек из 10 и более молекул, изменение вязкости в продольном и поперечном направлениях составит -5,2% и +23,5% соответственно. Для более тяжелой и вязкой нефти, например, при объёмной доле частиц асфальтена 50%, при наложении  $E=100$  В/мм всего на 1 мс соответствующее изменение вязкости составит -51% и +304%. Подавление движения частиц в поперечном направлении и его облегчение в продольном есть ничто иное, как подавление турбулентности и установление ламинарного режима течения при пониженной вязкости. Таким образом показано, что электрическое поле благоприятно скажется на энергоэффективности транспортировки нефти в нефтепроводах.

#### Список использованных источников:

1. Husain Al-Muslimi and Ibrahim Dincer, "Thermodynamic analysis of crude oil distillation systems" *International Journal of Energy Research, Int. J. Energy Res.* 2005; 29:637–655.
2. Tao, Rongjia & Gu, G. (2015). *Suppressing turbulence and enhancing liquid suspension flow in pipelines with electrorheology. Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics.* 91. 012304. 10.1103/PhysRevE.91.012304.
3. Сафиева Р.З. Химия нефти и газа. Нефтяные дисперсные системы: состав и свойства (часть 1): Учебное пособие / Р.З. Сафиева. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004. – 112 с.
4. G. B. Jeffery, *Proc. R. Soc. London, Ser. A* 102, 161 (1922).
5. Акбарзаде К. Асфальтены: проблемы и перспективы [Электронный ресурс] / Камран Акбарзаде // Schlumberger. – Режим доступа: <http://www.slb.ru/userfiles/file/Oilfield%20Review/2007/summer/3%20Asph%20altenes.pdf>.
6. Евдокимов И.Н., Лосев А.П. Комплекс учебных пособий по программе магистерской подготовки «Нефтегазовые нанотехнологии для разработки и эксплуатации месторождений». Часть 5. ПРИРОДНЫЕ НАНООБЪЕКТЫ В НЕФТЕГАЗОВЫХ СРЕДАХ: Учебное пособие. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2008. – 104 с.

## ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ НА ВЯЗКОСТЬ СЫРОЙ НЕФТИ

Аль-ани А.А.А., Рабатуев Г.Г.

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

Борисенко В.Е. – д-р физ.-мат. наук, профессор

Качественно показана возможность применения наночастиц кварца для снижения вязкости сырой нефти за счёт адсорбции асфальтенов, ингибирования процесса их ассоциации и формирования вязкой связно-дисперсной системы (геля).

Поскольку нефть является ресурсом широчайшего использования, её добыча и транспортировка должны быть максимально экологичны и экономичны. Вязкость нефти является ключевым фактором, определяющим энергетические затраты на выкачивание нефти с больших глубин из коллекторов с низкой проницаемостью и её транспортировку по трубопроводам на тысячи километров. Снижение вязкости может быть достигнуто увеличением её температуры [1], приложением электрического [2] и магнитного полей, разбавлением водой и другими добавками. Многие методы являются малоэффективными, затратными или нереализуемыми, особенно на стадии выкачивания, но эффективность даже этого процесса может быть изящно увеличена с использованием нанотехнологий. Тяжёлыми частицами, которые в большей степени препятствуют транспортировке нефти, являются смолы и асфальтены, на которых концентрируются все металлы в составе нефти [3]. Молекулярные агрегаты образуют лишь молекулы асфальтенов. Если дисперсионная среда лиофобна по отношению к асфальтенам, то асфальтены образуют ассоциаты, которые выделяются в твердую фазу. Из ассоциатов формируется золь, то есть дисперсная среда без сплошных жестких структур, а при дальнейшем объединении ассоциатов образуются гели, то есть вязкие связно-дисперсные системы с жесткой пространственной структурой. Снизить вязкость нефти за счёт снижения среднего размера асфальтеновых агрегатов и интенсивности их образования представляется возможным при использовании наночастиц. При правильном подборе материала энергетически выгоднее может стать ассоциация частиц асфальтена с вводимыми наночастицами, чем между собой. Этот процесс представляет собой адсорбцию частиц асфальтена поверхностью наночастицы-сорбента или наоборот – пассивацию сформировавшихся агрегатов асфальтена вводимыми наночастицами, препятствующими дальнейшей ассоциации.

Основными требованиями к наночастицам являются: энергетическая выгода ассоциации с асфальтеном, экономическая целесообразность применения, размер меньший размеров пор в сланцевых кластерах, термическая, химическая и механическая стойкость. Этим требованиям соответствуют наночастицы оксида кремния с характерным размером порядка 10 нм и активированной силанольными группами поверхностью. Существуют две основных модели, описывающие адсорбцию в дисперсионной среде. Модель Ленгмюра [4] предполагает, что адсорбция происходит на однородной поверхности с монослойным покрытием, а модель Фрейндлиха [5] описывает адсорбцию, когда адсорбент имеет пористую поверхность. В работе [6] обнаружено, что адсорбция асфальтена имеет характер монослойной хемосорбции на силанольных группах кремнезема. Следовательно, при использовании наночастиц кварца сферической формы от модели Ленгмюра ожидается лучшее соответствие действительности. Но и при более простом рассмотрении можно убедиться в эффективности данного подхода. Пусть в 1 л нефти содержится 1 г частиц асфальтена с размером  $1,5 \times 1,5 \times 1,5 \text{ нм}^3$  [6] и плотностью  $1,1 \text{ г/см}^3$ , что соответствует количеству частиц порядка  $2,4 \times 10^{19}$ , способных покрыть площадь сорбента  $600 \text{ м}^2$ . При добавлении 1 г коллоидного кварца с удельной площадью  $300 \text{ м}^2/\text{г}$  в первом приближении половина асфальтена окажется адсорбированной, на 50% может быть снижена вероятность ассоциации, гелеобразования, а также средний размер агрегатов.

Таким образом, качественно показана применимость наночастиц кварца для снижения вязкости нефти. Такой метод в перспективе может быть использован на стадии выкачивания нефти из сланцевых залежей, поскольку возможно введение наночастиц в сам резервуар.

### Список использованных источников:

1. Raicar J, Procter RM (1984) *Economic considerations and potential of heavy oil supply from Lloydminster-Alberta, Canada*. In: Meyer RF, Wynn JC, Olson JC (eds) *The future of heavy oil and tar sands, second internal conference*. McGraw-Hill, New York, pp 212–219
2. Tao, Rongjia & Gu, G. (2015). *Suppressing turbulence and enhancing liquid suspension flow in pipelines with electrorheology*. *Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics*. 91. 012304. 10.1103/PhysRevE.91.012304.
3. *Современные представления о нефтяных дисперсных системах [Электронный ресурс]*. – Режим доступа: <http://econf.rae.ru/pdf/2014/03/3293.pdf>
4. Langmuir I. *The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part I. Solids* // *Journal of the American chemical society*. – 1916. – Т. 38. – №. 11. – С. 2221–2295.
5. Freundlich H. *Adsorption in solids* // *Z. Phys. Chem.* – 1906. – Т. 57. – С. 385–470.
6. Fritschy, G., & Papirer, E. (1978). Interactions between a bitumen, its components and model fillers. *Fuel*, 57(11), 701–704.

## ДЕТЕКЦИЯ И АНАЛИЗ РАКА КОЖИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

*Швед Е.И.*

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

*Бондаренко А.В. – канд. техн. наук, доцент*

Общие тесты для подтверждения рака кожи проводятся путем оценки пигментированных поражений кожи на основе заранее установленных морфологических моделей. Метод рамановской спектроскопии дает преимущества с точки зрения метода извлечения информации о раке кожи, особенно с учетом того, что биохимический состав образцов оценивается быстро, неинвазивно и без предварительного разделения или разрушения. Установлено, что результаты SPA-PAL2v сравнимая с статистическими методами PCA (PCA/DA) представляли собой более высокий процент прогноза.

Методы анализа данных для получения диагностических результатов в антикриминальных моделях обычно основаны на многомерной статистике; спектры анализируются с использованием всей спектральной информации в сочетании со статистическими алгоритмами на основе анализа основных компонентов (PCA)]. Несмотря на удовлетворительные результаты с использованием многомерной статистики, для получения удовлетворительного лечения такого серьезного заболевания, как рак кожи, необходим высокий индекс доверия к диагнозу и развитость сознания в результатах. Поэтому потребность в правильной, надежной и быстрой диагностике мотивирует дальнейшие исследования для поиска других моделей анализа обрабатываемых данных. Современные методы, использующие искусственный интеллект, позволяют получить спектральную информацию рамановских данных в более короткие сроки, с легкой визуализацией результатов анализа и более высоким индексом надежности[1].

С помощью алгоритмов, экстрагирующих степени доказательности и эффекты противоречия, были созданы параконсистентные модели для нормальной кожной ткани (NO), немеланомы (BCC + SCC) и предраковой кожной ткани (AK) [1]. Для тестирования с расстановкой гистопатологических групп применялись два метода исследования. Первым был способ 1 (без перекрестной валидации), при котором для построения параконсистентных моделей массива (NO, [BCC + SCC], AK) были использованы полные образцы рака кожи из рамановской базы данных, а затем все образцы были протестированы [1].

Вторым методом является способ 2 (с перекрестной проверкой). В этом режиме использовался метод k-образной перекрестной валидации. В этом методе часть образцов (подмножества) общей базы данных была удалена для формирования шаблонов, и тесты на попадание были проведены с повторной основной частью. Процедуры разделения части образцов для получения образца и тестирования с остальной частью выполнялись до тех пор, пока не была рассмотрена вся база данных. Окончательным результатом данного анализа стал средний процент правильных ответов в каждой процедуре. В этом режиме использовался метод перекрестной валидации k-образной формы, при котором 20% всех образцов раковой ткани кожи из базы данных были отобраны для составления подмножества выборочных данных, отобранных для испытаний. Для остальных 80% выборки были получены подмножества, использованные для построения моделей, относящихся к каждой гистопатологической группировке. Учитывая, что 20% образцов были использованы в каждом анализе для формирования выборки данных, отобранных для тестирования, процедуры испытания повторялись пять раз, чтобы охватить все образцы рамановской базы данных.

Построенная на основе интерпретаций на решетке Гассе, формулировка логико-математических основ алгоритмов PAL2v на рисунке 1 добавляет беспрецедентные возможности алгоритма SPA-PAL2v на рисунке 2, в качестве вычислительной основы для обработки значений комбинационного спектра в матрицах и с возможностью дифференцированных групп и конфигураций. Для обеспечения все более надежного диагностического обеспечения современной медицины разработан ряд исследований с использованием вычислительных методов анализа и обработки данных, основанных на неклассической логике. Неклассическая логика не подчиняется бинарным предписаниям классической логики и, таким образом, с их расширенными пределами, более активна, особенно в анализе, основанном на неполных или расплывчатых знаниях [2].

В данной работе представлены соответствующие результаты, и полученные процентные погрешности некоторых типов группировок превзошли погрешности традиционных методов статистического анализа. Представленные результаты подтверждают правильность сочетания ЛП-технологий и рамановских данных, открывая тем самым широкое поле исследований для поддержки экспертных систем медицинской диагностики, особенно при лечении раковых заболеваний кожи с использованием рамановских спектральных данных.

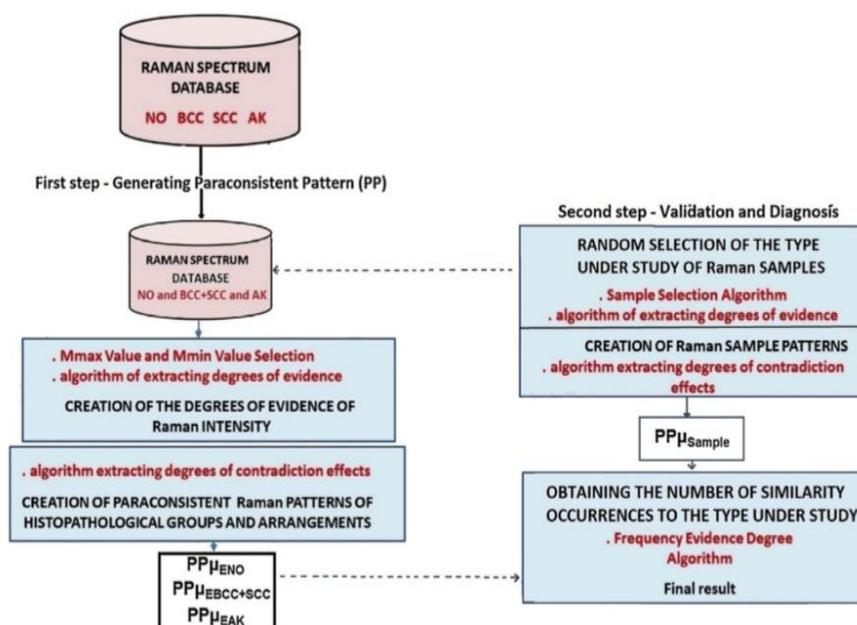


Рисунок 1 – Блок-схема набора параконсистентных алгоритмов (SPA-PAL2v), используемых для выделения спектров кожи в одной из рассматриваемых групп.

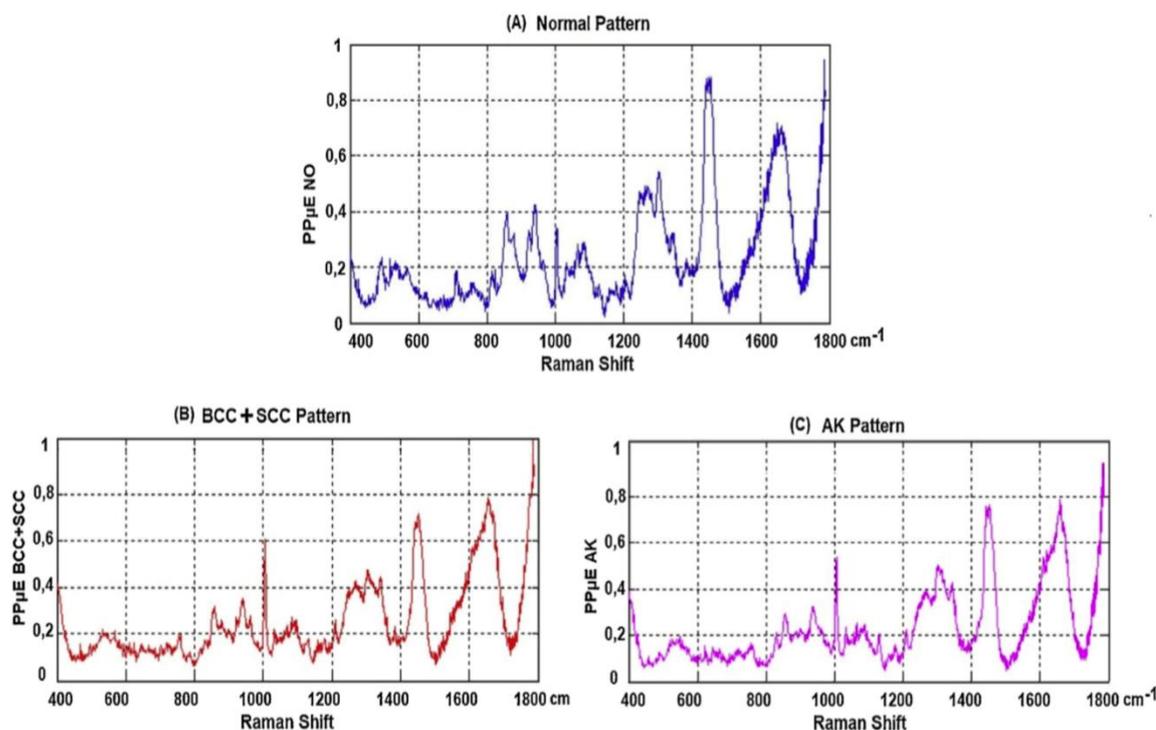


Рисунок 2 – Графики интенсивности рамановского рассеяния.

В ходе дальнейшей работы SPA-PAL2v будет использоваться для фильтрации базы данных для того, чтобы получить доказательства различных методов, используемых для определения интенсивности рамановского рассеяния в различных частях повреждений и других типах группировок [2]. В результате будет оптимизирована вычислительная структура для более точной характеристики возможных диагнозов рака кожи и других применений в различных областях человеческих знаний.

**Список использованных источников:**

1. Analysis of Raman spectroscopy data with algorithms based on paraconsistent logic for characterization of skin cancer lesions / Dorotéa Vilanova Garcia [et al.] // *Vibrational Spectroscopy*, 2019. – P. 102-112.
2. Accuracy of Raman spectroscopy for differentiating skin cancer from normal tissue / Jing Zhang // *Medicine (Baltimore)*, 2018. – P. 10-18

## ХИМИЧЕСКОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ СЕРЕБРА НА КРЕМНИЕВЫЕ НАНОНИТИ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНО-УСИЛЕННОЙ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Клименко А.В., Гурбо А.Д.

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

Бондаренко А.В. – канд. техн. наук, доцент

Ввиду своих оптических, физических и химических характеристик кремниевые нанонити представляют научный и практический интерес в различных сферах производства. В данной работе кремниевые нанонити рассматриваются в качестве формообразующей подложки для формирования наноструктур благородных металлов. Полученные наноструктуры серебро/кремниевые нанонити используются для поверхностно-усиленной Рамановской спектроскопии [1].

Целью работы было исследование влияния метода нанесения серебра на кремниевые нанонити на их оптические свойства, на полученные структуры серебро/кремниевые нанонити наносился органический анализ в различных концентрациях.

Для проведения экспериментов использовались пластины монокристаллического кремния дырочного типа проводимости, легированные бором, с удельным сопротивлением 0,01 Ом·см, с кристаллографической ориентацией (100). Для синтеза нанонитей использовался водный раствор соли серебра и раствора плавиковой кислоты HF (45%) с перекисью водорода H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (50%). Травление проводилось при комнатной температуре проводили в электрохимической ячейке, изготовленной из фторопласта, без освещения в зоне проведения эксперимента. Серебро наносилось химическим и физическим методами [2]. В качестве химического метода выступает иммерсионное осаждение серебра из водного раствора. Физическим методом выступало электронно-лучевое напыление серебра. Полученный образец кремниевых нанонитей представлен на рисунке 1.

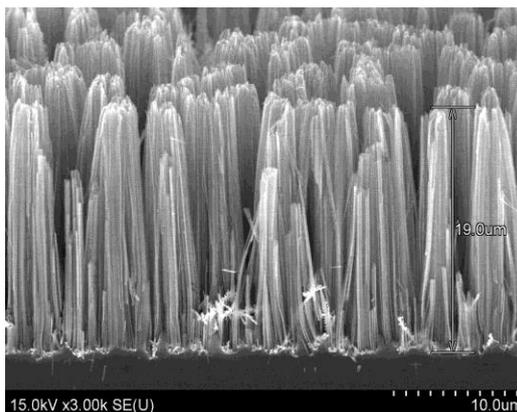


Рисунок 1 – СЭМ фотографии поперечного скола образца кремниевых нанонитей

Установлены существенные различия в кинетике роста и структуре слоя полученных структур, сформированных с помощью разных методов осаждения серебра на нанонити. Различны форма, диаметр, степень ветвления нанонитей. Толщина слоев, полученных с помощью иммерсионного осаждения, почти вдвое больше толщины слоев, полученных физическим напылением, это связано с присутствием в растворе для осаждения серебра плавиковой кислоты HF (45%), которая стравливает около половины слоя нанонитей по мере осаждения серебра. Также морфология слоёв, полученных химическим способом намного более развита, имеется большое количество дендритов серебра острой формы, что, в свою очередь, вносит вклад в усилительные свойства. Усилительные свойства химическим образцов на порядок выше нежели при осаждении серебра электронно-лучевым напылением. Предел детектирования для таких образцов составил 10<sup>-7</sup> М, тогда как в случае физического напыления серебра - 10<sup>-6</sup> М [3].

Полученные результаты позволяют оценить влияние метода нанесения серебра на морфологию и усилительные свойства образцов для поверхностно-усиленной Рамановской спектроскопии.

### Список использованных источников:

1. F. Patolsky, G. Zheng, C. M. Lieber, *Nat. Protoc.* 2006, - P.614-354.
2. Y. Cui, Q. Wei, H. Park, C. M. Lieber, *Science* 2001, с. 293.
3. K.Q. Peng J.J. Hu, Y.J. Yan *Adv. Fucnt Mate.* - 2015. P.116-124.

# ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ АНОДНОГО ОКСИДА ТИТАНА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ ВСТРОЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

Кольченко К.Т., Томашевич Л.П., Кисель А.А., Манцевич Д.А.

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

Лазарук С.К. – д-р физ.-мат. наук

В работе рассмотрен ряд требований к покрытиям титановых имплантатов, а также рассмотрено влияние состава электролита на формирование анодного оксида титана, обеспечивающий отрицательный встроенный электрический заряд.

Титан является основным материалом при изготовлении медицинских имплантатов, так как отличается высокой прочностью и самое главное - устойчив к коррозии в агрессивных средах человеческого организма за счет образования оксидной пленки на поверхности металла [1].

Однако к сегодняшним титановым протезам, особенно к имплантатам длительной носки, которые используются в сердечно-сосудистой, стоматологической и ортопедической хирургии предъявляется новый ряд требований. Эти требования связаны с оксидной пленкой, которая в свою очередь является биоактивной по отношению к среде организма. Пленка должна быть наноструктурирована, что значительно увеличивает протеиновое взаимодействие и последующую адгезию клеток, а также быть отрицательно заряженной, что делает данный материал тромборезистентным. Эти требования позволяют исключить опасность тромбообразования, значительно улучшить трофику кости, процессы остеогенеза и снизить до минимума вероятность отторжения имплантатов [2].

Одним из самых перспективных и распространенных методов получения наноструктурированных пленок  $TiO_2$  является анодное оксидирование титана. В этом методе можно осуществлять контроль электрических параметров (тока или напряжения), свойств электролита, длительности процесса анодирования. Все это дает возможность получать однородные по структуре и физическим свойствам пленки. Метод достаточно прост и дешев, позволяет получать пленки непосредственно на подложке, что крайне выгодно с технологической точки дальнейшего применения материала.

Был проведен ряд экспериментов по формированию оксидных пленок титана электрохимическим анодированием. Для изучения влияния условий формирования анодного оксида, обеспечивающий отрицательный встроенный электрический заряд, были использованы разные электролиты, сам процесс проводился в разных режимах анодирования. Электролиты выбирались из расчета, что при диссоциации будут образовываться нужные анионы, которые и будут влиять на измеряемый в дальнейшем потенциал. В качестве электролитов использовались следующие растворы: 1% раствор хлорида натрия, раствор 1% лимонной кислоты, смешанной с 1% раствором хлорида натрия в пропорции 99:1, раствор йодированной соли хлорида натрия и 0,1% раствор йода. Плотность подаваемого тока варьировалась от 10 до 15 мА/см<sup>2</sup> для образования равномерной пленки по всей поверхности образца и для избегания образования протравленных участков.

Наблюдается общая закономерность для всех полученных образцов в разных электролитах: чем больше было напряжение формовки и длительнее сам процесс анодирования, тем больше вероятность перехода потенциала в отрицательную область с большим по модулю значением.

Для образцов, которые были проанодированы в электролитах с содержанием хлорида натрия, на поверхности наблюдались участки травления, которые при длительном анодировании и высоких напряжениях формовки являлись основной причиной пробоя. Однако при оптимальном режиме анодирования ионы хлора способствовали получению отрицательного потенциала. Об этом влиянии анионов можно судить из полученных результатов: в растворе лимонной кислоты, смешанной с раствором хлорида натрия, потенциал редко уходил в область отрицательных значений, а при повторных измерениях спустя несколько дней наблюдался только положительный потенциал, но в растворе хлорида натрия без добавления лимонной кислоты отрицательного значения было легче добиться и при повторных значениях полученный результат сохранялся дольше. Однако полученная пленка с осажденным на ней хлором не сохраняла нужного свойства длительное время и следующие образцы были проанодированы в электролитах, которые при последующей диссоциации дадут другой значимый анион – йод. Результаты были значительно лучше в сравнении с электролитами без йода. Однако при повторных измерениях только образцы, полученные в 0,1% раствора йода, сохраняли требуемый результат долгое время.

#### Список использованных источников:

1. Рожнова О.М., Павлов В.В., Садовой М.А. Биологическая совместимость медицинских изделий на основе металлов, причины формирования патологической реактивности (обзор иностранной литературы) // Бюллетень сибирской медицины. 2015. №4.
2. Литвиненко В.Н. Материалы лекции по дисциплине «Материаловедение и биосовместимые материалы» // Биомедицинская инженерия и электроника. 2015. №3 (10).

## ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НАНОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ОКСИДА МЕДИ

Богушевич А.М.

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

Чубенко Е.Б. – канд. техн. наук, доцент

В процессе исследования была изготовлена наноструктура на основе оксидов меди в виде наностолбиков в матрице из пористого оксида алюминия. Были исследованы структура, состав и фотокаталитические свойства данной структуры. Так же была продемонстрирована фотокаталитическая активность при разложении метиленового синего.

За последнее десятилетие возрос интерес к оксидам меди как к материалам для фотокаталитических покрытий [1-9]. Оксиды меди имеют ширину запрещенной зоны в диапазоне 1,2-2,2 эВ, что позволяет эффективно поглощать большую часть спектра солнечного излучения для реализации фотокатализа и фотоэлектрохимического разложения, например, воды. Однако основной проблемой для успешного применения оксидов меди в указанных областях является их нестабильность и невоспроизводимость свойств. Решением может выступить изготовление гетероструктур на их основе или наноструктурирование оксидов меди. Поэтому, основной целью данной работы являлось электрохимическое осаждение меди в матрицу из пористого оксида алюминия (ПОА) и последующее окисление металла с целью получения наноструктурированного оксида меди и исследование его фотокаталитических свойств.

Формирование матрицы ПОА для последующего осаждения меди проходило методом двухстадийного анодирования. Сначала формировался толстый слой ПОА в 0,5М растворе  $H_2SO_4$  в потенциостатическом режиме при напряжении 20 В в течении 2 ч. Далее он химически удалялся в растворе, содержащем 0,6 М  $H_3PO_4$  и 0,2 М  $H_2CrO_4$  при температуре 65°C. Затем проводилось повторное анодирование в тех же условиях что и первое, но в течение 5 мин, с последующим утонением барьерного слоя. В конце проводилось расширение пор путем травления ПОА в 0,5 М растворе  $H_3PO_4$  в течение 20 мин. Осаждение меди проходило в 0,5 М растворе  $CuSO_4$  и 0,52 М  $H_3BO_4$  в импульсном гальваностатическом режиме при амплитуде тока 60 мА в течение 55 мин. Окисление меди проводилось при температуре 300 °С в течение 2 ч. Затем проводилось удаление ПОА в 0,1 М растворе NaOH. Фотокаталитическая активность исследовалась путем разложения модельного красителя метиленового синего (МС) в водном растворе концентрацией  $10^{-5}$  М в присутствии образца наноструктурированного оксида меди и без него. Морфология образцов исследовалась на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Hitachi S-4800. Спектры комбинационного рассеяния были исследованы на 3D сканирующем лазерном Рамановском конфокальном микроскопе SOL instruments Confotec NR500. Спектры пропускания растворов были получены на спектрофотометре Proscan MC 124.

Результаты исследования образцов методом сканирующей электронной микроскопии показал, что средний диаметр Ферета входных отверстий пор полученного ПОА, задающих в последствие размер столбиков оксида меди, составляет 35 нм (рисунок 1).

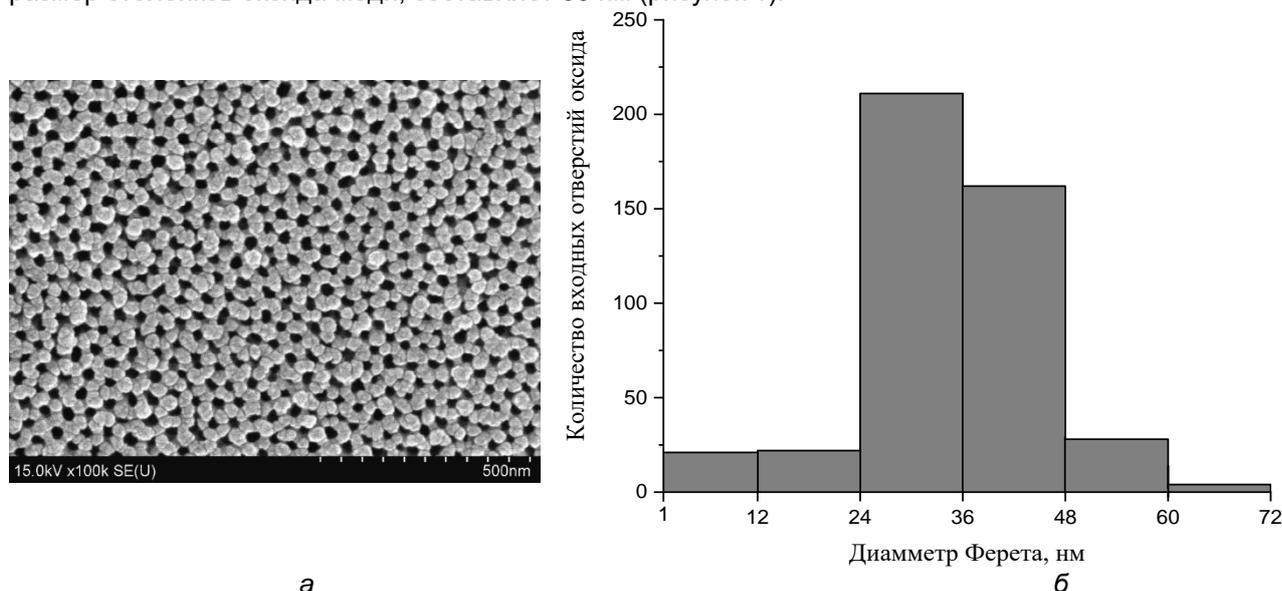


Рисунок 1 – СЭМ фотография поверхности ПОА (а), служащего матрицей для осаждения оксида меди, и гистограмма распределения значений диаметра Ферета входных отверстий каналов пор ПОА (б)

На рисунке 2 приведены результаты спектроскопии комбинационного рассеяния (КР-спектроскопии) образцов оксида меди в матрице ПОА. На спектре КР присутствуют вибрационные линии, соответствующие оксидам меди  $\text{Cu}_2\text{O}$  и  $\text{CuO}$ . На рисунке 3 показаны результаты исследования фотокаталитической активности полученных образцов по спектрам поглощения раствора, содержащего МС. Видно, что концентрация МС в растворе, который подвергался облучению вместе с образцом, ниже на 10,74 % по сравнению с раствором подверженным излучению без образца.

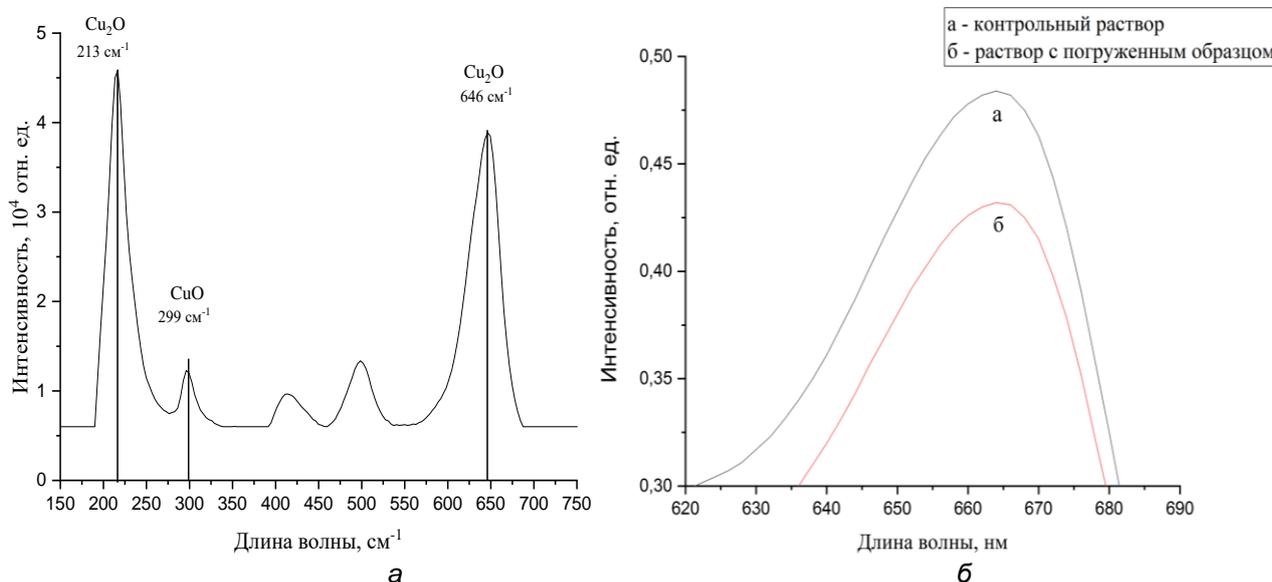


Рисунок 3 – Спектр КР оксида меди в матрице ПОА (а) и спектр поглощения образцов в области пика поглощения МС (б)

В ходе проведения исследования наноструктур на основе оксида меди в матрице ПОА выяснилось, что осаждение меди в матрицу из ПОА и последующее термическое окисление позволяет изготовить наностолбики оксида меди.

Результаты КР-спектроскопии показывают наличие двух оксидов меди –  $\text{Cu}_2\text{O}$  и  $\text{CuO}$  – в образцах. Результаты исследования фотокаталитической активности показали, что такие структуры демонстрируют невысокую фотокаталитическую активность, что связано с небольшой удельной открытой площадью полученных структур, непосредственно контактирующей с раствором модельного красителя.

Для увеличения фотокаталитической активности образцов планируется изготовить гетероструктуры подобного типа на основе оксида меди, декорированного наночастицами серебра, или же оксида меди и оксида цинка.

Работа выполнена в рамках задания 2.1.02 ГПНИ Республики Беларусь «Фотоника, опто- и микроэлектроника» и гранта министерства образования Республики Беларусь для магистрантов (ГБЦ 20-3157). Авторы также выражают свою признательность Жигулину Д.В. за проведение сканирующей электронной микроскопии образцов.

#### Список использованных источников

1. A sol-gel approach to nanophase copper oxide thin films / L. Armelao [et al.] // *Thin solid films*, 2003. – P. 48-52.
2. Amiri, M. Improvement of the photocatalytic activity of cupric oxide by deposition onto a natural clinoptilolite substrate / M. Amiri, A. Nezamzadeh-Ejehi // *Mater. Sci. Semicond. Process.*, 2015 – P. 501-508.
3. *Tinosporacordifolia* mediated facile green synthesis of cupric oxide nanoparticles and their photocatalytic, antioxidant and antibacterial properties / P.C. Nethravathi [et al.] // *Mater. Sci. Semicond. Process.*, 2015 – P. 81-88.
4. Synthesis and characterization of nanostructured cupric oxide for photo-catalytic applications / E. Mbu [et al.] // *ASETH-18, ACABES-18 & EBHSSS-18*, 2018. – P. 19-20.
5. Synthesis and enhanced photocatalytic property of CuO nanostructure via dip coating method / A.S. Zoofakar [et al.] // *2017 IEEE Regional Symposium on Micro and Nanoelectronics (RSM), IEEE*, 2017 – P. 30-33.
6. Veteran cupric oxide with new morphology and modified bandgap for superior photocatalytic activity against different kinds of organic contaminants (acidic, azo and triphenylmethane dyes) / P. S. Kumar [et al.] // *Mater. Res. Bull.*, 2016 – P. 522-533.
7. Microstructure, optical properties, and catalytic performance of  $\text{Cu}_2\text{O}$ -modified ZnO nanorods prepared by electrodeposition / X. Jiang [et al.] // *Nanoscale Res. Lett.*, 2015 – P. 1-6.
8. Photocatalytic oxidation and simultaneous removal of arsenite with CuO/ZnO photocatalyst / A. Samad [et al.] // *J. Photochem. Photobiol., A*, 2016. – P. 97-103.
9. RF magnetron sputtered Ag- $\text{Cu}_2\text{O}$ -CuO nanocomposite thin films with highly enhanced photocatalytic and catalytic performance / K.Sahu [et al.] // *Appl. Surf. Sci.*, 2020 – P. 146169.

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КОРПУСИРОВАНИЯ МИКРОСХЕМ

Гармилин Е.В.

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

Ефименко С.А. – канд. техн. наук, доцент

В работе рассмотрены основные тенденции развития технологий корпусирования, сконцентрировано внимание на тенденциях уменьшения шага выводов компонентов в корпусах различных типов. Проведен сравнительный анализ систем на кристалле и систем в корпусе: преимущества и недостатки, зависимости отношения цены к функциональности и времени выхода на рынок от сложности системы, сделаны краткие выводы.

Современное производство электронной техники характеризуется тенденциями миниатюризации и повышения плотности функциональных элементов, так называемого «сращивания» традиционной электроники и микроэлектроники, поэтому для выявления и анализа ключевых факторов развития современной электроники необходимо, прежде всего, комплексно рассматривать информацию, содержащуюся в открытых международных проектах (дорожных картах) развития различных отраслей. Это - традиционный Международный проект развития полупроводниковых технологий (International Technology Roadmap for Semiconductors, ITRS), проекты Ассоциации IPC по коммутационным структурам в электронике и Консорциума международной инициативы производителей электроники (iNEMI). [1-2].

**Системы на кристалле**, СнК (System on Chip, SoC). В случае «систем на кристалле» на одном кристалле БИС выполняются различные части электрической схемы, такие как процессор, память, аналоговая часть и другие элементы с использованием технологий производства интегральных микросхем. С точки зрения плотности интеграции компонентов, длины электрических соединений, совместимости со стандартными технологиями производства и проектирования интегральных микросхем СнК обладают высочайшими показателями, однако имеются и недостатки, один из которых — очень высокая трудоемкость проектирования таких систем [2]. Пример системы на кристалле представлен на рисунке 1.

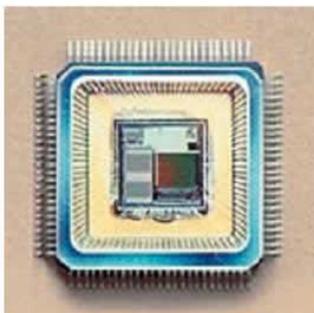


Рисунок 1 – Видеосистема на кристалле [1]

**Система в корпусе** (System in Package, SiP) – это комбинация нескольких активных электронных компонентов различной функциональности, собранная в единый модуль, которая обеспечивает реализацию разных функций, обычно выполняемых системой или подсистемой. Система в корпусе может иметь в своем составе пассивные компоненты, МЭМС, оптические компоненты и другие корпуса и устройства. Объединение этих компонентов в одном корпусе имеет существенные преимущества: конструкция становится меньше, легче, надежней и дешевле. Пример такой системы показан на рисунке 2.

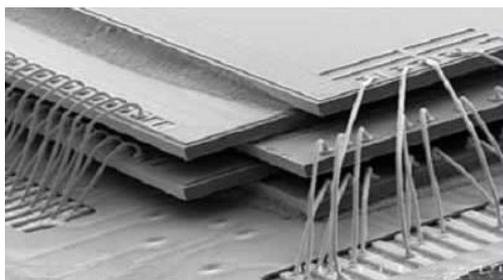


Рисунок 2 – Фотография примера разварки выводов и системы в корпусе

На рисунке 3 представлен график зависимости отношения цены к функциональности и времени выхода на рынок к сложности «системы на кристалле» и 3D-интегрированной «системы в корпусе».

Видно, что с ростом сложности системы, включая интеграцию разнородных блоков, таких как МЭМС, СВЧ-каналы, биодатчики и источники питания, кривая для «систем на кристалле» растет экспоненциально, а для 3D-интегрированных «систем в корпусе» — линейно [2].

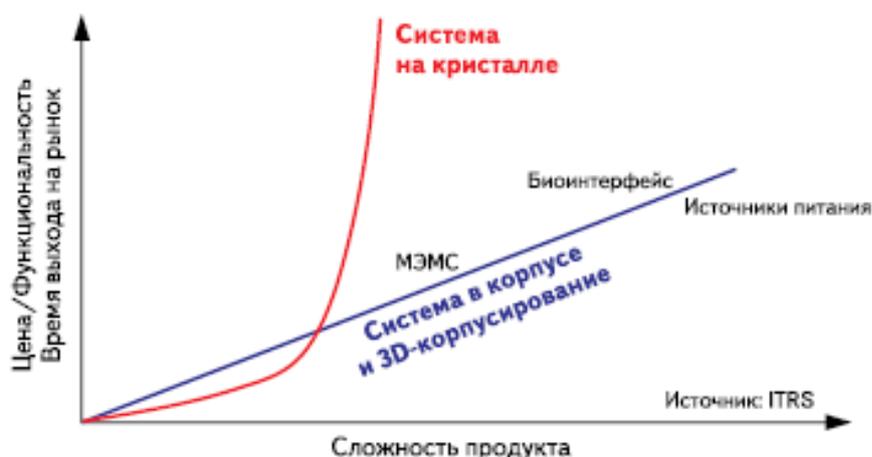


Рисунок 3 – Зависимость отношения цены к функциональности и времени выхода на рынок к сложности системы на кристалле и 3D-интегрированной системы в корпусе [2]

Сравнивая системы на кристалле с системами в корпусе, можно выделить преимущества и недостатки, перечисленные в таблице 1.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки систем в корпусе и систем на кристалле

	Система в корпусе	Система на кристалле
Преимущества	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Срок выхода на рынок – от 3 до 6 месяцев.</li> <li>• Возможность встраивания активных и пассивных компонентов.</li> <li>• Возможность замены отдельных компонентов.</li> <li>• Повторное использование отдельных элементов.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Выше миниатюризация.</li> <li>• Выше плотность межсоединений.</li> <li>• Выше надежность (за исключением кристаллов очень большого размера).</li> <li>• Выше выход годных при отработанной технологии.</li> </ul>
Недостатки	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Более сложная сборка.</li> <li>• Высокая плотность рассеиваемой мощности при расположении кристаллов друг над другом.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Срок выхода на рынок от 6 до 24 месяцев.</li> <li>• Сложность внесения изменений.</li> <li>• Возможности изделий ограничены выбранной технологией.</li> <li>• Ограниченный выход годных для сложных больших кристаллов.</li> </ul>

Если подводить очень краткие итоги по проблеме 3D-интеграции микроэлектронных устройств, то следует напомнить, что под 3D-интеграцией понимается расположение кристаллов друг над другом с созданием вертикальных соединений между кристаллами. Потенциальные преимущества, обеспечиваемые 3D-интеграцией включают в себя: уменьшение размеров системы, сокращение длины межсоединений благодаря замене длинных горизонтальных связей на короткие вертикальные, снижение энергопотребления. Однако, следует отметить, что 3D-интеграции присущи некоторые недостатки, а именно - высокая сложность проектирования, высокая стоимость.

**Список использованных источников:**

1. Белоус, А.И. *Основы конструирования высокоскоростных электронных устройств. Краткий курс «белой магии»* / Белоус А.И., Солодуха В.А., Шведов С.В. – Москва: Техносфера, 2017. – 872 с.
2. Белоус, А.И. *«Основы силовой электроники»* / Белоус А. И., Ефименко С. А., Солодуха В. А., Пилипенко В. А. – Москва: «Техносфера», 2019. – 424 с.

# АНАЛОГОВЫЙ ИНТЕРФЕЙС КРЕМНИЕВЫХ ФОТОЭЛЕКТРОННЫХ УМНОЖИТЕЛЕЙ С БОЛЬШИМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ

Галкин Я.Д., Кунц А.В.

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

Стемпицкий В.Р. – канд. техн. наук, доцент

Рассмотрены результаты схемотехнического проектирования на базовом матричном кристалле МН2ХА030 аналогового интерфейса кремниевых фотоэлектронных умножителей.

Целью настоящей статьи является рассмотрение параметров разработанного для считывания сигналов SiФЭУ с большим динамическим диапазоном аналогового интерфейса IВUF, реализованного на базовом матричном кристалле (БМК) МН2ХА030 и работоспособного при однополярном напряжении питания, равном 3,3 В.

Основными блоками аналогового интерфейса IВUF являются: токовый буфер, состоящий из каскада с общей базой на малошумящем транзисторе; интегратор тока, представляющий собой операционный усилитель (ОУ) с высоким выходным сопротивлением; схема восстановления базового уровня (ВБУ), основанная на дифференциальном усилителе, которая, при необходимости, может подключаться параллельно цепи отрицательной обратной связи интегратора. [1]

При моделировании аналогового интерфейса IВUF применялась упрощенная эквивалентная схема SiPM Photonic. [2]

Таблица 1 – Основные параметры аналогового интерфейса IВUF при напряжении питания, равном 3,3 В

Наименование параметра	Величина
Ток потребления в режиме холостого хода, мА	1,28
Входное сопротивление, Ом	<29
Коэффициент преобразования $K_{QV}$ при $C_D \approx 18$ пФ, В/пКл	0,03
Диапазон регулировки базового уровня, при отключенной схеме ВБУ, В	от 0,4 до 2,5
Диапазон регулировки базового уровня, при подключенной схеме ВБУ, В	от 1,28 до 3,10
Время пика по выходу Out при $C_D \approx 18$ пФ, нс	96,5
Полоса пропускания по уровню $-3$ дБ для выхода Out при $C_D \approx 18$ пФ, МГц	от 0,034 до 1,84
Среднеквадратическое значение шумового заряда для выхода Out, приведенное к входу аналогового интерфейса Inp, при $C_D \approx 18$ пФ и подключенной (отключенной) схеме ВБУ, фКл	58,23 (35,94)

На БМК МН2ХА030 разработан аналоговый интерфейс IВUF для SiФЭУ с большим динамическим диапазоном, содержащий токовый буфер, интегратор тока и схему ВБУ.

При однополярном напряжении питания, равном 3,3 В, аналоговый интерфейс характеризуется следующими основными параметрами: входное сопротивление – 29 Ом, ток потребления – 1,28 мА, время пика выходного импульса – около 100 нс.

Применение схемы ВБУ обеспечивает пренебрежимо малое изменение базового уровня при  $\pm 20\%$  разбросе сопротивлений интегральных резисторов, компенсирует влияние на базовый уровень вытекающего входного тока с величиной до 200 мкА, но в то же время увеличивает уровень шумов в 1,6 раза.

Разработанная схема сохраняет свою работоспособность при поглощенной дозе гамма-излучения до 1 Мрад, воздействию интегрального потока нейтронов до  $10^{14}$  н/см<sup>2</sup> и может найти применение в многоканальных микросхемах обработки сигналов SiФЭУ.

#### Список использованных источников:

1. O. V. Dvornikov, N. N. Prokopenko, V. A. Tchekhovski, Y. D. Galkin, A. E. Titov and A. V. Bugakova, "Silicon Photomultipliers' Analog Interface with Wide Dynamic Range," 2019 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Batumi, Georgia, 2019, pp. 1-4.
2. O. V. Dvornikov, N. N. Prokopenko, V. A. Tchekhovski, Y. D. Galkin, A. V. Kunz and A. V. Bugakova, "Circuit Features of Multichannel Chips of Reading Electronics of Silicone Photomultiplier Tubes," 2019 23rd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), Sinaia, Romania, 2019, pp. 149-155.

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ОКСИДА ЦИНКА С ДОБАВЛЕНИЕМ ПРИМЕСИ МЕДИ

Ткачёнок Н.М.

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

Чубенко Е.Б. – канд. техн. наук, доцент

В данной работе были исследованы закономерности формирования тонких пленок оксида цинка (ZnO) с примесью меди методом электрохимического осаждения на подложках из монокристаллического кремния. Полученные структуры были исследованы методом оптической спектрофотометрии. Полученные структуры демонстрируют широкую полосу фотолюминесценции в видимом диапазоне с максимумом на длине волны 590 нм, соответствующую излучательным переходам через обусловленные дефектами уровни в запрещенной зоне полупроводника. Были изучена фотокаталитическая активность в зависимости от режимов осаждения, при добавлении примеси меди (Cu) фотокаталитическая активность возрастает на 20%.

Оксид цинка (ZnO) полупроводник который обладает высокой термической и химической стабильностью, он является широкозонным полупроводником, с зоной равной 3,37 эВ при 300 К и большой энергией связи экситона (60 мэВ) [1], значительно превышающей величину теплового потенциала при комнатной температуре (25 мэВ). ZnO обладает коэффициентом пропускания в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах не менее 80 %, проявляет пьезоэлектрические и фотокаталитические свойства. Благодаря необычному их сочетанию в одном материале, ZnO широко используется форме наночастиц, тонких пленок и массивов наноструктур в оптоэлектронных и светоизлучающих устройствах, фотокаталитических покрытиях, фотовольтаических приборах и «прозрачной» электронике. Сам ZnO может использоваться и в других отраслях, как в электронике и оптоэлектронике, так как обладает излучающими способностями. Но из-за большого количества дефектов обладает проводимостью n-типа и для приобретения проводимости p-типа, требует сильного легирования для перекомбинации дефектов, что сильно может сказываться на быстродействии приборов на его основе. Поэтому путём легирования возможно изменение его физических свойств.

Вследствие чего изменение фотокаталитических свойств ZnO путём легирования иными материалами является приоритетной задачей. Так же, известно, что металлы группы IB, такие как серебро (Ag) и медь (Cu), являются быстро диффундирующими примесями в полупроводниковых соединениях. Диффузия Cu в ZnO может вызвать изменения в структуре его кристаллической решетки и, соответственно, его физических свойствах. Среди элементов IB группы Cu лучше всего подходит в качестве легирующей примеси для повышения эффективности фотокатализа и получения ZnO дырочного типа проводимости. Также было продемонстрировано, что эффективность излучения пленок ZnO в ультрафиолетовом диапазоне может быть значительно увеличена при легировании Cu. Однако легированные Cu плёнки ZnO практически не изучены, и механизм. Влияние легирования Cu на излучение, поглощение и связанные с этими процессами переходы электронов и экситонов в ZnO также требуют дальнейшего изучения [2].

Тонкие пленки ZnO, легированного Cu, были получены методом электрохимического катодного осаждения, так как данный метод позволяет получать плёнки с большой эффективной площадью поверхности и является наименее ресурсозатратным. В качестве подложек для формирования ZnO использовались пластины монокристаллического кремния марки КЭС-0,01 (111). Для осаждения использовался водный раствор, содержащий 0,1M Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и 0,1 mM CuSO<sub>4</sub>. Процесс осаждения проводился в гальваностатическом режиме при постоянной плотности тока от 5 до 10 мА/см<sup>2</sup> в термостатированной двухэлектродной ячейке при температуре 80 °С. Продолжительность процесса осаждения составляла от 5 до 30 мин, при большем времени осаждение увеличивалась толщина плёнок и происходило их отслоение от подложки поверхности. Спектры фотолюминесценции были записаны на лазерном спектральном измерительном комплексе при использовании для возбуждения фотолюминесценции монохроматического излучения с длиной волны 345 нм, выделенного из спектра излучения ксеноновой лампы. Для регистрации спектров использовался оснащенный цифровой камерой монохроматор-спектрограф Solar TII MS 7504i.

Полученные спектры фотолюминесценции образцов тонких пленок ZnO представлены на рисунке 1, а. В зависимости от режимов процесса электрохимического осаждения ZnO не происходит изменение положения пика фотолюминесценции, но изменяется интенсивность излучения, при увеличении плотности тока, происходило увеличение интенсивности излучения. Основной пик излучения расположен в оптическом диапазоне на длине волны 595±2 нм., в оранжевой области, это демонстрирует, что процесс излучения происходит за счёт дефектов в кристаллической решётке, обусловленные вакансиями кислорода и кислородом в междоузлиях создающие излучение с наибольшей интенсивностью [3].

Процесс фотокатализа изучался путём разложения раствора метилен синего в течении 1 – 2 часов, облучая образец светом представленной выше ксеноновой лампы. Полученные зависимости разложившихся молекул метилен синего, при облучении образца светом, в зависимости от времени представлены на рисунке 1-б. При увеличении плотности тока осаждения с 5 до 10 мА/см<sup>2</sup> увеличивается фотокаталитическая активность плёнок, за счёт увеличения толщины плёнок и тем самым увеличением количества реагирующего вещества в процессе осаждения. Добавление примеси Cu увеличило фотокаталитическую активность на 20 %, что указывает на изменение фотокаталитических свойств за счёт добавления примеси и как следствие демонстрирующее встраивание Cu в кристаллическую решётку и изменение свойств полученных плёнок.

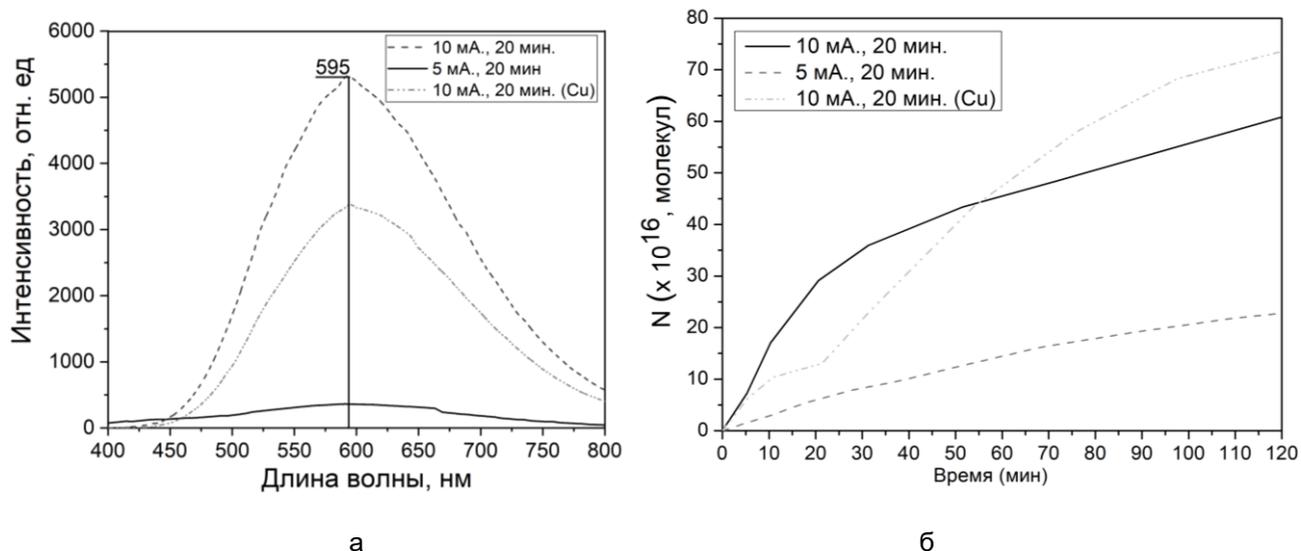


Рисунок 1 – Фотолюминесценция ZnO с добавлением примеси Cu и без (а), зависимость разложившихся молекул метилен синего в присутствии образца ZnO с примесью Cu и без при облучении светом (б)

Таким образом методом электрохимического осаждения были получены плёнки ZnO с примесью Cu, данные плёнки могут использоваться в процессах фотокатализа для разложения загрязнителей в воде. Сам процесс фотокатализ и фотолюминесценции обусловлен процессами излучательной рекомбинации через уровни в запрещенной зоне полупроводника, возникновение которых обусловлено вакансиями кислорода и атомами кислорода в междоузлиях кристаллической решетки ZnO, а также наличием примесных атомов Cu в полученных пленках. Дополнительная примесь в плёнках позволила увеличить эффективность фотокатализа на 20% и как следствие продемонстрировала возможность изменения свойств полупроводниковых плёнок за счёт легирующих примесей.

**Список использованных источников:**

1. Comprehensive review of ZnO materials and devices / Ü. Özgür [et al.] // *J. Appl. Phys.*, 2005. – P. 41-301.
2. Role of defects in one-step synthesis of Cu-doped ZnO nano-coatings by electrodeposition method with enhanced magnetic and electrical properties / K. Niranjan, [et al.] // *Appl. Phys. A.*, 2017. – pp. 250.
3. ZnO – nanostructures, defects, and devices / L. Schmidt-Mende [et al.] // *Materials Today*, 2007. – P. 40-48

## АНОМАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ЕМКОСТИ ПЬЕЗОРЕЗОНАТОРА

Ковалёва М.А., Григорьев А.С.

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

Петрович В.А. – канд. физ.-мат. наук, доцент;

Волчэк С.А. – канд. физ.-мат. наук, доцент

В работе представлены результаты регистрации значения емкости кварцевого пьезорезонатора в диапазоне частот 50кГц-500кГц. В районе резонансной и антирезонансной частот подробно исследовано поведение диэлектрической проницаемости в области основной (80 кГц) и утроенной (240кГц) резонансной и антирезонансной частот, а также за пределами этих частот. На антирезонансных частотах зафиксированы отрицательные значения емкости. Полученные результаты сравниваются с поведением эквивалентной емкости обычного резонансного LC-контура.

С помощью измерителя иммитанса E7-29 были исследованы следующие характеристики для кварцевого пьезорезонатора: ёмкость в последовательной схеме замещения, тангенс угла потерь, индуктивность в последовательной схеме замещения, активное сопротивление в последовательной схеме замещения, угол фазового сдвига комплексного сопротивления, модуль комплексного сопротивления. На основе анализа этих параметров было установлено, что использованный пьезорезонатор характеризуется наличием резонансных и антирезонансных частот: минимальная основная резонансная частота 80кГц, антирезонансная – 80,013кГц; утроенная резонансная частота - 243,664кГц, антирезонансная – 243,671кГц. Кроме этого, была построена зависимость эквивалентной ёмкости пьезорезонатора за пределами резонансных и антирезонансных частот. Результаты представлены на рисунке 1.

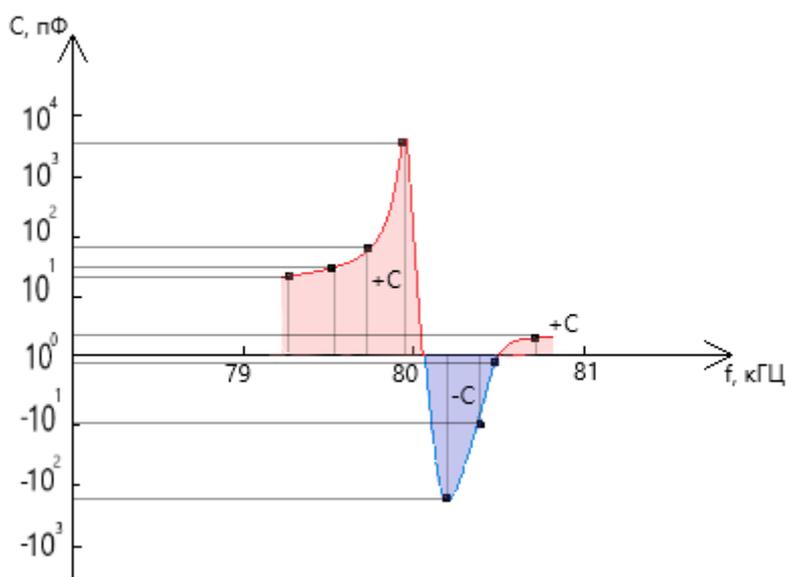


Рисунок 1 – Зависимость эквивалентной ёмкости пьезорезонатора от частоты в области основной резонансной и антирезонансной частоты.

Из рисунка 1 видно, что в области основной резонансной частоты эквивалентная ёмкость увеличивается. Эквивалентная ёмкость зависит от частоты так же, как и диэлектрическая проницаемость. Из рисунка можно судить об изменении диэлектрической проницаемости. Видно, что в области нерезонансных частот ёмкость составляет 25пФ, на резонансной частоте она достигает своего максимума– 1300пФ. В области антирезонансной частоты значения ёмкости, как и диэлектрической проницаемости, уходят в область отрицательных значений – (-180пФ). Зная геометрические размеры исследуемого образца, было установлено, что диэлектрическая проницаемость в области нерезонансных частот равна 3,35. Соответственно, в максимуме эквивалентной ёмкости диэлектрическая проницаемость увеличивается до значения в 476 единиц, а в минимуме до (-66). Возрастание диэлектрической проницаемости на резонансных частотах в 7 раз больше, чем «возрастание» на антирезонансных частотах.

Кроме этого, было зафиксировано, что до резонансной частоты наблюдаются положительные значения емкости, а после антирезонансной частоты значения емкости, при увеличении частоты возвращаются из области отрицательных значений в область положительных значений. Причины возникновения отрицательных значений диэлектрической проницаемости продолжают изучаться.

В сравнении с обычным резонансным LC-контуром (рисунок 2), в котором в области резонансной частоты значение ёмкости приобретает свой положительный максимум равный 25. На антирезонансной частоте значение емкости уходит в область отрицательных значений – (-94). Из рисунка 2 также видно, что при дальнейшем увеличении частоты значения остаются отрицательными. Такое поведение обычного резонансного LC-контра объясняется тем, что конденсатор, присутствующий в колебательном контуре на частотах, ниже резонансной, формирует общее мнимое емкостное сопротивление, это сопротивление и регистрируется как положительное значение эквивалентной емкости. На частотах выше резонансной индуктивное сопротивление контура превышает емкостное. Измеритель иммитанса регистрирует это как отрицательное значение емкости. В пьезоэлектрическом резонаторе такого не наблюдается.

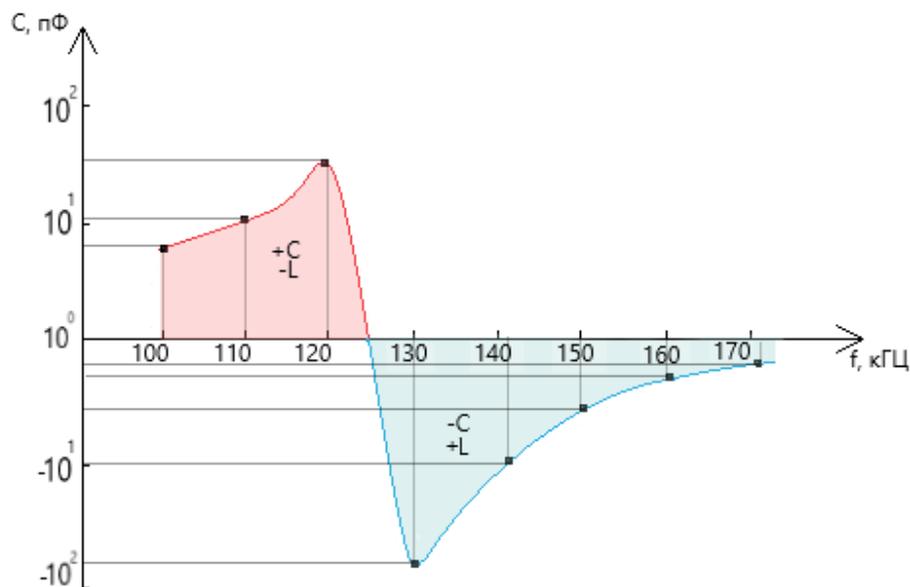


Рисунок 2 – Зависимость эквивалентной емкости обычного резонансного LC-контра от частоты в области основной и единственной резонансной и антирезонансной частоты.

Зарегистрированные значения эквивалентной ёмкости, для пьезорезонатора и классического LC-контра, представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Зависимость эквивалентной ёмкости от частоты для пьезорезонатора

f, кГц	79,3	79,5	79,6	79,89	80,2	80,4	80,5	80,7
C, пФ	25,7	33,5	89,2	1300,0	-179,2	-9,8	-1,2	3,2

Таблица 2 – Зависимость эквивалентной ёмкости от частоты для обычного резонансного LC- контра

f, кГц	100	110	120	130	140	150	160	170
C, пФ	8,2	12,3	25,1	-94,2	-9,8	-4,3	-2,8	-1,6

Результаты данной работы являются основой для создания новых фронтальных лабораторных работ по дисциплинам «Физика твердого тела» и «Физика конденсированного состояния» кафедры микро- и наноэлектроники БГУИР.

Кроме этого, измерители иммитанса E7-25, E7-28, E7-29 производства МНИИПИ РБ очень удобны для модернизации лабораторных и практических работ по другим дисциплинам: Основы радиотехники, Теория электрических цепей и т.п.

**Список использованных источников:**

1. Хиппель А.Р. Диэлектрики и волны./ М.: Из-во иностр. литературы, 1960. – 438 с.
2. Петрович В.А., Волчэк С.А. Физика диэлектриков; Методическое пособие по курсу «Физика твердого тела»/ Изд-во БГУИР, Минск, 2003. - 80 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОРИСТОГО АЛЮМИНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ АНОДИРОВАНИЕМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОНДЕНСАТОРОВ ПОВЫШЕННОЙ ЕМКОСТИ

Томашевич Л.П., Кольченко К.Т., Кисель А.А., Манцевич Д.А.

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

Лазарук С.К. – д-р физ.-мат. наук

Описаны преимущества использования суперконденсаторов на основе пористого алюминия, которые в перспективе могут стать заменой литий-ионным элементам питания. Показан способ получения пористого алюминия методом электрохимического анодирования.

Наноструктурированный пористый алюминий, формируемый методом электрохимического анодирования, может быть использован как материал для обкладок конденсатора высокой емкости.

Суперконденсаторы — это электрохимические конденсаторы, которые существенно отличаются от обычных практически неограниченной долговечностью, более низкими потерями тока и большими значениями удельной мощности. В первую очередь большой интерес к суперконденсаторам вызван возможностью замены ими аккумуляторных батарей, а также создания гибких источников питания большой мощности [1]. Аккумуляторные элементы питания на основе алюминия заряжаются в течение нескольких минут, выдерживают тысячи циклов перезарядки без деградации, гибкие и недорогие в изготовлении, гораздо безопаснее популярных литий-ионных, более устойчивы к механическим повреждениям, а также более экологичны.

Пористые металлы проявляют различные характеристики, такие как низкая плотность и большая площадь поверхности, которые отличаются от обычных металлов [2]. Пористый алюминий, сохраняя основные достоинства исходного материала, имеет во много раз ниже тепло- и электропроводность, а его звукопоглощение и демпфирующая способность выше, чем у исходной структуры металла. Кроме того, он термо- и биостоек, не разрушается при воздействии горячих смазочных веществ, растворителей, ультрафиолета и радиации. При воздействии открытого огня они постепенно размягчаются [3]. Положительная особенность пористого алюминия заключается в том, что для формирования данной структуры может быть использован метод электрохимического анодирования, что делает создание пористых структур на основе алюминия технологически и экономически доступным.

Для формирования пленок пористого алюминия используется высокочистая алюминиевая фольга 99,99%. Непосредственно перед процессом анодирования проводится предварительная очистка поверхности, с помощью спиртосодержащего раствора. Процесс анодирования проводится в двухэлектродной фторопластовой ячейке по схеме, изображенной на рисунке 1.

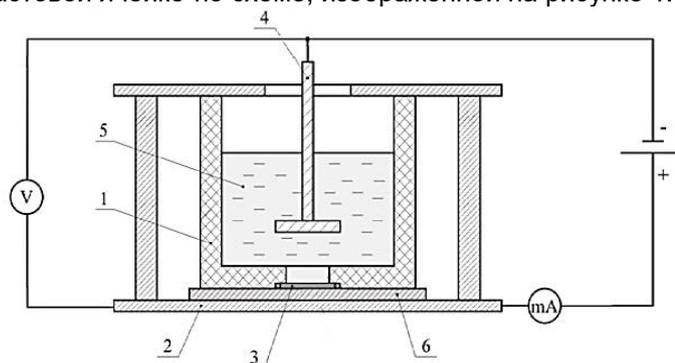


Рисунок 1 – Схематическое изображение электролитической ячейки (1 – фторопластовый цилиндр; 2 – алюминиевый контакт-держатель; 3 – резиновый уплотнитель; 4 – титановый катод; 5 – электролит; 6 – алюминиевая фольга)

В ходе процесса анодирования измеряется ток и напряжение амперметром и вольтметром соответственно. В рамках данной конференции в качестве электролита был использован 1%-й раствор хлорида натрия. При напряжении 50 В или больше и большой плотности тока данный раствор неравномерно стравливает поверхность алюминиевой фольги вследствие чего образуются поры.

#### Список использованных источников:

1. Kerui, Li Aluminum-Ion-Intercalation Supercapacitors with Ultrahigh Areal Capacitance and Highly Enhanced Cycling Stability: Power Supply for Flexible Electrochromic Devices / L. Kerui, S. Yuanlong, L. Shiyi and Z. Qinghong // *Advanced Science News*, 2017. – p. 10.
2. Nakajima, H. Fabrication of porous aluminum with directional pores through thermal decomposition method / H. Nakajima, S.Y. Kim, J.S. Park // *Journal of Physics: Conference Series*, 2009 – p. 165.
3. Хохлов, М.А. Конструкционные сверхлегкие пористые металлы / М.А. Хохлов, Д.А. Ищенко // Киев: Международная ассоциация «Сварка», 2013. – 272 с.

# КВАНТОВАЯ ЕМКОСТЬ УЛЬТРАТОНКИХ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОЛЯТОРОВ

Зайцев В.А.

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

Данилюк А.Л. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Представлены результаты моделирования квантовой емкости модельного топологического изолятора в зависимости от энергии Ферми и напряженности внешнего магнитного поля до 100 кЭ. Установленные осциллирующие закономерности обусловлены квантованием уровней по Ландау и могут использоваться для интерпретации экспериментальных данных по уточнению плотности состояний топологических изоляторов.

Одним из интенсивно развивающихся направлений физики твердого тела является поиск и исследование новых материалов, демонстрирующих уникальные электронные свойства. Использование таких материалов в высокотехнологичных отраслях промышленности, электроники, спинтроники позволит создать приборы нового поколения, обладающих более высокими характеристиками по сравнению с существующими. К таким перспективным материалам относится класс узкозонных полупроводников с инвертированной запрещенной щелью, так называемые топологические изоляторы (ТИ). ТИ – это класс физических объектов, которые являются изоляторами электрического тока в объеме, однако проводят ток по границам. Проводимость осуществляется по краевым электронным состояниям в случае двумерных топологических изоляторов или по поверхностным состояниям, если речь идет о трехмерных топологических изоляторах. Появление электронных состояний на границе топологических изоляторов определяется только свойствами объема изолятора и никак не связано со структурой границы. Проводящие состояния в топологических изоляторах не могут быть устранены изменением структуры границы: они являются устойчивыми по отношению к рассеянию на дефектах, изменению формы границы и ее химической пассивации [1,2]. Такие необычные свойства поверхности ТИ дают потенциальную возможность для их использования в новых спинтронных и магнетоэлектрических приборах, а также для создания квантовых компьютеров.

Ключевым условием для реализации топологического изолятора является особая структура электронных состояний, вызванная сильным спин-орбитальным взаимодействием в материале. Топологические изоляторы демонстрируют уникальные свойства, обусловленные поверхностными состояниями дираковского типа, которые защищены симметрией обращения времени. Теория предсказывает, что поверхностные состояния демонстрируют квантовый спиновый эффект Холла. Однако до настоящего времени исследования поверхностных состояний ТИ с помощью обычных транспортных измерений остается серьезная проблема из-за влияния вклада объемных носителей заряда. Экспериментальное наблюдение осцилляций Шубникова-де Гааза в измерениях квантовой емкости дает хорошие перспективы изучения их свойств. Причем измерения квантовой емкости существенно защищены от объемных помех.

Квантовая емкость позволяет напрямую исследовать поверхностную плотность состояний, которая чувствительна к механизмам рассеивания. Таким образом, измерение квантовой емкости дает количественное описание DOS на уровне Ферми.

Величина квантовой емкости определяется в виде [3]

$$C_Q = \frac{e \partial Q}{\partial \varepsilon_F} = \frac{e^2 \partial n_e}{\partial \varepsilon_F} = e^2 D_T(H) \quad (1)$$

где  $n_e$  – концентрация носителей заряда,  $\varepsilon_F$  – энергия Ферми. Температурная зависимость DOS от магнитного поля определяется соотношением

$$D_T(H) = \frac{\partial n_e}{\partial \varepsilon_F} = \int_0^\infty d\varepsilon \frac{\partial f(\varepsilon - \varepsilon_F)}{\partial \varepsilon_F} D(\varepsilon) \quad (2)$$

где  $f(\varepsilon - \varepsilon_F)$  – функция Ферми-Дирака. При низкой температуре можно допустить, что  $D_T(H) = D(\varepsilon_F)$ . Для гауссова уширения уровней Ландау DOS на единицу площади имеет вид [3]

$$D(\varepsilon_F) = D_0 \left[ 1 + 2 \sum_{\tau, k=1}^{\infty} (-1)^k \exp \left[ - \left( \frac{2\sqrt{2}\pi k \varepsilon_F \Gamma}{(h/2\pi)^2 \omega^2} \right)^2 \right] \cdot \cos \left[ \frac{2\pi k}{(h/2\pi)^2 \omega^2} (\varepsilon_F^2 - (\Delta_z + \tau_z \Delta_n)^2) \right] \right] \quad (3)$$

где  $D_0 = |\varepsilon_F| / \pi (h/2\pi)^2 v^2$ ;  $\omega = v \sqrt{e \mu_0 H / (h/2\pi)}$ ;  $\Gamma$  – ширина распределения Гаусса для уровней Ландау ( $\Gamma$  – индуцированное примесями уширение уровней Ландау),  $\omega$  – циклотронная

частота дираковских фермионов,  $\tau_z = \pm 1$  обозначает симметричные и антисимметричные поверхностные состояния ТИ соответственно,  $\Delta_z = (1/2)g\mu_B B$ ,  $g$  - фактор Ланде,  $\mu_B$  – магнетон Бора,  $\Delta_h$  - матричный элемент гибридизации  $\Delta_h$  который отражает гибридизацию между верхней и нижней поверхностями ТИ, или  $\Delta_h$  - энергия гибридизации, учитывает туннелирование между двумя поверхностными состояниями ТИ,  $D_0$  - плотность состояний в нулевом магнитном поле,  $v$  скорость Ферми для дираковских фермионов.

С помощью уравнений (1) - (3) вычислена квантовая емкость модельного ТИ в зависимости от энергии Ферми и напряженности магнитного поля. Использовались следующие значения параметров:  $v = 3 \cdot 10^5$  м/с,  $\Delta_z = 2-5$  мэВ,  $\Gamma = 0.3$  мэВ,  $\Delta_h = 2-5$  мэВ,  $H = 1-100$  кЭ,  $\epsilon_F = -0.05 \dots +0.05$  эВ. Полученные результаты расчета квантовой емкости  $C_Q$  в зависимости от энергии Ферми при  $H = \text{const}$  приведена на рисунке 1, а в зависимости от напряженности магнитного поля при  $\epsilon_F = \text{const}$  на рисунке 2.

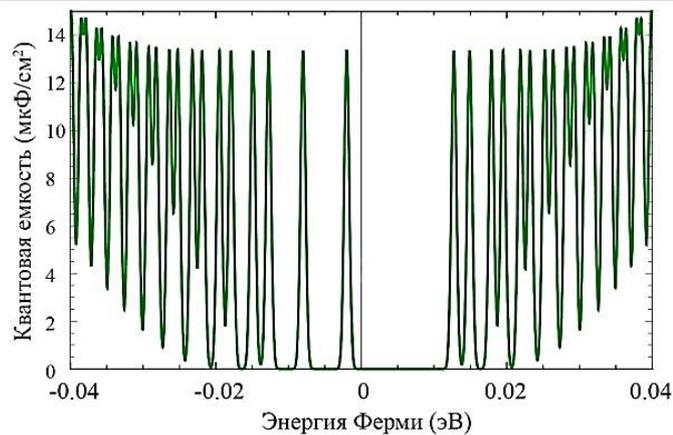


Рисунок 1 – Зависимость квантовой емкости от энергии Ферми при  $H = 30$  кЭ,  $\Delta_z = 5$  мэВ,  $\Delta_h = 4$  мэВ.

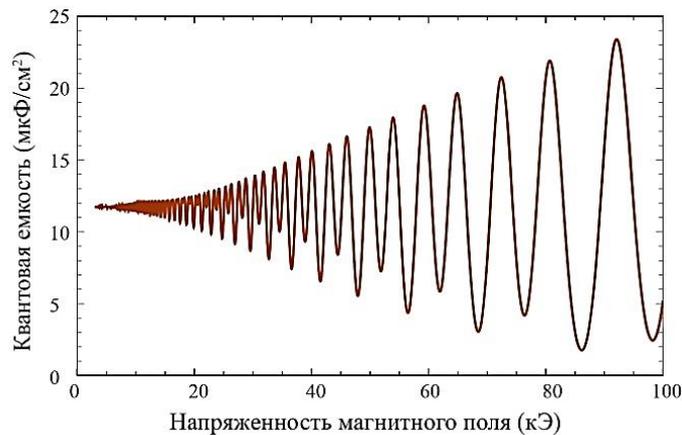


Рисунок 2 – Зависимость квантовой емкости от напряженности магнитного поля при  $\Gamma = 0.3$  мэВ,  $\epsilon_F = 0.03$  эВ,  $\Delta_h = 4$  мэВ,  $n_e = 4 \cdot 10^{15}$  м<sup>-2</sup>,  $v = 3 \cdot 10^5$  м/с.

Полученные закономерности квантовой емкости соответствуют колебаниям плотности состояний ТИ в магнитном поле из-за квантования уровней Ландау. Как можно видеть из рис.1 амплитуда колебаний квантовой емкости и соответственно плотности состояний уменьшается с ростом энергии Ферми при постоянной напряженности магнитного поля, в тоже время эта амплитуда нарастает с увеличением напряженности магнитного поля, рис.2. Это соответствует экспериментальным данным по измерению осцилляций Шубникова-де Гааза. Полученные результаты моделирования могут быть использованы для интерпретации экспериментальных данных по измерению квантовой емкости и уточнению деталей плотности состояний топологических изоляторов.

**Список использованных источников:**

1. M. Z. Hasan and C. L. Kane. *Colloquium: Topological insulators*/ *Rev. Mod. Phys.* 2010. Vol. 82, Iss.4. P.3045.
2. Xiao-Liang Qi and Shou-Cheng Zhang. *Topological insulators and superconductors*// *Rev. Mod. Phys.* 2011. Vol. 83, Iss.4. P.1057.
3. M. Tahir, K. Sabeeh, U. Schwingenschlög. *Quantum capacitance of an ultrathin topological insulator film in a magnetic field*// *Scientific Reports.* 2013. Vol 3 Article number 1261

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА МАГНИТНОЙ ЛОВУШКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

*Бездников М.С., Шекелевский В.В.*

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

*Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент*

В данной работе представлена методика моделирования магнитного поля при разработке и предварительной оценке характеристик магнетронного распылительного устройства.

Получение высококачественных тонкопленочных слоев металлов, сплавов, диэлектриков и полупроводников является одной из актуальных задач технологии. Тонкопленочные слои применяются для создания металлизации, также могут служить как оптические покрытия в оптоэлектронике, так и как износостойкие и твердые покрытия, также некоторое применение эти слои нашли в декоративной промышленности. За последние годы магнетронные распылительные устройства (МРУ) заняли лидирующее положение среди вакуумных методов получения тонкопленочных слоев.

В связи с популярностью данного PVD метода стоит задача проектирования и создания подобных устройств, а неотъемлемой частью этой задачи является моделирование явлений и процессов, протекающих в ходе распыления мишени. Все это делается с целью предварительной оценки характеристик устройства и качества напыляемых пленок.

В магнитной системе МРУ силовые линии магнитного поля, замыкающиеся между полюсами, образуют магнитную ловушку, которая позволяет локализовать плазму непосредственно над поверхностью распыляемой мишени [1].

Таким образом, моделирование магнитного поля – начальный этап в проектировании МРУ, ведь знание конфигурации линий магнитной индукции и величины магнитного поля позволит определить зону плазмообразования, а в дальнейшем и коэффициент распыления мишени в первом приближении.

Для моделирования используются студенческие пакеты программ Autodesk Inventor и Comsol Multiphysics. Первым шагом необходимо сделать геометрическую модель будущего устройства, которая будет использована в последующем построении магнитных полей. На рисунке 1 представлена геометрическая модель, которая будет интегрирована в Comsol Multiphysics.



Рисунок 1 – Геометрическая модель МРУ с обозначенными полюсами магнитной системы

После интеграции геометрической модели и задания необходимых параметров составляющих МРУ, необходимо провести расчет. Все эти операции позволяют вывести различные типы данных. Например, распределение линий индукции магнитного поля над поверхностью мишени, как это представлено на рисунке 2. Или графическую конфигурацию линий магнитной индукции, как это показано на рисунке 3.

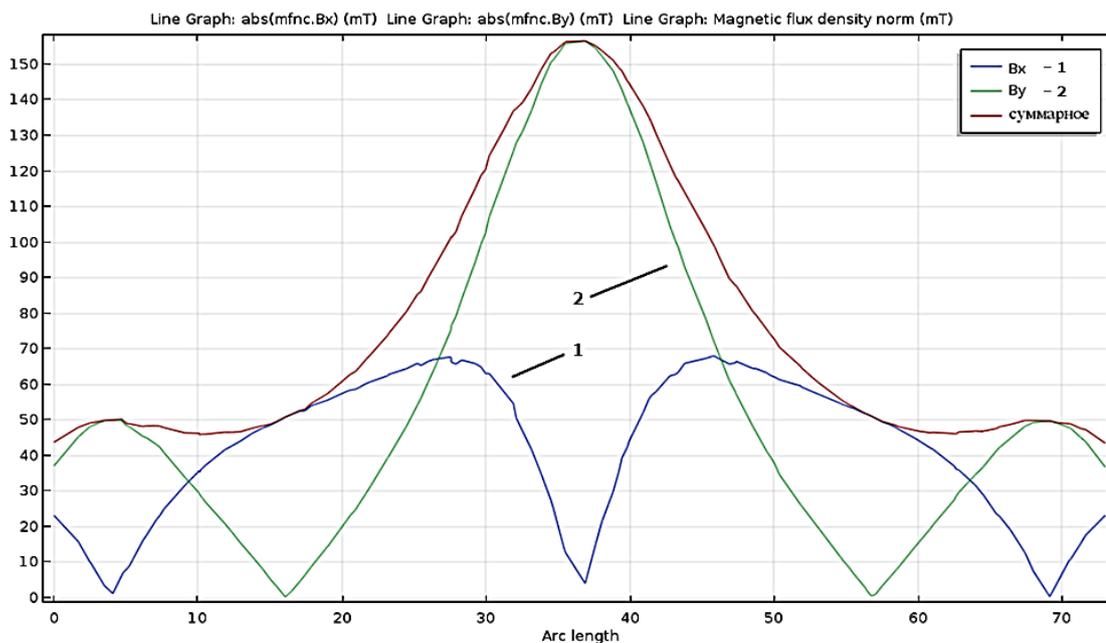


Рисунок 2 – Величина индукции магнитного поля на расстоянии 3 мм над поверхностью мишени

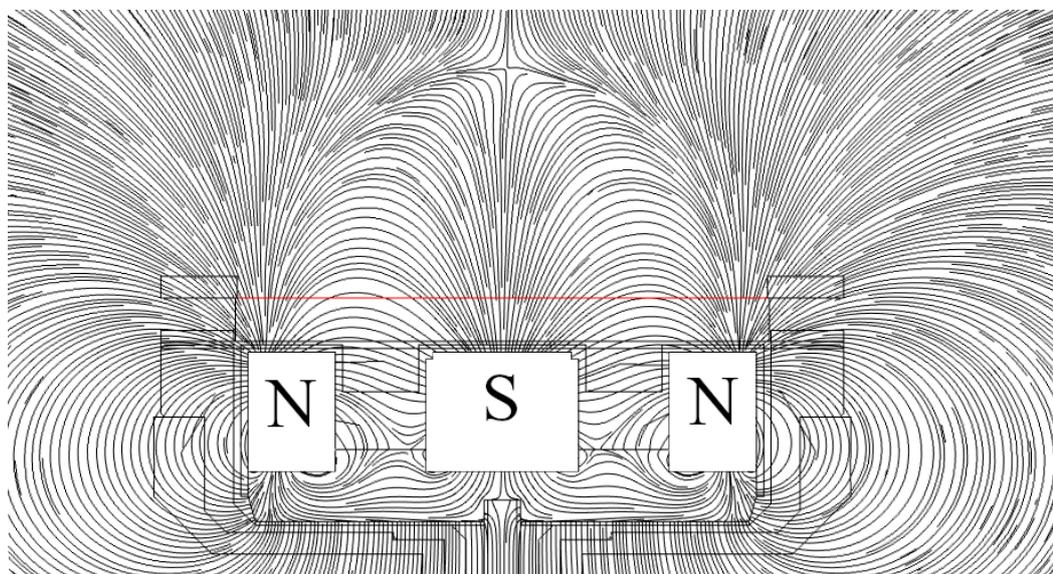


Рисунок 3 – Линии индукции магнитного поля

Это лишь малая часть данных, которые можно получить, используя подобный метод. Все данные можно использовать для дальнейшего теоретического расчета зоны плазмообразования, профиля эрозии и коэффициента использования материала мишени, а также теоретической оценки качества нанесенного покрытия.

По итогу, алгоритм моделирования заключается в создании геометрической модели, на этапе создания которой мы выбираем форму полюсов, магнитной системы МРУ. В последствии задаются параметры магнитов и магнитопроводящих материалов; ведется расчет значений параметров магнитного поля методом конечных элементов. Комплекс мультифизического моделирования позволяет вывести необходимые результаты в виде графиков, содержащих информацию для дальнейшего прогноза и расчета ионных токов и зоны эрозии мишени, а также позволяющих провести ориентировочную оценку зоны плазмообразования.

**Список использованных источников:**

1. Данилин, Б. С. Магнетронные распылительные системы / Б. С. Данилин, В. К. Сырчин – М.: Радио и Связь, 1982. – 72с.

# УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ ПОВЕРХНОСТИ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПОСРЕДСТВОМ ОБРАБОТКИ В ПЛАЗМЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

*Шабуневич Н.В.*

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

*Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент*

Аннотация. Плазменные методы модификации поверхности (в том числе и её активация) являются одними из наиболее перспективных направлений материаловедения, и в последнее время привлекают к себе большой интерес. Плазменная технология основана на простом физическом принципе: за счет подачи энергии изменяются агрегатные состояния (твердое становится жидким, жидкое становится газообразным). Если сообщить газу дополнительную энергию, он ионизируется и переходит в четвертое агрегатное состояние – плазму. Этот принцип и используется для целенаправленной модификации свойств материала. Предварительная обработка плазмой способствует существенному и точно регулируемому повышению адгезионной способности и смачиваемости поверхностей

Это позволяет в промышленных масштабах использовать принципиально новые (в том числе неполярные) материалы, а также экологически безопасные, не содержащие растворителей (ЛОВ-несодержащие) лаки и клеи. Многие химические технологии предварительной обработки сегодня можно заменить плазменной обработкой.

Наибольший интерес представляет атмосферная плазма: изменяя только поверхностные свойства, она не затрагивает структуру материала. Как правило, при плазмохимической обработке изменениям подвергается только поверхность твердого материала и тонкий приповерхностный слой, толщина которого колеблется от единиц нанометров до нескольких микрометров.

Основным преимуществом является исключительно высокая эффективность активации по сравнению с другими способами. Плазменные установки можно легко интегрировать в существующие производственные линии, они экологически безопасны и компактны, и все это при низких текущих расходах.

Основными областями применения атмосферной плазмы являются:

- обработка металлов: возможность создавать на поверхности металла очень тонкий оксидный слой, например, при пассивации поверхности алюминия;
- обработка эластомеров и полимеров: можно обрабатывать «бесконечные образцы» (кабели и шланги);
- электроника: обработка мест склеивания металлов или индиево-оловянных оксидов возможна непосредственно перед операцией склеивания (ЖК – TFT, микрочипы и т.д.);
- нанесение покрытий, склеивание, микросварка, пайка, печать и др;
- обработка поверхностей органических материалов: латекс, ПВХ, ПТФЭ, акрил, лавсан, капрон и т.д.

В качестве типа плазмы, используемой для обработки образцов можно использовать различные ее виды (коронный разряд, индуктивно-связанная плазма, СВЧ-плазма), однако для обработки образцов органических материалов, наиболее щадящей, безопасной и при этом достаточно эффективной, является низкотемпературная плазма диэлектрического барьерного разряда, генерируемая при атмосферном давлении. В диэлектрическом барьерном разряде (ДБР) используется диэлектрическое покрытие на одном или обоих электродах, к одному из которых обычно подводится низкая частота, радиочастота или переменный ток, тогда как другой заземлен. Разряд состоит из множества быстро образующихся и также быстро завершающихся дуг, которые заполняют объем между электродами. Обработку материалов можно проводить, используя озоновую генерацию (в случае подачи воздуха или кислорода) или пропуская (провода) подложку материала – предполагая, что он диэлектрик – через область разряда между электродами.

В установках атмосферной плазмы создается активная газовая струя, относящаяся к группе нетермических плазм (от 200 до 300°C), поток плазмы должен находиться в непрерывном движении относительно обрабатываемой поверхности. В процессе обработки температура поверхности повышается на 15-20°C. Кроме скорости обработки, существенным является расстояние между плазменным соплом и обрабатываемой поверхностью.

Активная газовая струя, выходящая из сопла горелки, свободна от потенциала высокого напряжения, поэтому ограничений при выборе обрабатываемого материала нет. С помощью этой технологии можно обрабатывать как электропроводящие, так и изоляционные материалы. Благодаря содержащемуся в газовой струе радикала с помощью атмосферной плазмы можно проводить тонкую очистку поверхности и её активацию.

Принцип действия атмосферной плазменной установки основан на трех основных узлах: генератора плазмы, блока питания, системы подвода газа.

Система газового контроля следит за технологическим (для производства плазмы) и охлаждающим газовыми потоками, поступающим в установку. Затем газ подается в зону разряда (в плазменный элемент). С другой стороны, генератор высокого напряжения преобразует сетевое напряжение (220 В) в напряжение до 10 кВ, необходимое для электрического разряда. Газ проходит через электрическую дугу, образуются активные частицы (ионы, электроны, радикалы), которые и выносятся потоком воздуха из зоны разряда. С помощью сопла горелки этот поток фокусируется на определенном участке обрабатываемой поверхности (рисунок 1).

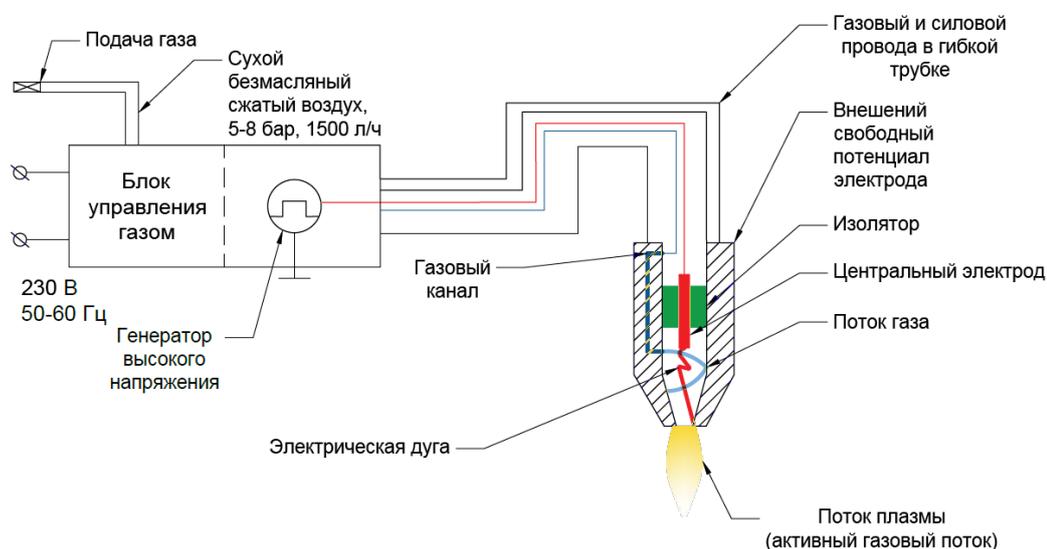


Рисунок 1.2 – Схема атмосферной плазменной установки

Важно помнить, что предварительная очистка и активация являются разными процессами, т.к. при активации поверхности происходит не просто удаление каких-либо загрязнений, а именно улучшение и проявление изначальных «природных» свойств материала подложки. Удаление загрязнений и активация поверхности могут осуществляться как в едином технологическом процессе, так и раздельно. Принципиально любое удаление физически или химически адсорбированных веществ с поверхности уже активует эту поверхность.

Активация поверхности заключается в том, что поверхностным атомам твердого тела для перевода их в активное состояние сообщается некоторая энергия, необходимая для обрыва связей между атомами тела и атомами внешней среды, насыщающими их свободные связи.

Модификация является в первую очередь процессом усовершенствования и преобразования поверхности подложки с приобретением новых свойств. Образование новых функциональных групп и активных центров позволяет изменить свойства поверхности, после чего возможна прививка к поверхности молекул других веществ, которые либо сами обладают нужными свойствами, либо имеют функциональные группы, которые могут реагировать с требуемыми молекулами. Нанесение покрытий позволяет восстановить ранее утраченные свойства в процессе эксплуатации изделий.

В качестве меры оценки степени очистки поверхности целесообразно использовать степень смачиваемости. Количественной характеристикой смачиваемости является краевой угол смачивания, определение величины которого возможно с помощью метода «лежащей капли». Суть данного метода заключается в измерении угла между твердой поверхностью образца и жидкостью (каплей воды) в точке контакта трех фаз.

#### Список использованных источников:

1. Лучкин, А. Г. Очистка поверхности подложек для нанесения покрытий вакуумно-плазменными методами / А. Г. Лучкин, Г. С. Лучкин // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Том №15. – С. 208–210.
2. Кузьмичёв, А.И., Чаплинский, Р.Ю. Плазменные системы высокого давления с микроструктурированными электродами. Часть 2. Конструкции микроструктурированных электродных систем для генерации нетермической неравновесной плазмы при атмосферном давлении / А.И. Кузьмичёв, Р.Ю. Чаплинский // ElectronComm, 2014. – Vol. 19, №4. – P. 36–44.
3. Improving adhesion performance of polyethylene surfaces by cold plasma treatment / С. Mandolino [and etc.] // Meccanica. – 2014. – Vol. 49. – P. 2299–2306.
4. Материаловедение: Учеб. пособие / А.А. Аникин [и др.]. – ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2012. – 252 с.
5. Адамсон, А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон. – М.: Мир – 1979. – 568 с.

## МЭМС-ИНДУКТОР НА ОСНОВЕ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Звонова А.Д.

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

Короткевич А.В. – канд. тех. наук, доцент

В современных устройствах беспроводной связи потребность в высокопроизводительных индукторах возрастает, поскольку они широко используются в радиочастотных интегральных схемах. Применяя традиционные технологии изготовления ИС невозможно получить компоненты с высокой добротностью ( $Q_s > 30$ ), необходимые для обеспечения высокой избирательности в ВЧ системах связи. Объединение технологий изготовления СВЧ ИС и микросистем позволит создавать новые устройства, обладающие целым рядом достоинств: миниатюрными размерами, небольшим весом, низким уровнем потребляемой мощности, возможностью массового производства, надежностью и воспроизводимостью [1].

Цель работы заключается в разработке и проверке производительности МЭМС-индуктора на основе анодного оксида алюминия.

В докладе представлена методика разработки МЭМС-индуктора на основе АОА, которая включает следующие этапы:

1. Анализ вариантов конфигураций планарных индуктивных элементов, применяемых в ВЧ системах.
2. Выбор внешних размеров, ширины и расстояния между металлическими дорожками, толщины слоя металлизации, количества витков спирали и материала подложки.
3. Изготовление и испытания лабораторных образцов.

Особенностью предложенной методики является использование в качестве подложки анодного оксида алюминия, обладающего хорошими электрическими и акустическими свойствами, высокой механической прочностью и длительным временем износа [2].

Для изготовления и исследования будет использован спиральный индуктор, представленный на рисунке 1. Главным преимуществом таких индукторов является более высокая добротность и обеспечение больших значений индуктивности, чем у полосковых индукторов.

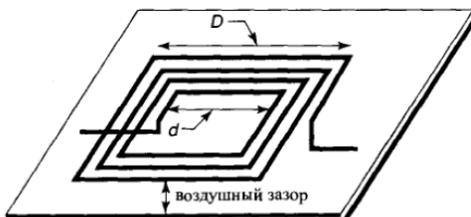


Рисунок 1 – Схема спирального индуктора с воздушным сердечником и воздушным зазором

Индуктор изготавливается с воздушным сердечником и подвешивается над подложкой из оксида алюминия. Здесь, в отличие от традиционного воздушного моста медные опоры, сформированные электролитическим способом, служат для образования воздушного зазора. В конструкции используются толстые проводящие линии, что увеличивает площадь поперечного сечения и снижает сопротивление линий. Наличие воздушного зазора между катушкой и подложкой позволяет снизить влияние диэлектрической подложки.

Спиральные индукторы используются, в основном, как реактивные элементы в фильтрах, устройствах связи, делителях, а также как согласующие элементы и преобразователи импеданса в монолитных ИС.

В процессе анализа литературных источников не обнаружена информация о влиянии удельного сопротивления подложки из АОА, ширины металлической полоски и толщины металлизации. Ответы на эти вопросы предполагается получить при экспериментальных исследованиях.

Ожидается, что изготовление спирального индуктора с воздушным сердечником, подвешенным над подложкой, будет обладать более низкими потерями и меньшими паразитными эффектами, что приведет к повышению добротности и резонансной частоты.

### Список использованных источников:

1. Varadan, V. K. *RF MEMS and Their Applications* / V.K. Varadan, K. J. Vinoy, K. A. Jose. – USA : Pennsylvania State University, 2002. – 528 p.
2. Лыньков, Л. М. *Микроструктуры на основе анодной алюмооксидной технологии: монография* / Л. М. Лыньков, Н. И. Мухуров. – Минск : Бестпринт, 2002. – 166 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ПОТОКА В РЕАКТОРЕ ОСАЖДЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЛОЕВ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ

Занько А.И., Леонович Н.В.

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

Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент

Выполнен расчет газодинамического потока в реакторе плазмохимического осаждения при расходе газа в диапазоне 10-300 см<sup>3</sup>/мин. Установлено расположение газораспределителя в реакторе для равномерного поступления реагентов к подложке.

В микроэлектронике при создании полупроводниковых приборов и интегральных микросхем требуются диэлектрические слои на основе кремния (SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> и др.) в качестве изолирующих слоев для формирования транзисторов, конденсаторных структур, многоуровневой металлизации и пассивации. Метод плазмохимического осаждения из газовой фазы с применением источника индуктивно связанной плазмы позволяет получать диэлектрические слои при низкой температуре до 200 °С [1], конформной воспроизводимостью рельефа с высоким аспектным соотношением и возможностью управления напряженностью формируемых слоев.

Мы разработали реактор плазмохимического осаждения диэлектрических слоев на основе кремния. Реактор цилиндрической формы, в котором размещен планарный источник индуктивно-связанной плазмы, подложкодержатель и кольцевой газораспределитель установленные соосно с осью реактора. На равномерное осаждение влияет газовый поток в реакторе. Типы потоков в реакторе при низких давления можно классифицировать с использованием числа Кнудсена  $K_n$ , который определяется как отношение длины свободного пробега молекул к размерам рассматриваемого объема, диаметр реактора. При понижении давления ниже атмосферного происходит переход от сплошной среды ( $K_n < 0,1$ ) к режиму молекулярного потока ( $K_n > 1$ ) характеризуемого взаимодействием молекул только со стенками камеры [2].

В промышленности большинство процессов плазмохимического осаждения диэлектрических слоев на основе кремния проводится в диапазоне 1-100 Па, что определяется высокой скоростью осаждения, но при этом встает вопрос о равномерности покрытия пластин большого диаметра 200 мм и более. Расчет числа Кнудсена от давления в реакторе показал, что при давлении более 1 Па газ ведет себя как сплошная среда, расчет газовой системы в таком случае можно описать, используя уравнения Навье-Стокса для ламинарного потока. В программном комплексе Comsol Multiphysics производился расчет газодинамического потока в реакторе. В качестве граничных условий будем использовать паспортные параметры турбомолекулярного насоса STP-iXR 1606, температуру 273 К и расход аргона в диапазоне от 10 до 300 см<sup>3</sup>/мин. Расстояние между подложкодержателем и источником плазмы 140 мм. На рисунке 1 представлена неравномерность давления газа у подложкодержателя при различном расстоянии газораспределитель-подложкодержателя от расхода газа. Из приведенных результатов наблюдается повышение неравномерности давления при повышении расхода газа и приближении газораспределителя к подложке, из этого следует, что газораспределитель следует располагать за источником плазмы, неравномерность давления газ и соответственно продуктов реакции при этом не будет превышать 4%.

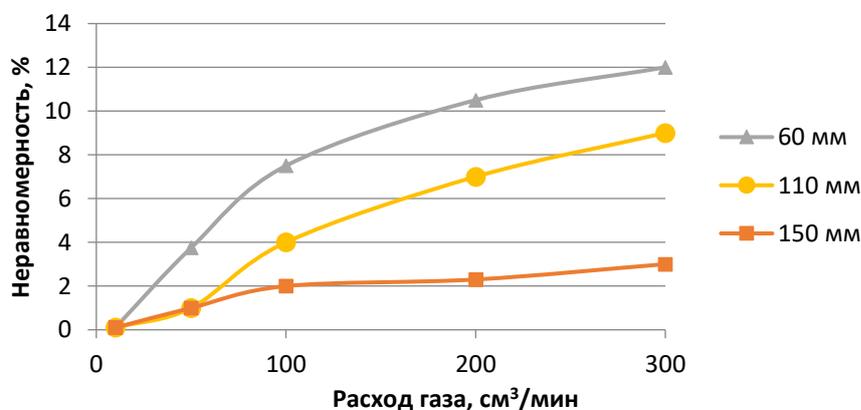


Рисунок 1 – Зависимости неравномерности потока газа от расхода газа и давления в реакторе

#### Список использованных источников:

1. Mackenzie, K. D. Inductively-coupled plasma deposition of low temperature silicon dioxide and silicon nitride films for III-V applications / K. D. Mackenzie, J. W. Lee, D. Johnson // *Electrochemical Society, Pennington, NJ.* - 1999. - № 99-4. - С. 1-12.
2. Абрамович, Г. Н. Прикладная электроника ч.2/ Г. Н. Абрамович. – М. : Наука, 1991. – С. 132-134.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕНТГЕНОДИФРАКЦИОННОГО АНАЛИЗА НАНОМАТЕРИАЛОВ

Крол М.А.

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

Хорошко Л.С. – канд. физ.-мат. наук

Цель данной работы – разработка программного продукта для автоматизации обработки результатов рентгенодифракционного анализа наноматериалов, состоящее в создании программного продукта для определения среднего размера кристаллитов материала с использованием формулы Дебая-Шеррера. Данная разработка будет востребована как в научных, так и в производственных учреждениях ввиду расширения сфер использования наноматериалов в повседневной жизни. Автоматизация процесса исследования позволяет уменьшить требуемые трудозатраты и существенно сократить временные затраты.

Различные отрасли промышленности и сферы человеческой деятельности являются потребителями наноматериалов и нанотехнологий. Они находят широкое применение в машиностроении, химической промышленности, электротехнике, энергетике, электронике, информационных и компьютерных технологиях, биологии и медицине, в областях, связанных с охраной окружающей среды и др. На основе наноматериалов создаются новые конструкционные и инструментальные материалы с повышенными механическими свойствами. Часто основанием применения наноматериала становится какое-либо одно свойство. Так, керамические материалы, содержащие нанокристаллические частицы металла используют для поглощения электромагнитного излучения в радиодиапазоне длин волн. Суспензии частиц железа с размерами от 30 нм до 1–2 мкм в смазочном масле восстанавливают изношенные детали (не прерывая работы) двигателя. В настоящее время они широко используются в микроэлектронике, способствуя дальнейшей миниатюризации электронных приборов, в защитных системах поглощения ВЧ- и рентгеновского излучений, в качестве катализаторов (чему способствует огромная, порядка  $5 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$  удельная поверхность нано порошков). В атомной энергетике таблетки тепловыделяющих элементов изготавливаются из ультрадисперсного порошка  $\text{UO}_2$ , в термоядерной технике из ультрадисперсного порошка бериллия изготавливают мишени для лазерно-термоядерного синтеза. Наноматериалы используют в качестве сверхпрочных конструкционных материалов и износостойких покрытий. В последнее время, наряду с применением наноматериалов в традиционных областях промышленности, возрос интерес к их использованию в сельском хозяйстве (растениеводство, животноводство, зоотехника), рыболовстве, медицине, пищевой промышленности, где используются биостимулирующие свойства биологически активных и чистых микроэлементов из нанопорошков. Одним из главных анализируемых параметров при исследовании твердотельных наноматериалов является размер кристаллитов, позволяющий отнести создаваемый материал к наноструктурированному.

К числу методов, широко используемых в практике исследования структуры наноматериалов относятся методы рентгеновского дифракционного и спектрального анализа. Метод Дебая-Шеррера – это метод исследования структуры мелкокристаллических (поликристаллических) материалов с помощью дифракции рентгеновских лучей; один из методов рентгеновского структурного анализа. Разработан П. Дебаем и нем. физиком П. Шеррером в 1916 [1]. Для определения среднего размера кристаллитов в этом методе используется формула Дебая-Шеррера [2], в которой фигурируют безразмерный коэффициент формы частиц (постоянная Шеррера); длина волны рентгеновского излучения; ширина рефлекса на полувысоте в единицах  $2\theta$  и угол дифракции (брегговский угол).

Разрабатываемый программный продукт представляет из себя оконное приложение, предназначенное для автоматизации процесса обработки результатов с использованием формулы Дебая-Шеррера. В основе приложения лежит Qt – кроссплатформенный фреймворк с кодом для создания графических пользовательских интерфейсов, а также кросс-платформенных приложений, работающих на различных программных и аппаратных платформах, таких как Linux, Windows, MacOS, Android или встраиваемых системах. Преимуществами Qt являются кроссплатформенность, быстроедействие, а также, в нашем случае, возможность работы с языком программирования C++ – компилируемым, статически типизированным языком программирования общего назначения. Одними из основных его преимуществ являются производительность и быстроедействие, которые достаточно важны для приложений такого рода.

Разрабатываемое приложение сильно упрощает процесс обработки результатов рентгенодифракционного анализа и позволяет сократить затрачиваемое на это время.

### Список использованных источников:

- 1 Большая российская энциклопедия – электронная версия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://bigenc.ru/physics/text/1943385>. – Дата доступа: 05.04.2020.
2. Специальные методы рентгенографии и электронно-микроскопического исследования материалов / В. Д. Андреева [и др.]. – СПб.: Изд-во политехнического ун-та, 2008. – 98 с.

# СХЕМОТЕХНИКА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКЦИОННЫМ ЕМКОСТНЫМ СЕНСОРНЫМ ЭКРАНОМ

Радевич А.Ю.

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

Степанов А.А. – канд. техн. наук, доцент

В данной работе предлагается высокоэффективный контроллер для емкостных сенсорных экранов (touch screen panel, TSP). Описана схема считывания емкостного сенсорного экрана с использованием пассивного сигма-дельта-модулятора емкостного преобразователя в цифровой формат. При предлагаемом подходе состояние панели можно эффективно преобразовать в двоичный сигнал, используя емкость панели в качестве суммирующего элемента пассивного сигма-дельта модулятора первого порядка.

Технологии проекционных емкостных сенсорных экранов (Projected Capacitive Technology, PCT) обнаруживают касание путем измерения емкости на каждом адресуемом электроде. Когда палец приближается к электроду, он нарушает электромагнитное поле и изменяет емкость. Это изменение емкости может быть измерено схемами считывания, а затем преобразовано в координаты X, Y, которые система может использовать для обнаружения касания. Значение емкости в каждом узле может варьироваться от 10 пФ до 50 пФ [1].

Схема считывания сенсорного экрана определяет место прикосновения путем сканирования значения емкости в каждой точке панели. Как правило, значение емкости в данной точке панели преобразуется в уровень напряжения или ширину импульса. Место касания может быть определено путем изменения емкости во всех узлах сенсорного экрана.

На рисунке 1 показана предлагаемая схема считывания сенсорного экрана, которая может определять состояние панели путем преобразования емкости панели в количество импульсов. Схема считывания включает пассивный сигма-дельта модулятор первого порядка и селектор узла измерения ( $S_{X1} - S_{Xn}$  и  $S_{Y1} - S_{Yn}$ ).  $V_{in}$  представляет напряжение постоянного тока, подаваемое на сигма-дельта модулятор, подключенное, как правило, к напряжению питания. Пассивный сигма-дельта модулятор состоит из конденсатора выборки  $C_s$ , который может быть настроен на различные значения емкости, нескольких переключателей и компаратора, где каждая емкость  $C_p$  панели используется в качестве суммирующего конденсатора. Регулируемый  $C_s$  предназначен для адаптации предлагаемой схемы считывания к различным типам емкостных сенсорных панелей.

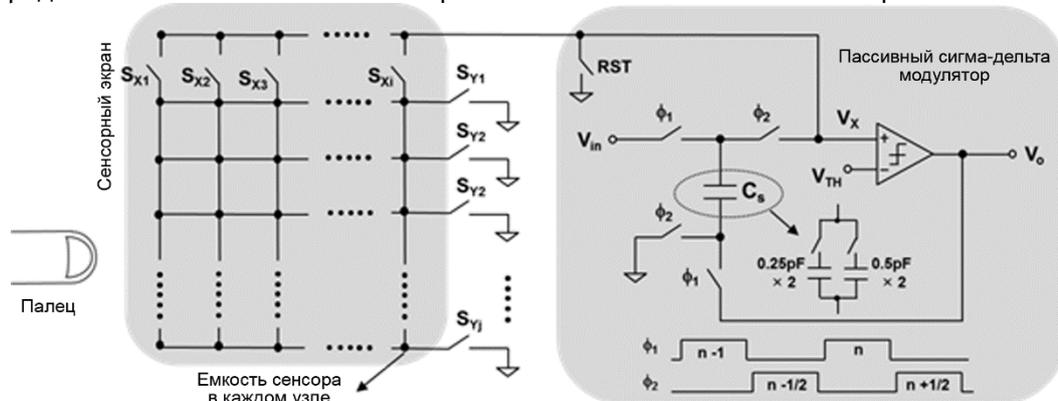


Рисунок 1 – Предложенная схема считывания емкостного сенсорного экрана

Временная диаграмма работы схемы считывания представлена на рисунке 2. Емкость каждого электрода проекционного емкостного сенсорного экрана подключается к схеме считывания по очереди с помощью переключателей  $S_{X1} - S_{Xi}$  и  $S_{Y1} - S_{Yj}$ . Как только узел панели подключен к узлу  $V_x$ , сигнал RST (сброс) разрядит емкость пересечения. После сброса пассивный сигма-дельта модулятор будет повторять выборку заряда и операцию суммирования заряда, которые будут генерировать различные комбинации выходных импульсов в зависимости от значения емкости узла сенсорного экрана. В этом случае состояние панели (в состоянии касания или без касания) может быть обнаружено путем простого подсчета количества выходных импульсов в течение периода сканирования.

Работа пассивного сигма-дельта модулятора делится на две фазы. В фазе измерения заряда ( $\Phi_1$ ) входное напряжение  $V_{in}$  заряжает конденсатор  $C_s$ . Во время фазы суммирования заряда ( $\Phi_2$ )  $C_s$  и  $C_p$  соединяются вместе, где происходит разделение заряда между  $C_s$  и  $C_p$ . В результате, напряжение узла  $V_x$  устанавливается в определенный уровень в зависимости от емкости  $C_s$  и  $C_p$ , которое будет сравниваться с пороговым уровнем  $V_{TH}$  компаратора, чтобы сгенерировать выходной уровень сигма-дельта модулятора, соответствующий высокому или низкому логическому уровню.

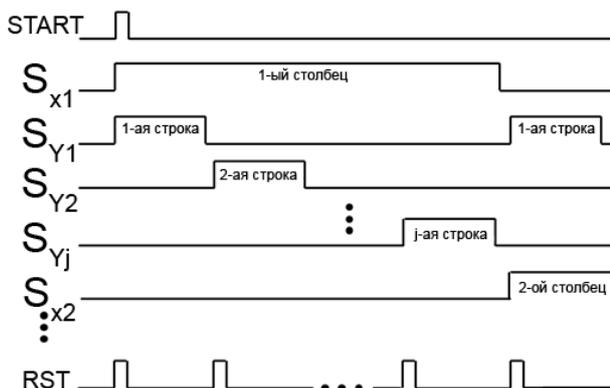


Рисунок 2 – Схема работы считывающего устройства

Основная концепция предлагаемого преобразователя емкости TCP в цифровой сигнал (Capacitance-to-Digital Converter, CDC) состоит в том, чтобы генерировать последовательность выходных импульсов, количество которых, в пределах определенного временного интервала (периода обнаружения) определяется значением  $C_p$ , поскольку  $C_s$  будет постоянным. В результате значение  $C_p$  можно оценить по количеству импульсов в течение периода обнаружения [2].

Рисунок 3 описывает работу предложенного CDC,  $M$  – общее количество рабочих циклов за один период обнаружения. В каждом цикле  $n$  есть две фазы: выборка заряда ( $\Phi 1$ ) и суммирование заряда ( $\Phi 2$ ). В первом цикле ( $n = 1$ ) работа CDC начинается с разряда  $C_p$  (активируемого сигналом RST), который установит  $V_x(1) = 0$  В и выход сигма-дельта модулятора  $V_o = \text{Low}$ . Предполагая, что на  $V_{in}$  присутствует постоянное напряжение, начиная со второго цикла ( $n = 2$ ), уровень  $V_x$  будет постепенно увеличиваться из-за операции выборки заряда и суммирования сигма-дельта-модулятора, пока не достигнет порогового уровня компаратора  $V_{TH}$ .

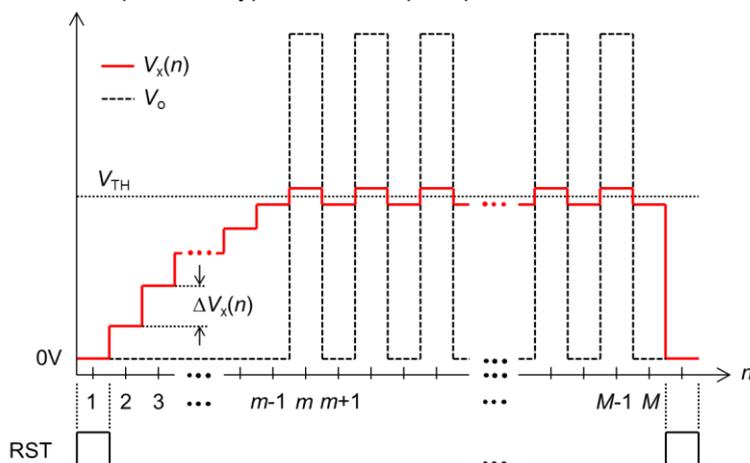


Рисунок 3 – Схема работы преобразователя

Как только  $V_x(n)$  превысит  $V_{TH}$  (для  $n \geq m$ ), выходной сигнал сигма-дельта-модулятора будет соответствовать высокому уровню. В следующем цикле  $n = (m + 1)$  уровень  $V_x(n)$  будет меньше, чем  $V_{TH}$ , а для следующего цикла  $n = (m + 2)$  уровень  $V_x(n)$  снова будет больше, чем  $V_{TH}$ , что обусловлено отрицательной обратной связью сигма-дельта модулятора. В результате сигма-дельта модулятор сгенерирует последовательность выходных импульсов для оставшихся  $(M - m)$  циклов.

Эффективно используя емкость сенсорной панели в качестве суммирующегося элемента пассивного сигма-дельта-модулятора, можно реализовать компактный и маломощный считывающий блок сенсорного экрана на кремниевом кристалле. Предлагаемый CDC не требует активных усилителей или АЦП, поскольку изменение емкости панели можно напрямую преобразовать в цифровой формат путем подсчета количества выходных импульсов в течение периода обнаружения. Предложенная схема CDC может быть реализована по технологии CMOS 0,35 мкм на площади кристалла 0,1 мм<sup>2</sup>. В целом, предлагаемая схема может быть хорошим решением для портативных контроллеров мобильных сенсорных панелей благодаря компактной архитектуре и низкому энергопотреблению.

**Список использованных источников:**

1. An Analysis of Electrode Patterns in Capacitive Touch Screen Panels / J. Lee [et al.] // *Journals of Display Technology*. – 2014. – Vol. 10. – №5. – P. 362–366.
2. A highly area-efficient controller for capacitive touch screen panel systems / T.-H. Hwang [et al.] // *IEEE Trans. Consumer Electron.* – 2010. – vol. 56. – №2. – P. 1115–1122.

## МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК $Al_2O_3$ , ПОЛУЧАЕМЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Парафинюк Д.А.<sup>1</sup>, Лашковская Е.И.<sup>1,2</sup>

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

г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет

г. Минск, Республика Беларусь

Галоненко Н.В. – д-р физ.-мат. наук, профессор

Представлен анализ морфологических и оптических свойств тонких пленок оксида алюминия, получаемых с помощью золь-гель технологии. Анализ показателя преломления показал нормальную дисперсию света в данных пленках, также его численное значение соответствует прозрачности пленок. Морфологический анализ показал однородность и аморфность тонких пленок. Численный расчет толщины структуры согласуется с результатом морфологического анализа.

Пленки оксида алюминия широко применяются в области микро-и наноэлектроники в качестве просветляющих и защитных покрытий. Преимуществом оксида алюминия является высокая диэлектрическая проницаемость, высокая прозрачность в оптическом спектре, и при этом стойкость к большим плотностям излучения, что необходимо при изготовлении оптических зеркал полупроводниковых лазеров [1]. Также оксид алюминия обладает защитными свойствами такими как коррозионная стойкость, износостойкость и устойчивость к высоким температурам, химическая и радиационная устойчивость, а также ширина запрещенной зоны и диэлектрическая проницаемость выше чем у  $SiO_2$ . Перечисленные свойства данного материала вызывают большой интерес к формированию наноразмерных пленок оксида алюминия. Существуют достаточно эффективные методы формирования пленок оксида алюминия, такие как химическое осаждение из газовой фазы (CVD) [2], физическое осаждение из паровой фазы (PVD) [3], послойное атомное осаждение [4, 5], импульсное лазерное осаждение [6]. Но также наряду с данными методами существует и золь-гель технология, особым преимуществом которой является простота и дешевизна изготовления материалов [7], а также по сравнению с другими, более дорогими технологиями синтеза, золь-гель процесс не требует применения высокого вакуума.

Для формирования пленок оксида алюминия золь-гель методом был приготовлен золь оксида алюминия  $Al_2O_3$ , с концентрацией 21,27 мг/мл на основе изопророксида алюминия по методике [8]. Полученный золь каплей наносился на предметное стекло, предварительно очищенное с помощью хромовой смеси и промытое дистиллированной водой, тщательно высушенное. Методом центрифугирования при 1600 оборотов/мин в течение 30 с формировалась пленка, далее просушивалась при 150 °С в течение 10 мин и подвергалась отжигу в трубчатой печи при температуре 450 °С в течение 30 минут.

Исследование эллипсометрическим методом показателя преломления тонких пленок оксида алюминия показало нормальную дисперсию света в данных пленках, при которой показатель преломления уменьшается при увеличении длины волны падающего излучения, и установлен коэффициент преломления равный 1.533, как показано на рисунке 1.

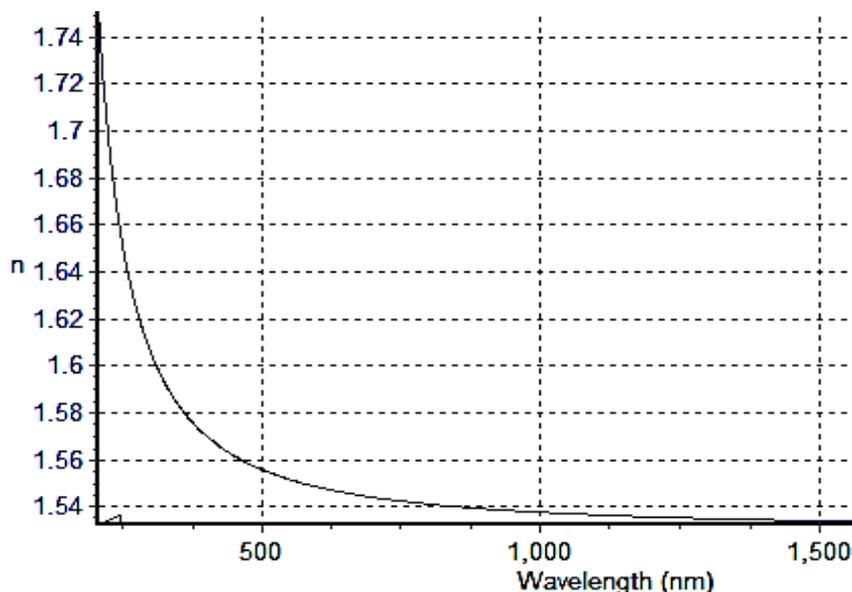


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента преломления тонких пленок оксида алюминия от длины волны падающего излучения

Морфологический анализ сформированной структуры проводился с помощью растрового электронного микроскопа Hitachi S-4800, результат которой показан на рисунке 2 и 3. На рисунке 2 представлено изображение растрового электронного микроскопа (РЭМ) торцовой области сформированной структуры, толщина которой составляет 51,6 нм, а на рисунке 3 представлено РЭМ изображение поверхности сформированной структуры. Морфологический анализ показал однородность поверхности и слоя сформированной структуры, а также отсутствие зерен, что характерно для аморфных пленок.

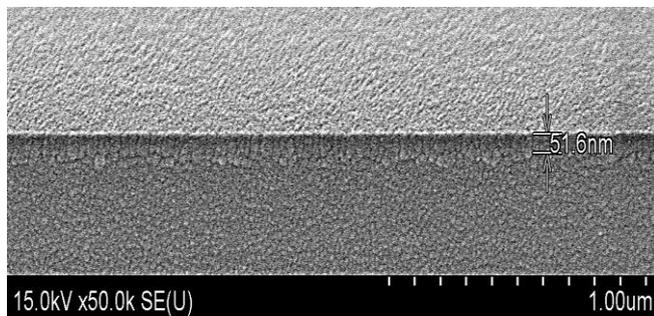


Рисунок 2 – РЭМ изображение сформированных тонких пленок оксида алюминия на предметном стекле (вид с торца)

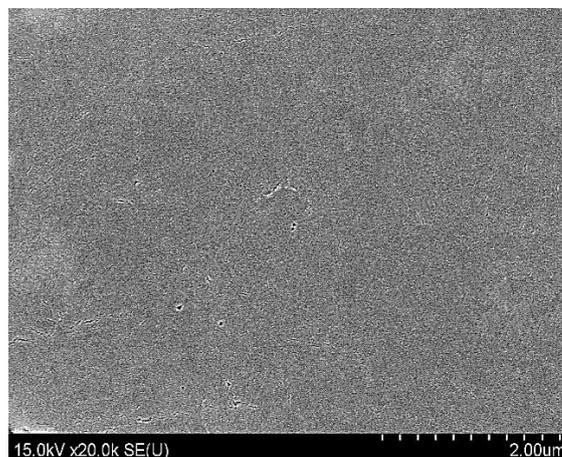


Рисунок 3 – РЭМ изображение поверхности сформированных тонких оксида алюминия на предметном стекле (вид сверху)

Из условия интерференционных максимумов интенсивности можно оценить толщину нанесенных пленок оксида алюминия  $d$ :

$$2dn = m\lambda, \quad (1)$$

где  $m=1$  – порядок интерференции,  $n$  – показатель преломления сформированных пленок,  $\lambda$  – длина волны.

Из условия (1) была рассчитана толщина сформированной структуры, которая составляет 53,41 нм, при этом РЭМ изображение показало толщину сформированной структуры 51,6 нм. Относительная разница между численным расчетом и результатом измерения составляет 3,39%.

Таким образом, золь-гель технология позволяет формировать однородные, прозрачные, тонкие пленки оксида алюминия для применения их в микро-, нано- и оптоэлектронике

Авторы выражают благодарность Д.В. Жигулину и Кречотень Н.А. (филиал «Научно-технический центр «Белмикросистемы» ОАО «ИНТЕГРАЛ», управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ») за анализ образцов методами электронной микроскопии и эллипсометрии.

**Список использованных источников:**

1. Структура и оптические свойства тонких пленок  $Al_2O_3$ , полученных методом реактивного ионно-плазменного распыления на подложках GaAs (100) / П.В. Середин [и др.] // Физика и техника полупроводников, 2014, 48 (11). – С. 1564-1569.
2. Осаждение из газовой фазы оксидных и металлооксидных покрытий на топливные частицы / А.П. Патокин [и др.] // вопросы атомной науки и техники, 2008. № 2. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (92), – С. 159-163.
3. Определение толщины пленки  $Al_2O_3$  на холодных катодах оптическим методом / А.П. Королев, Д.В. Мордасов // Вестник ТГТУ, 2012, 18 (3). – С. 683-687.
4. Nobuyuki Kawakami, Yoshihiro Yokota, Takeshi Tachibana, Kazushi Hayashi, Koji Kobashi Atomic layer deposition of  $Al_2O_3$  thin films on diamond // Diamond & Related Materials. – 2005. – № 14. – P. 2015-2018.
5. Yadong Zhang, Jacob A. Bertrand, Ronggui Yang, Steven M. George, Y.C. Lee. Electroplating to visualize defects in  $Al_2O_3$  thin films grown using atomic layer deposition // Thin Solid Films. – 2009. – № 517. – P. 3269-3272.
6. Gottmann J., Kreutz E.W. Pulse laser deposition of alumina and zirconia thin films on polymers and glass as optical and protective coating // Surface and Coating Technology. – 1999. – № 116-119. – P. 1189-1194.
7. Chengbin Jing, Xiujian Zhao, Yongheng Zhang Sol-gel fabrication of compact, crack-free alumina film // Materials Research Bulletin. – 2007. – № 42. – P. 600-608.
8. Sol-Gel Derived Structures for Optical Design and Photocatalytic Application / Gaponenko N.V., Kortov V.S., N.P. Smirnova, Orekhovskaya T.I., Nikolaenko I.A., Pustovarov V.A., Zvonarev S.V., Slesarev A.I., Linnik O.P., Zhukovskii M. A., Borisenko V.E. // Microelectronic Engineering. – 2012. – V.90. – P.131-137.

## МЕТОД РАСЧЕТА ПРОФИЛЯ ЗОНЫ ЭРОЗИИ МИШЕНИ МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

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

Шекелевский В.В., Бездников М.С.

Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент

В работе представлена методика определения профиля зоны эрозии мишени исходя из расчетов распределения скоростей электронов в магнитной ловушке методом конечных элементов.

Современная промышленность в производстве изделий микро-, нано- и оптоэлектроники при нанесении тонкопленочных покрытий чаще всего использует магнетронное распыление. Несмотря на распространенность метода, в настоящее время является актуальной разработка методик определения равномерности формируемого покрытия исходя из количественной оценки эффектов и процессов магнетронного распыления и конденсации на подложке.

Магнетронное распылительное устройство состоит из электрической, магнитной, охлаждающей, газораспределительной систем. Система электродов нужна для создания разности потенциалов, магнитная – для создания магнитной ловушки, охлаждающая – для предотвращения перегрева магнитной системы и других элементов конструкции, газораспределительная – для подачи рабочего вещества в разрядной зоне.

Локализация плазмы у поверхности мишени с помощью магнитной ловушки зависит от конфигурации магнитного поля системы магнитов [1]. Для определения профиля зоны эрозии мишени необходимо знать профиль распределения плотности ионного тока, который зависит от конфигурации магнитного и электрического полей и давления в камере. Профиль зоны эрозии можно рассчитать по формуле

$$h(r_i) = t \cdot \mathcal{D}_i(r_i) = t \cdot \frac{\langle Y_i \rangle j_i(r_i) A_i}{e N_A \rho_i} \quad (1)$$

где  $\langle Y_i(r) \rangle$  – средняя по энергетическому спектру безразмерная величина коэффициента распыления материала мишени (эффективный коэффициент распыления) на радиусе  $r$ ,  $j_i(r)$  – плотность ионного тока над мишенью на радиусе  $r$ , А/см<sup>2</sup>,  $A_i$  – атомная масса распыляемого материала, г/моль,  $\rho_i$  – плотность материала, г/см<sup>3</sup> [2].

Ключевым этапом при расчете профиля зоны эрозии мишени является нахождение профиля распределения плотности ионного тока, который можно найти по следующей формуле

$$j_i(r) = \int_{z_{\min}}^{z_{\max}} n_e(r, z) v_i(r, z) dz \quad (2)$$

где  $n_e$  – концентрация ионизирующих электронов, м<sup>-3</sup>;  $z_{\min}$  и  $z_{\max}$  – минимальная и максимальная граница плазмообразования по высоте, м;  $v_i$  – частота ионизации, которая определяется функцией распределения электронов по энергиям:

$$v_i = n_a \sigma_i \langle v_e \rangle \quad (3)$$

где  $n_a$  – концентрация атомов или молекул рабочего газа, м<sup>-3</sup>;  $\sigma_i$  – сечение ионизации при столкновении электронов с атомами, м<sup>2</sup>;  $\langle v_e \rangle$  – средняя скорость электронов, м/с [2].

Для определения распределения электронов по скоростям в магнитной ловушке необходимо знать конфигурацию линий индукции и величину магнитного поля. Для расчета магнитной системы нами использовался программный комплекс Comsol Multiphysics студенческой версии. На рис. 1 показана конфигурация линий индукции магнитной ловушки над поверхностью мишени, полученная нами в результате расчетов.

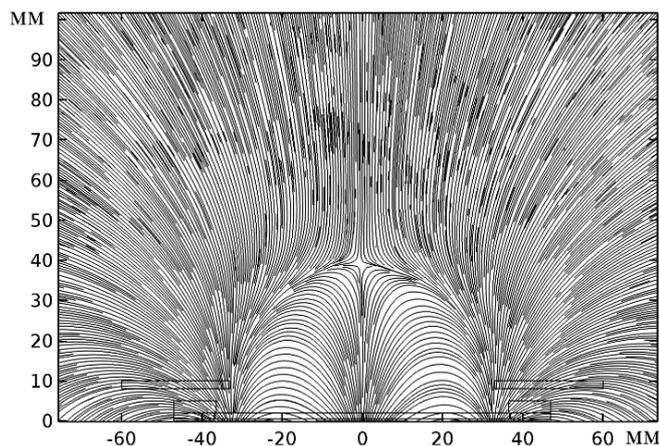


Рисунок 1 – Визуализация результатов расчета магнитного поля в программе Comsol Multiphysics

Исходя из расчета магнитного поля в программе Comsol Multiphysics, можно определить распределение электронов по энергиям используя формулу

$$E(\vartheta) = \left( \frac{\vec{E}_y \times \vec{B}_x}{B^2} \right)^2 \cdot \frac{m_e}{2e}, \quad (4)$$

где  $\vec{E}_y$  и  $\vec{B}_x$  – вертикальная и горизонтальная компоненты векторов напряженности электрического и индукции магнитного полей.

На рисунке 2 представлен расчет распределения электронов по энергиям в программе Comsol Multiphysics.

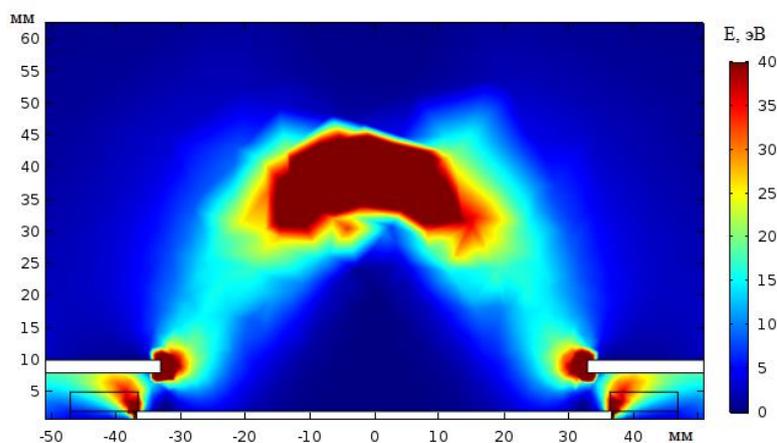


Рисунок 2 – Распределение энергий электронов в магнитной ловушке

Далее подставляя распределение электронов по энергиям в выражение для сечения ионизации и распределение электронов по скоростям в уравнение (3) и полученное в уравнение (2), можно рассчитать профиль плотности ионного тока. Подстановкой полученного в уравнение (1) находится скорость распыления мишени и профиль зоны эрозии мишени.

Таким образом приведен метод расчета профиля зоны эрозии мишени и в дальнейшем, используя законы распределения распыляемых атомов, можно оценить неравномерность осажденного покрытия на подложке.

**Список использованных источников:**

1. Данилин, Б.С. Магнетронные распылительные системы / Б.С. Данилин, В.К. Сырчин – М.: Радио и связь, 1982. - 72с.
2. Голосов, Д.А., Мельников, С.Н., Кундас С.П., Достанко А.П. // Проблемы физики, математики и техники. – Т. 2. – 3. – 2010. – С. 62-67.

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗАРЯДОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ

Галкин Я.Д., Кунц А.В.

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

Стемпицкий В.Р. – канд. техн. наук, доцент

Рассмотрено влияние температур на работу зарядочувствительного усилителя (ЗЧУ), предназначенного для использования в многоканальных микросхемах считывающей электроники, и приведены результаты моделирования.

Специализированные многоканальные микросхемы первичной обработки информации, в которых первым каскадом используется ЗЧУ, должны работать в очень широком диапазоне температур. Ввиду этого было исследовано влияние температуры на работу ЗЧУ [1], а также для сравнения приведены результаты моделирования ЗЧУ [2], уже применяемого в рабочих образцах подобных микросхем.

На рисунках 1 а и 1 б представлены схемы электрические принципиальные для сравнения рабочей и модернизированной версий.

На рисунке 2 представлен результат моделирования рабочего (старого) ЗЧУ. Моделирование проводилось в диапазоне температур от  $-40$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ . На вход подавался короткий токовый сигнал с зарядом  $-0,4$  пКл. При повышении температуры наблюдается сглаживание пика сигнала, что может плохо отразиться на последующем преобразовании сигнала. Поэтому микросхемы требуют охлаждения для поддержания постоянной температуры работы.

На рисунке 3 представлены результаты моделирования нового ЗЧУ. Как можно видеть из результатов моделирования, удаление из схемы JFET – транзистора не оказало особого влияния на рабочие характеристики ЗЧУ.

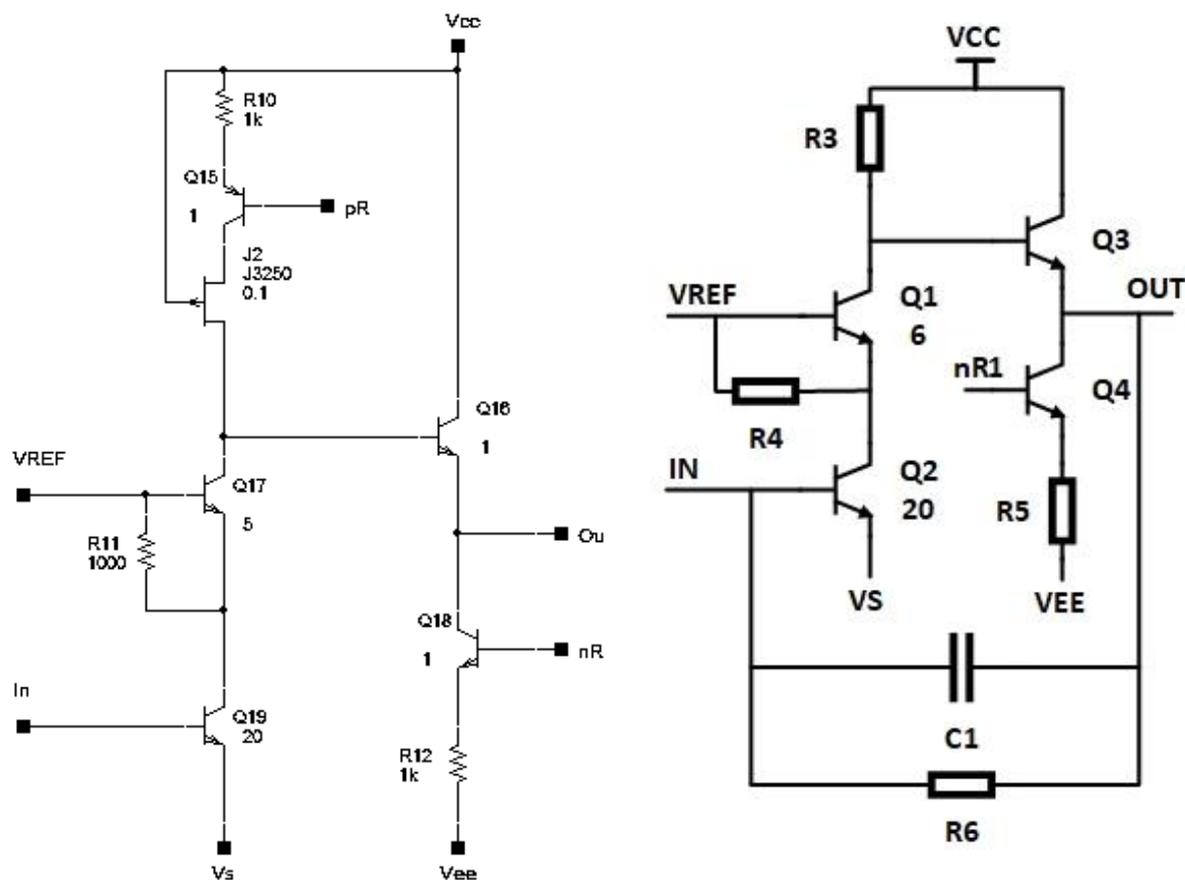


Рисунок 1 – Схема принципиальная электрическая: а) старый ЗЧУ; б) модифицированный ЗЧУ

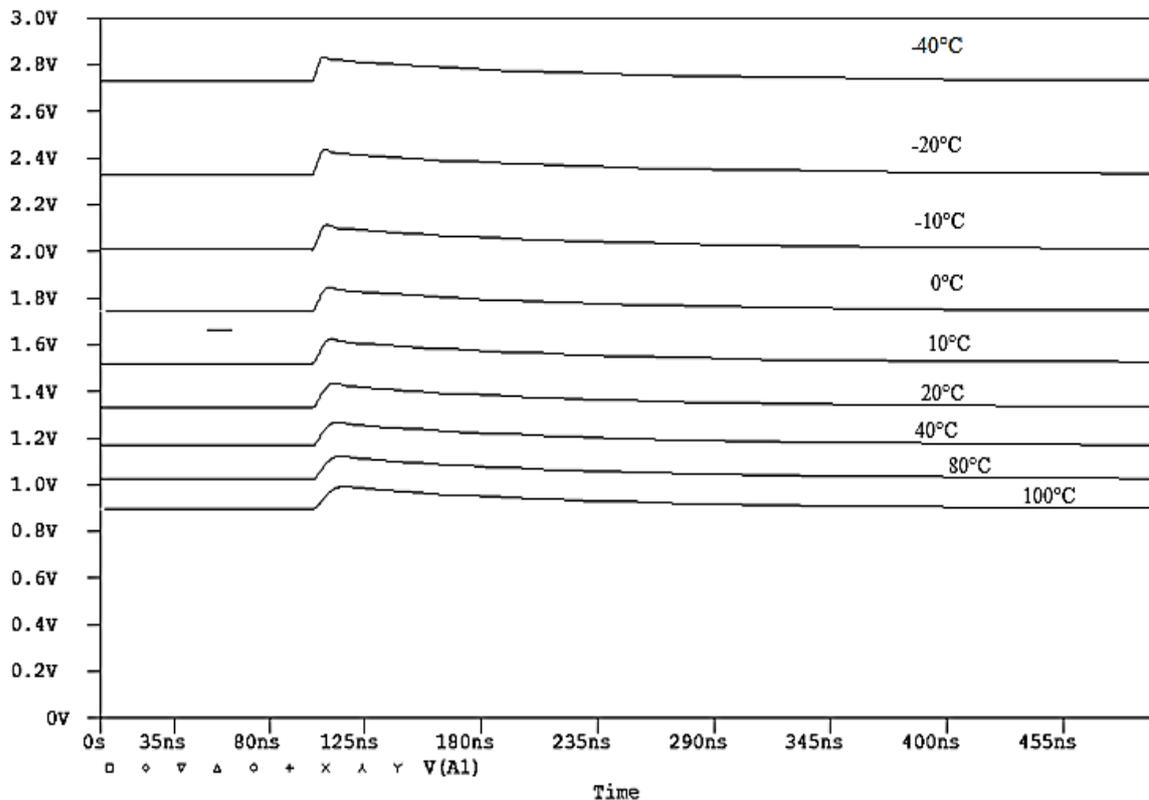


Рисунок 2 – Выходное напряжение рабочего ЗЧУ при различных температурах

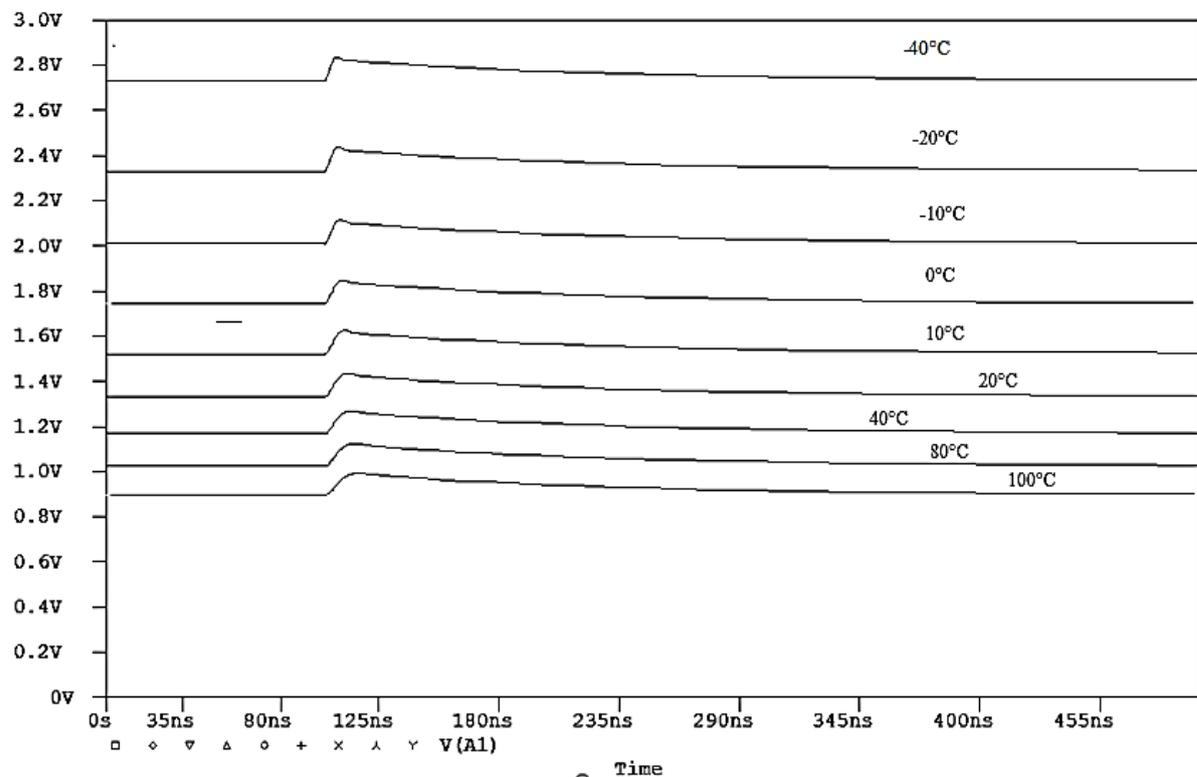


Рисунок 3 – Выходное напряжение рабочего ЗЧУ при различных температурах

**Список использованных источников:**

1. Дворников О.В., Чеховский В.А. Галкин Я.Д. Куц А.В. Схемотехническое моделирование зарядочувствительного усилителя / Сборник 55-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, БГУИР, Минск, 2019 – с. 178.
2. О.В. Дворников, В.А. Чеховский, В.Л. Дятлов, С.А. Мовчан, Н.Н. Прокопенко. Базовый структурный кристалл МН2ХА020 для создания быстродействующих многоканальных микросхем ядерной электроники.

# ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗА МАКРОПОРИСТОГО КРЕМНИЯ НА СМАЧИВАНИЕ ЕГО ПОВЕРХНОСТИ РАСТВОРАМИ МЕЛАМИНА

Кастевич А.А.

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

Чубенко Е.Б. – канд. техн. наук, доцент

В данной работе исследованы зависимости изменения краевого угла смачивания поверхности макропористого кремния водным раствором, содержащего меламин, от состава раствора и режимов электрохимического анодирования при получении слоя макропористого кремния.

Графитоподобный нитрид углерода является одним из перспективных фотокаталитических материалов на сегодняшний день благодаря своей электронной структуре. Средняя по величине ширина запрещенной зоны, а также температурная и химическая стабильность делает графитоподобный нитрид углерода подходящим материалом для создания фотокатализаторов. Синтез структур нитрида углерода на подложке, обладающей большой удельной площадью поверхности, позволяет увеличить эффективность реакций фотокатализа.

Одним из методов синтеза графитоподобного нитрида углерода является термическая поликонденсация меламин при температуре 450–550 °С. Данный процесс является многостадийным. Сначала происходит образование гептазиновых колец в процессе термического разложения меламин (мелем), которые ведущие себя как мономеры с тремя функциональными группами, конденсирующиеся на финальном этапе в конечный продукт – графитоподобный нитрид углерода.

В рамках данной работы было проведено исследование смачиваемости поверхности макропористого кремния водным раствором меламин. Хорошая смачиваемость позволит заполнить поры в пористой матрице прекурсором для синтеза графитоподобного нитрида углерода, что необходимо для создания конформных покрытий из этого материала для создания покрытий с большой удельной площадью поверхности и высокой эффективностью фотокатализа.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что краевой угол смачивания поверхности макропористого кремния раствором, содержащим меламин, полученного путем электрохимического травления монокристаллического кремния КДБ-12/24 (100) при плотности тока 8 мА/см<sup>2</sup> в водном растворе HF(45 об.%):DMCO=10:46 составил 105°, что свидетельствует о невысокой степени смачивания. Это явилось основанием для проведения серии экспериментов для поиска зависимостей, влияющих на смачивание поверхности макропористого кремния водным раствором, содержащим меламин.

Была проведена серия экспериментов по установлению степени смачивания поверхности макропористого кремния меламин-содержащим раствором. Было приготовлено несколько образцов пористого кремния с различными значениями параметров процесса синтеза, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры формирования слоев монокристаллического кремния

№ образца	1	2	3	4	5
Состав среды анодирования	Водный раствор HF(45 об.%):DMCO=10:46			Водный раствор HF(45 об.%):DMCO = = 10:92	Водный раствор HF(45 об.%):DMCO = = 10:23
Время анодирования, мин	42	20	5	20	
Плотность тока, мА/см <sup>2</sup>	4	8	32	8	

Также были приготовлены три водных раствора, содержащих меламин, с различной концентрацией меламин. В раствор также было добавлено поверхностно активное вещество лаурилсульфат натрия. Составы растворов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Состав водных растворов меламин

Номер раствора	1	2	3
Концентрация меламин, мг/мл	0,75	1,5	3
Концентрация лаурилсульфата натрия, мг/мл	0,1		

Было установлено, что, относительно образца, полученного при анодной плотности тока 8 мА/см<sup>2</sup> уменьшение плотности тока анодирования до 4 мА/см<sup>2</sup> вызывает уменьшение пористости

кремния с 62 до 38 %, максимальный диаметр пор при этом возрос с 2,02 мкм до 2,67 мкм. При увеличении плотности до 32 мА/см<sup>2</sup> происходит электрополировка монокристаллического кремния. Относительно образца, изготовленного с применением раствора HF(45 об.%):DMCO=10:46, изменение пропорции до 10:92 вызывает уменьшение степени пористости кремния с 62 до 40 %, что связано с уменьшением концентрации плавиковой кислоты в растворе, максимальный диаметр пор уменьшился с 2,02 мкм до 1,43 мкм. Анодирование в электролите в водном растворе HF(45 об.%):DMCO=10:23 не приводит к созданию макропор на поверхности кремния.

Был произведен анализ краевых углов смачивания поверхностей образцов 1 – 5 растворами. Результаты представлены на рисунках 1 и 2.



Рисунок 1 – Зависимость среднего по растворам краевого угла смачивания от образца макropористого кремния

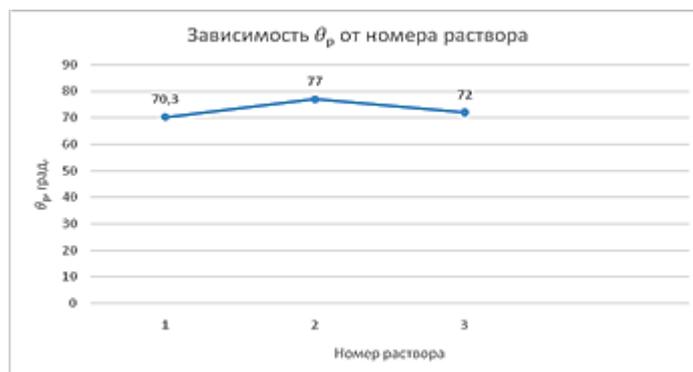


Рисунок 2 – Зависимость среднего по образцам макropористого кремния краевого угла смачивания от смачивающего раствора

Как видно из рисунка 1, наилучшая смачиваемость наблюдается у образца 3, который соответствует электрополированному монокристаллическому кремнию. Среди образцов макropористого кремния 1, 2, 4 наименьший краевой угол смачивания наблюдается у образца 2 и составляет 66 градусов, наибольший – у образца 1, 80,3°. Средние краевые углы смачивания для растворов варьировались от 70,3° до 77°, наилучшую смачиваемость обеспечивает раствор 1 с наименьшей концентрацией меламина, однако разница незначительная.

Таким образом, в ходе работы установлено, что варьирование режимов электрохимического анодирования монокристаллического кремния КДБ-12/24 (100) не приводит к значительному изменению диаметра и структуры пор в данном электролите, и незначительно влияет на смачивание поверхности водным раствором меламина. Изменение концентрации меламина в данном растворе влияет на краевые углы смачивания крайне незначительно. Однако наилучшие результаты по углу смачивания получены на образцах макropористого кремния, полученного в растворе HF(45 об.%):DMCO=10:46 при плотности тока 8 мА/см<sup>2</sup> в водных растворах меламина с добавлением лаурилсульфата натрия в качестве поверхностно активного вещества. Данные результаты могут быть использованы для создания композитных материалов пористый кремния/графитоподобный нитрид углерода.

Данная работа выполнена в рамках задания 1.56 ГПНИ Республики Беларусь «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии».

#### Список использованных источников:

1. Завацкий, С.А., Бондаренко А.В. Гравиметрические методы определения пористости анодно обработанного кремния: особенности реализации и оценка точности / С.А. Завацкий, А.В. Бондаренко // Доклады БГУИР. 2017. №8 (110)
2. Горячев, Д. Н. О механизме образования пористого кремния/ Д.Н. Горячев, Л.В. Беляков, О.М. Сресели// Физика и техника полупроводников, 2000, том 34, вып. 9 – С. 1130–1134.

## СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ В МАГНИТОПРОВОДЕ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ В РЕЖИМЕ ОСЛАБЛЕНИЯ ПОТОКА

Кастевич А.А.

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

Чубенко Е.Б. – канд. техн. наук, доцент

В данной работе предложен метод снижения потерь в магнитопроводе синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) путём создания барьеров для магнитного поля в структуре ротора

В настоящее время большой интерес прикован к транспортным средствам, приводимым в движение электрическими и гибридными силовыми установками. В рамках программы по снижению вредных выбросов в атмосферу, ряд стран готовится ввести ограничение на продажу и использование автомобилей с двигателями внутреннего сгорания к 2030 году. Таким образом, создание тяговых электродвигателей с высокими энергетическими и массогабаритными показателями является актуальной задачей в сфере машиностроения.

На данный момент наиболее популярным типом электродвигателя для легковых электромобилей является синхронный двигатель с постоянными магнитами. Основными преимуществами двигателей этого типа являются массогабаритные показатели, а также высокий КПД.

Основным недостатком СДПМ является снижение эффективности в режиме ослабления потока, что снижает диапазон регулирования оборотов. Для электромобилей, использующих одноступенчатые редукторы, возможность эффективной работы двигателя в режиме ослабления потока является критически важным параметром.

Было проведено моделирование синхронного двигателя с постоянными магнитами в программном комплексе Ansys Maxwell. Номинальная мощность исследуемого двигателя – 90 кВт, обороты в режиме ослабления потока – 8500 мин<sup>-1</sup>. В результате было установлено, что магнитная индукция в зубцах статора содержит значительное количество высших гармоник, потери в магнитопроводе статора составили 3542 Вт.

Для снижения потерь в магнитопроводе была предложена конструкция ротора с дополнительными барьерами для магнитного поля, представленная на рисунке 1. Применение барьеров позволило локально увеличить магнитосопротивление магнитной цепи двигателя, и, как следствие, ослабить амплитуду высших гармоник магнитной индукции в зубцах статора. В результате повторное моделирование показало, что потери в магнитопроводе статора снизились на 20% и составили 2828 Вт.

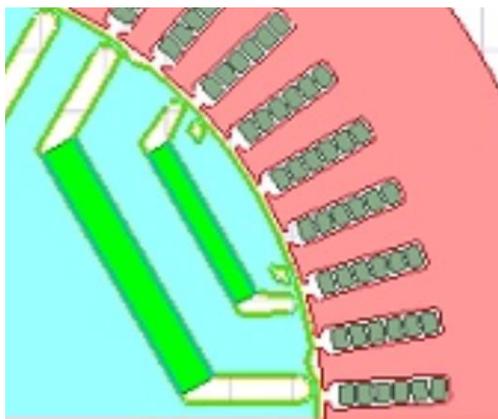


Рисунок 1 – Предложенная конструкция ротора СДПМ двигателя

Таким образом, в ходе работы установлено, что применение ротора с магнитными барьерами позволяет значительно снизить потери в магнитопроводе статора в режиме ослабления потока. Данные результаты могут быть использованы для дальнейшего улучшения характеристик тяговых синхронных двигателей с постоянными магнитами. В дальнейших работах целесообразно исследовать влияние формы и количества барьеров на характеристики тягового электропривода.

### Список использованных источников:

1. R. Krishnan Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives // CRC Press, Boca Raton, 2009

## АППАРАТНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ БЛОКИ ДАТЧИКОВ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН»

Аксинчиц П.В.

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

Хорошко Л.С. – канд. физ.-мат. наук

Целью данной работы является разработка лабораторных заданий с применением современного программного обеспечения для обеспечения понимания и формирования знаний о работе функциональных блоков датчиков физических величин.

Датчик – это преобразователь измеряемой физической величины в другую величину, которую можно удобно преобразовать либо измерить. На сегодняшний день датчики окружают человека повсюду, многие приборы содержат в себе датчики для преобразования и измерения различных физических величин, их используют во многих отраслях экономики: промышленности, транспорте, коммуникациях, строительстве и т. д. Они входят в состав таких нами известных приборов как выключатели, термометры, барометры, смартфоны, посудомоечные машины и др.

Электронные устройства, в которых осуществляется преобразование различных сигналов, содержат в себе комбинации функциональных узлов: усилители переменного и постоянного тока, преобразователи на базе операционных усилителей, вторичные источники питания (рисунок 1). Все перечисленное относится к основным функциональным узлам, которые применяются в схемотехнике современных аналоговых электронных устройств, используемых в измерительной технике. Для понимания работы устройства в целом важно иметь представление об особенностях функционирования отдельных его составляющих и взаимодействия между ними.



Рисунок 1 – Перечень основных функциональных узлов устройств измерительной техники

Целью данной работы является компоновка электрических схем функциональных узлов датчиков физических величин, исследование характеристик, зависимостей, анализ функциональных узлов для создания аппаратно-методического комплекса «Функциональные блоки датчиков физических величин».

Проектирование функциональных узлов будет осуществляться с помощью программного комплекса *Cadence Virtuoso Schematic*. В данной среде аналогового проектирования (САПР) будет производиться компоновка электрических схем различных функциональных узлов: усилителей, делителей и т. д и будут исследоваться их характеристики с помощью инструмента аналогового моделирования *Virtuoso Analog Design Environment*.

Данный программный комплекс является промышленно-стандартизированным инструментарием для анализа и моделирования заказных сверхбольших интегральных схем (СБИС), аналоговых и высокочастотных блоков СБИС.

Основными особенностями САПР *Virtuoso* является:

- дружественный графический интерфейс пользователя;
- интегрированный волновой дисплей (оригинальный вариант представления среды);
- развитые средства анализа;
- распределенная обработка и интерфейсы с популярными симуляторами сторонних производителей;

– и др.

САПР *Virtuoso* обладает следующими преимуществами:

- сокращает изучение кривых и их характеристик за счет удобной и интуитивной рабочей среды;

– обеспечивает максимум гибкости и независимую от симулятора среду;

– максимизирует эффективность режимов работы благодаря управляемым сценариям;

- дает возможность пользователю быстро обнаружить ошибки схемы с помощью окна визуализации;

– и др.

Алгоритм проектирования СБИС в САПР *Virtuoso* представлен на рисунке 2.

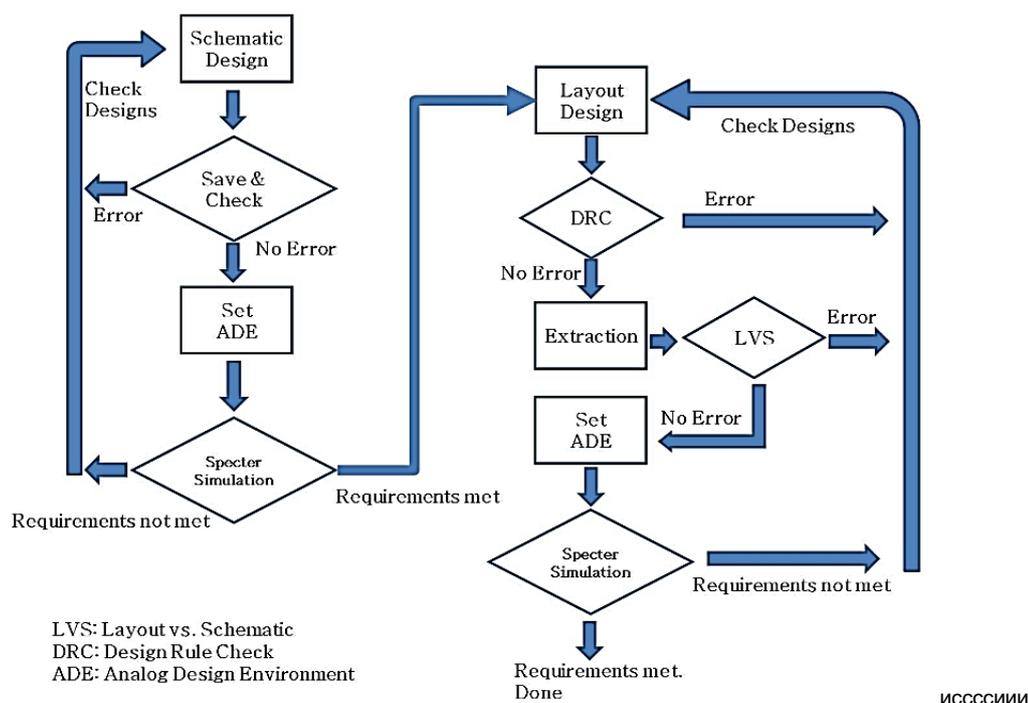


Рисунок 2 – Алгоритм проектирования СБИС в САПР *Virtuoso* [3]

В начале проектирования СБИС моделируют ее аналоговую электрическую схему, после чего она проверяется на наличие ошибок, далее запускается среда аналогового проектирования (ADE) и производятся требуемые анализы электрической схемы. Далее проводят моделирование топологии СБИС, после ее окончания производят проверку на правила проектирования (DRC), при отсутствии ошибок проводится экстракция и после нее топология СБИС сравнивается с ее аналоговой схемой (LVS).

Среды аналогового проектирования необходимы для повышения точности моделирования интегральных микросхем; сокращения трудоемкости и сроков проектирования, а также оптимизации схемотехнических решений. Исследование функциональных узлов датчиков физических величин с применением САПР важно для понимания специфики их работы а также для оптимизации схемотехнических, технологических и конструкторских решений создания новых улучшенных датчиков.

**Список использованных источников:**

1. Мир электроники : справочное пособие / В. М. Шарпов [и др.]. – М. : Техносфера, 2012. – 58 с.
2. Шерстобитова, А. С. Датчики физических величин / А. С. Шерстобитова. – СПб. : Университет ИТМО, 2017. – 625 с.
3. Cadence Virtuoso Tutorial : Handbook / University of Southern California. – Los Angeles, Ca, 2015.

## ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЕНОК ДИОКСИДА КРЕМНИЯ В ПЛАЗМЕ АТМОСФЕРНОГО РАЗРЯДА

Бруцкая А.О., Аксючиц А.В.

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

Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент

Рассматривалось получение пленок диоксида кремния с помощью плазмы атмосферного разряда с применением тетраэтоксисилана (ТЭОС) и их исследование. Так же были проведены эксперименты по осаждению пленок оксида кремния при разном соотношении потоков аргона. Было выявлено, что при различном времени обработки и расстоянии плазменной струи от образцов, получалась неравномерность напыления плёнок, что не удивительно с коаксиальным методом. Размер толщин плёнок в большей мере зависит от расстояния между электродами разрядной системы, расстояние от электрода до окончания трубки и расстояния до мишени. Наибольшее влияние на толщины формируемых покрытий оказывает расстояние до мишени.

Плазма широко используется для обработки материалов в течение более полувека. Ее применение обусловлено гибкостью и универсальностью, возможностью формирования источников химически активных частиц разных видов, которые вступают в реакцию с поверхностью или реагируют друг с другом, образуя второстепенные, короткоживущие химические соединения, необходимые для формирования тонкопленочных функциональных структур. Также успех технологии плазменной обработки объясняется возможностью синтеза сложных соединений при сравнительно низких температурах, как ни при одном другом методе, при этом, не разрушая ранее созданные структуры и слои. Плазма, как правило, используется для селективного размерного травления, обработки поверхности, для управления адгезионными параметрами поверхности, а также слоев диэлектриков, полупроводников и проводников с заданными составом, стехиометрией, структурой и свойствами[1-2].

Одним из перспективных способов получения плёнок является импульсно-плазменный метод в атмосферной плазме.

Для получения плёнок диоксида кремния с помощью плазмы атмосферного разряда использовался тетраэтоксисилан (ТЭОС), через емкость с которым прокачивался аргон.

В разрядном промежутке происходит разложение паров тетраэтоксисилана, которые транспортируются потоком аргона. Далее кислород вступает в реакцию с атомами кремния с образованием диоксида. Молекулы, их фрагменты и радикалы ТЭОСа и оксида кремния попадают на обрабатываемую поверхность. По мере их осаждения, они соединяются с другими частицами и могут увеличиваться в размерах.

Для проведения эксперимента (рисунок 1) образец располагался вертикально и пододвигался на плазменную струю в пределах расстояния 20мм. В связи с тем, что образцы пластин кремния в эксперименте были малы по сравнению с целой пластиной – пластину стоило закрепить с помощью крепёжного приспособления, либо с помощью липкой ленты с обратной стороны, для того что бы пластина не слетала с подложки при поднесении её к протоку плазмы осаждаемых паров газов ТЭОСа. Вся разрядная система находилась под вытяжным шкафом.



Рисунок 1 – Экспериментальный образец осаждения ТЭОСа

В ходе работы задавались параметры эксперимента, для проведения исследования образцов.

Таблица 1 – Параметры образцов

№ образца	Время обработки	Расстояние образца от плазменной струи, мм	Материал образца	Расход аргона, л/ч
1	2,5мин	15	Si	163
2	30сек	10	Si	163
3	30сек	20	Si	163
4	4мин	15	Si	163
5	4мин	20	Si	163

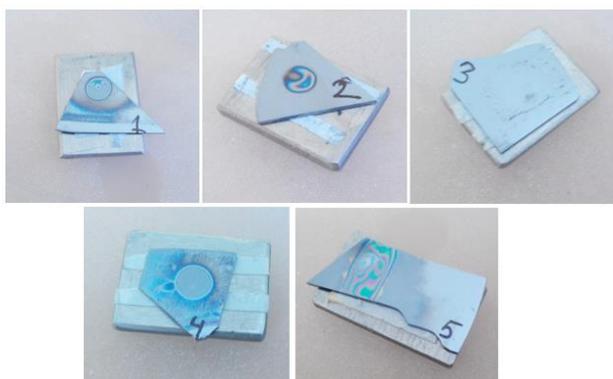


Рисунок 2 – Внешний вид полученных плёнок с различными параметрами

Внешний вид полученных плёнок говорит о том, что при различном времени обработки и расстоянии плазменной струи от образцов, получалась неравномерность напыления плёнок, что не удивительно с коаксиальным методом. Т.к. визуально нельзя определить, что за наноструктура находится на плёнках и какова толщина плёнок, воспользуемся методами микроскопии: микроинтерферометр, оптический, атомно-силовой и растровый электронный микроскопами.

Для исследования поверхности полученных пленок в первую очередь пользовались оптическим микроскопом.

Из рисунков 3 и 4 видно, что плёнка напылялась неравномерно. По интерференционным полосам можно сказать что происходил большой перепад по толщине плёнки. Самая большая толщина плёнки находилась в центре образца, а самая тонкая плёнка находилась на краях образца.

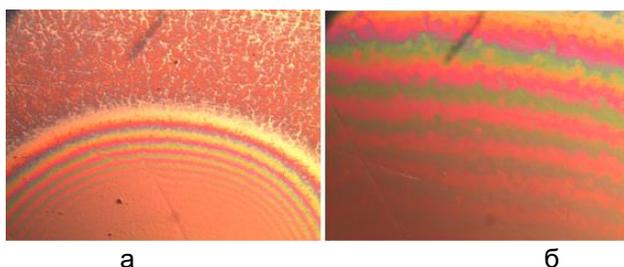


Рисунок 3 – Фотографии образцов полученных с помощью Оптического микроскопа Микро 200-01(а – увеличение 5 крат, б – увеличение 20 раз

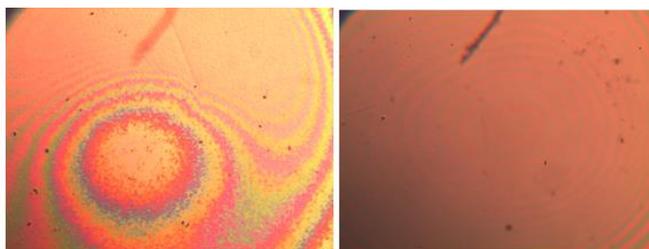


Рисунок 4 – Центры образцов 1 и 4 при увеличении 5 раз

Импульсно-плазменный метод представляется перспективным для формирования наноструктурированных покрытий оксида кремния, однако требуются дополнительные исследования.

В результате экспериментальных исследований нами получены наноструктурированные покрытия  $\text{SiO}_2$ , исследованы скорость роста и коэффициент преломления плёнок. Установлено, что свойства плёнок определяются прокачкой аргона через ТЕОС, оптимальным является отношение находящееся в пределах от 100 до 150. Коэффициент преломления пленок  $\text{SiO}_2$  при этом находится в пределах от 1,43 до 1,45, что говорит о качестве формируемых плёнок.

**Список использованных источников:**

1. David, B. *Graves Low temperature plasma biomedicine: A tutorial review* / B. *David Graves*.// *Physics of Plasmas*. – 2014. – Vol. 21. – P. 24-26.
2. Bruggeman, P. *Atmospheric pressure discharge filaments and microplasmas: Physics, chemistry and diagnostics* / P. Bruggeman, R. Brandenburg // *Journal of Physics D: Applied Physics*. – 2013. –Vol. 46. 464001.–P. 23-27.

## ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЗОНЕ КОНТАКТА ИНСТРУМЕНТА И ИЗДЕЛИЯ ПРИ ГОРЯЧЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПЛЮЩЕНИИ В ВАКУУМЕ

Степовой А.О.

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

Вышинский Н.В. – канд. техн. наук, профессор

Тугоплавкие металлы и их сплавы находят широкое применение в качестве конструктивных материалов в электровакуумной технике, приборостроении, радиоэлектронике и др. Однако изготовление изделий из тугоплавких металлов связано с определенными сложностями, вызванными их низкой технологичностью, обусловленной высокой твердостью, низкой пластичностью, склонностью к хрупкому разрушению при холодной обработке давлением и интенсивному окислению и газонасыщению при нагреве на воздухе.

Одним из реализуемых в промышленности способов производства из тугоплавких металлов и сплавов длинномерных изделий, в частности лент микронных сечений, является способ горячего ультразвукового плющения в вакууме. Применение энергии ультразвуковых колебаний способствует не только повышению производительности процесса обработки, но и значительно увеличивает степень обжатия за один проход, снижению усилий деформирования, улучшению качества изделий.

Полученные результаты исследований горячего ультразвукового плющения в вакууме тугоплавких металлов позволяют предложить следующий механизм образования полусфер на рабочей поверхности инструментов и дальнейшего развития адгезионного взаимодействия инструмента с проволокой. При трении нагретой до высоких температур проволоки из тугоплавкого металла о поверхность инструмента на отдельных участках контакта возникают микровспышки температуры, достигающие значения температуры плавления металла обрабатываемой проволоки. Так в случае обработки вольфрам-рениевого сплава ВР-20 эта температура составляет 3025 К. Ударное взаимодействие инструмента с проволокой, происходящее с ультразвуковой частотой, вызывает отрыв микрообъемов расплавленного металла с локальных участков контактирующей поверхности проволоки с последующим разбрызгиванием и осаждением микрокапель на относительно холодную поверхность инструмента. В результате этого на поверхности инструмента образуются затвердевшие полусферы металла обрабатываемой проволоки (рисунок 1).

При пластическом деформировании проволоки калибрующая поверхность инструмента контактирует с упруго деформируемой лентой. Причем на начальном этапе рабочего режима взаимодействия в результате контактирования ленты и инструмента происходит пластическая деформация полусфер затвердевшего металла, образовавшихся на его калибрующей поверхности при реализации установочного режима, и смещение этих сфер вследствие упругой деформации ленты в направлении протяжки. Это приводит к увеличению поверхности инструмента, покрытой слоем обрабатываемого металла. В дальнейшем участки поверхности инструмента с налипшим металлом являются активаторами процесса адгезионного взаимодействия в условиях вакуума пары однородных металлов. При достижении слоем металла некоторой толщины происходит отрыв части налипшего металла и вынос его движущейся лентой из зоны контактирования.

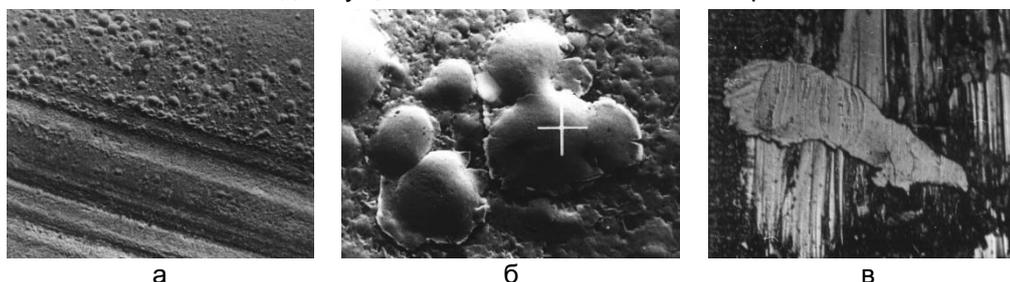


Рисунок 1 – Микрофотографии рабочих поверхностей инструментов из твердых сплавов после плющения вольфрам-рениевой (а –  $\times 250$ , б –  $\times 2500$ ) и молибденовой (в –  $\times 48$ ) проволоки

### Список использованных источников:

1. Кундас С.П., Вышинский Н.В., Тяеловский М.Д. Ультразвуковое плющение лент из тугоплавких металлов, применяемых в электронной технике и приборостроении. Мн.: Бестпринт, 2001. 283с.
2. Вышинский Н.В., Держинский С. М. Влияние шероховатости поверхности инструмента на качество изделия при ультразвуковом плющении // Изв. Бел. инженер. акад. 2001. №1(11)/3. С. 142-143.
3. Тяеловский М.Д., Кундас С.П., Вышинский Н.В., Боженков В.В. Исследование износа инструментов при горячем ультразвуковом плющении в вакууме вольфрама и молибдена // Трение и износ. 1983. Т. IV. '3. С. 561-565.
4. Wuttke W., Nittel I. Anwendung des Ermundungsbruchmodells auf Verschleisprozesse an Hartmetallen. Schmieringstechnik. 1982. Bd. 13. №9. S. 270-272.
5. Тяеловский М.Д., Вышинский Н.В. Методика исследования контактного взаимодействия материалов в ультразвуковом поле. Известия АН БССР, сер. физ. техн. наук. 1976. №1. С. 69-74.

## ВЛИЯНИЕ КОНФИГУРАЦИИ И РАЗМЕРОВ СТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ ПОДЛОЖКИ НА ПРОТЕКАНИЕ НАД НЕЙ ЖИДКОСТИ

Яцкевич П.А.

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

Хорошко Л.С. – канд. физ.-мат. наук, доцент

В данной работе представлены результаты численного моделирования изменения характера движения ламинарного потока жидкости в присутствии двухмасштабных структур и оценка влияния конфигурации и размеров структур на поверхности подложки на протекание над ней жидкости. Данные исследования направлены на поиск перспективных конфигураций подложек для увеличения эффективности фотокаталитической очистки воды в проточных реакторах.

Фотокатализ – это ускорение или возбуждение химических реакций в присутствии веществ (фотокатализаторов) при облучении светом, которые поглощают кванты света и участвуют в химических превращениях участников реакции, многократно вступая с ними в промежуточные взаимодействия и регенерируя свой химический состав после каждого цикла таких взаимодействий [1].

В последние годы фотокаталитическая очистка воды от органических загрязнений представляет особый интерес многих исследователей. Для применения фотокатализаторов в качестве очистителей окружающей среды наиболее привлекательны их микро- и наноструктурированные плёнки, сформированные золь-гель методом и методом электрохимического анодирования и нанесённые на различные подложки. Использование таких двухмасштабных структур исключает последующую фильтрацию растворов от частиц фотокатализатора после проведения фотокатализа.

Значительную роль в эффективности разложения загрязняющих агентов с использованием двухмасштабных структур играет конфигурация поверхности. За счет микроструктурирования поверхности подложки можно дополнительно увеличить эффективную площадь формируемого покрытия. С использованием фотолитографии и анизотропного химического травления микроструктурированные подложки пористого анодного оксида алюминия позволяют увеличить фотокаталитическую активность формируемых на них ксерогелей диоксида титана в несколько раз [2].

Конфигурация фотокатализатора влияет на скорость потока жидкости у его поверхности, поэтому в проточных системах очистки воды с принудительной накачкой важно учитывать эффект взаимодействия потока жидкости со структурой фотокатализатора на подложке. Если в системе не будет обеспечиваться перемешивание жидкости в области протекания фотоиндуцированных химических реакций (вблизи поверхности фотокатализатора), то эффективность всей системы будет значительно снижена.

Для оценки влияния конфигурации и размеров двухмасштабных структур на поверхности подложки на протекание над ней жидкости было проведено численное моделирование в программном пакете *Comsol Multiphysics*. В нашей модели фотокатализатор представляет собой сплошную массивную плоскую подложку с поверхностью в виде ребер прямоугольного профиля. Для оценки влияния конфигурации поверхности нами были использованы значения скорости потока жидкости через сечение, проходящее через центр зазора, ближайшего к центру камеры, на уровне половины высоты ребра и на высоте ребра. Показано что ребристая поверхность фотокатализатора увеличивает скорость потока жидкости на 10–20 % относительно безрёберной поверхности. Эксперимент проводился при заданных параметрах высоты ребра  $h$ , ширина ребра  $w$  и зазора между ними  $g$ , при начальной скорости потока жидкости равной 0,5 м/с.

Анализ структур с различной конфигурацией поверхности показал, что наибольшая эффективность фотокатализатора достигается за счет улучшенной конвекции загрязнителя в реакционном слое вблизи его поверхности при данных параметрах: высота ребра  $h = 0,25–1$  мм, ширина ребра  $w = 1$  мм, межреберный зазор  $g = 5$  мм.

### Список использованных источников:

1. *Photocatalysts* / J. Zhang [et al.]. – Singapore : Springer, 2018. – 409 p.
2. *Physics, Chemistry and Application of Nanostructures: proceedings of the international conference «Nanomeeting-2015»*, Minsk, 26–29 May, 2015 / World Scientific; ed.: V.E. Borisenko [et al.]. – Singapore, 2015. – P.377–380.

# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДЕТЕКТОР ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Рощенко П.С.

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

Ловшенко И.Ю. – ст. преподаватель

Рассматриваются вопросы регистрации ядерного излучения с помощью полупроводниковых детекторов. Представлены результаты моделирования воздействия тяжелой заряженной частицы с величиной линейной передачи энергии равной  $1,81 \text{ МэВ}\cdot\text{см}^2/\text{мг}$  и  $55,0 \text{ МэВ}\cdot\text{см}^2/\text{мг}$ , соответствующей ионам азота  $^{15}\text{N}^{+4}$  с энергией  $E = 1,87 \text{ МэВ}$  и ксенона  $^{131}\text{Xe}^{+35}$  с энергией  $E = 1217 \text{ МэВ}$ , на электрические характеристики приборной структуры полупроводникового микрострипового детектора ядерных излучений.

При исследовании в физике высоких энергий применяется большое количество методов регистрации частиц, ни один из которых не является универсальным. Для выбора метода необходимо учитывать такие критерии, как практическая реализуемость, точность и ограничения применения. Долгое время одним из основных считался метод регистрации частиц с помощью газонаполненных координатных детекторов (ГКД). Однако их эксплуатационные характеристики чаще оказываются недостаточными для удовлетворения всех потребностей современных задач. Частично на смену ГКД пришли полупроводниковые детекторы ядерных излучений (ПДЯИ), обеспечивающие наилучшую точность определения координаты частицы в детектирующих системах, способные работать в сильных магнитных полях, и в достаточно жестких радиационных условиях [1, 2].

При определенных условиях траекторию пролетающей заряженной частицы (ЗЧ) можно сделать видимой. Этот способ реализуется в, так называемых, трековых детекторах – группе детекторов, в которых при прохождении ЗЧ возникает визуально наблюдаемый след (трек) этой частицы.

Ключевыми параметрами трековых ПДЯИ являются:

- Пространственное разрешение — точность локализации места прохождения частицы в детекторе.

- Временное разрешение — минимальный интервал времени между прохождением двух частиц, которые регистрируются как отдельные события.

- Мёртвое время — интервал времени после регистрации частицы, в течение которого детектор остается нечувствительным к регистрации следующей частицы.

- Эффективность регистрации — вероятность регистрации частицы при попадании её в рабочий объем детектора.

Для точной фиксации пространственных координат трека частицы применяются полупроводниковые микростриповые детекторы (ПМД), представляющие собой пластины кристаллического полупроводникового материала, на одну или обе поверхности которых наносятся тонкие электроды (стрипы), отстоящие друг от друга на определенное расстояние.

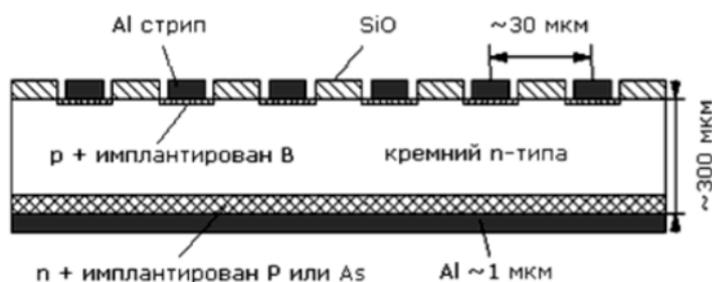


Рисунок 1 – Устройство кремниевого микрострипового детектора

На рисунке 1 представлена одна из возможных конструкций ПМД [3], для которой значение пространственного разрешения достигает  $10 \text{ мкм}$ , а временное разрешение  $10^{-8} \text{ с}$ .

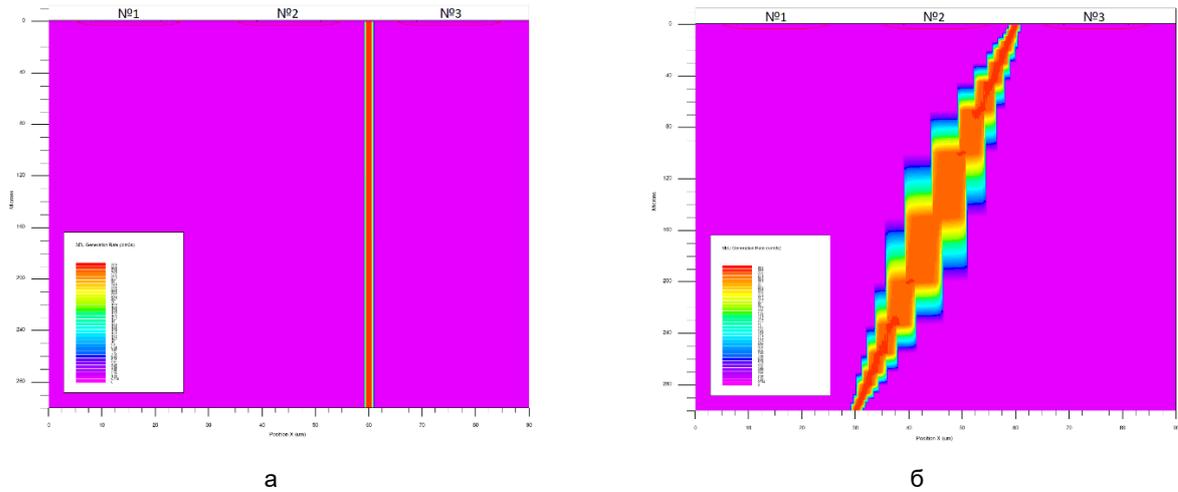
Недостатком ПМД является малый размер чувствительной области, что не позволяет применить их для измерения частиц высоких энергий.

Применение систем автоматизированного проектирования (САПР, САД) в микроэлектронике является обязательным на всех этапах

проектирования технологии/прибора/схемы/системы, т. к. позволяет значительно сократить время разработки и исследования, повысить точность расчетов и выбрать наилучшие варианты для реализации.

С помощью программного комплекса компании Silvaco [4], который является стандартом в области приборно-технологического моделирования изделий микроэлектроники, проведено исследование воздействия тяжелой заряженной частицы (ТЗЧ) на электрические характеристики приборной структуры ПМД при вариации угла падения  $\alpha$  (точка входа расположена между стриповыми контактами (СК) №2 и №3). Условия моделирования: напряжение на СК №1 - №3 равно  $0 \text{ В}$ , напряжение на подложке —  $50 \text{ В}$ ; значение температуры окружающей среды  $303 \text{ К}$ . В качестве ТЗЧ выбраны частицы с линейной передачей энергии (ЛПЭ) равной  $1,81 \text{ МэВ}\cdot\text{см}^2/\text{мг}$  и  $55,0 \text{ МэВ}\cdot\text{см}^2/\text{мг}$ , соответствующей ионам азота  $^{15}\text{N}^{+4}$  с энергией  $E = 1,87 \text{ МэВ}$  и ксенона  $^{131}\text{Xe}^{+35}$  с энергией  $E = 1217 \text{ МэВ}$ .

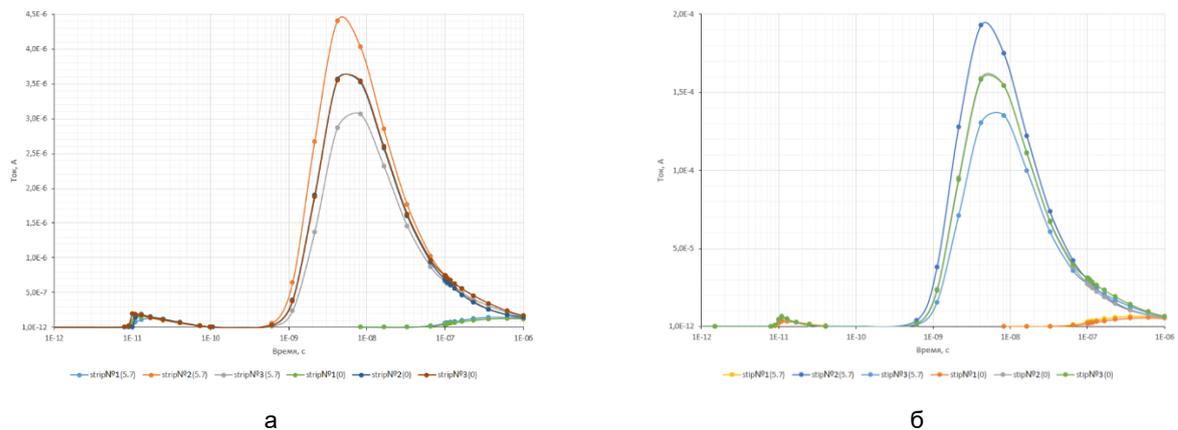
Воздействие на приборную структуру достигает пика в момент времени 10 пс и имеет гауссов временной профиль с характерным значением 1 пс. Генерация носителей происходит по всей длине трека частицы (от  $y = -1$  мкм до  $y = 301$  мкм) в пределах номинального радиуса 0,05 мкм оси трека при плотности  $10^{18}$  пар электрон-дырка на  $\text{см}^3$ . Скорость генерации носителей заряда вдоль трека частиц при  $\alpha = 0^\circ$  и  $\alpha = 5,7^\circ$  представлена на рисунках 2,а и 2,б соответственно.



а)  $\alpha = 0^\circ$ ; б)  $\alpha = 5,7^\circ$

Рисунок 2 – Скорость генерации носителей заряда вдоль трека частиц

На рисунках 3,а и 3,б представлены временные зависимости тока через СК №1 – №3 при воздействии на них ТЗЧ азота  $^{15}\text{N}^{+4}$  и ксенона  $^{131}\text{Xe}^{+35}$  соответственно.



а)  $^{15}\text{N}^{+4}$ ; б)  $^{131}\text{Xe}^{+35}$

Рисунок 3 – Временные зависимости тока через СК

Показано, что при угле  $\alpha = 0^\circ$  величины тока через СК практически совпадают независимо от ТЗЧ. В момент времени  $t = 4,2$  нс токи через СК №2 и №3 при воздействии  $^{15}\text{N}^{+4}$  равны  $I_2 = 3,57$  мкА и  $I_3 = 3,55$  мкА, а при  $^{131}\text{Xe}^{+35}$  —  $I_2 = 158$  мкА и  $I_3 = 159$  мкА, соответственно. Величина этих токов более чем на 8 порядков превышает ток покоя ( $10^{-14}$  А). За время 1 мкс система не успевает вернуться в первоначальное состояние. При изменении угла  $\alpha$  происходит перераспределение тока между СК. Так, при  $\alpha = 5,7^\circ$  в момент времени  $t = 4,2$  нс токи при воздействии  $^{15}\text{N}^{+4}$  равны  $I_2 = 4,41$  мкА и  $I_3 = 2,87$  мкА (отношение  $I_2 / I_3 = 1,537$ ), а при  $^{131}\text{Xe}^{+35}$  —  $I_2 = 193$  мкА и  $I_3 = 130$  мкА (отношение  $I_2 / I_3 = 1,485$ ).

**Список использованных источников:**

1. Меркин, М.М. Разработка, создание и применение кремниевых детекторов в физике высоких энергий и физике космических лучей : автореферат / М.М. Меркин – М. : МГУ, 2012. – 285 с.
2. Короткова, Н.А. Оптимизация параметров кремниевых микростриповых детекторов : автореферат / Н.А. Короткова – М. : МГУ, 2006. – 141 с.
3. Родионов, Ю.А. Микроэлектронные датчики и сенсорные устройства : учеб. пособие / Ю. А. Родионов. – Минск : БГУИР, 2019. – 300 с.
4. Silvaco [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.silvaco.com>

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЛАЗМЫ

Логунов К.Т., Аксюциц А.В.

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

Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент

В работе представлены результаты постановки методики и проведения экспериментальных исследований плазмы атмосферного разряда методом эмиссионной спектроскопии

Плазма широко используется для обработки материалов в течение более полувека. Ее применение обусловлено гибкостью и универсальностью, возможностью формирования источников химически активных частиц разных видов, которые вступают в реакцию с поверхностью или реагируют друг с другом, образуя второстепенные, короткоживущие химические соединения, необходимые для формирования тонкопленочных функциональных структур. Также успех технологии плазменной обработки объясняется возможностью синтеза сложных соединений при сравнительно низких температурах, как ни при одном другом методе, при этом, не разрушая ранее созданные структуры и слои. Плазма, как правило, используется для селективного размерного травления, обработки поверхности, для управления адгезионными параметрами поверхности, а также слоев диэлектриков, полупроводников и проводников с заданными составом, стехиометрией, структурой и свойствами [1-2].

Так как плазма газового разряда генерирует излучение в широком диапазоне электромагнитного спектра, то это явление можно использовать, как для изучения ее влияния на окружающую среду и объекты обработки, так и для исследования состава, структуры и свойств самой плазмы. Спектральный анализ позволяет точно определить химический состав вещества, количество элементов, входящих в состав плазмы, и их концентрацию. Исследование плазмы представляет собой также определение энергетических параметров и концентрации активных частиц в ней, на основании чего можно с достаточной точностью описать её характеристики. Для точного определения параметров плазмы, необходимо выполнение ряда условий, которые не будут вносить возмущения в саму плазму и снизят влияние окружающей среды на процесс проведения исследований.

Для этих целей были изготовлены элементы измерительной оснастки, позволяющей минимизировать попадание излучения из внешней среды, создающего шумы при снятии спектра в оптическом диапазоне, на фотоприемнике спектрометра. На рисунке 1 приведен внешний вид измерительного комплекса. В качестве рабочего вещества использовался газ аргон.

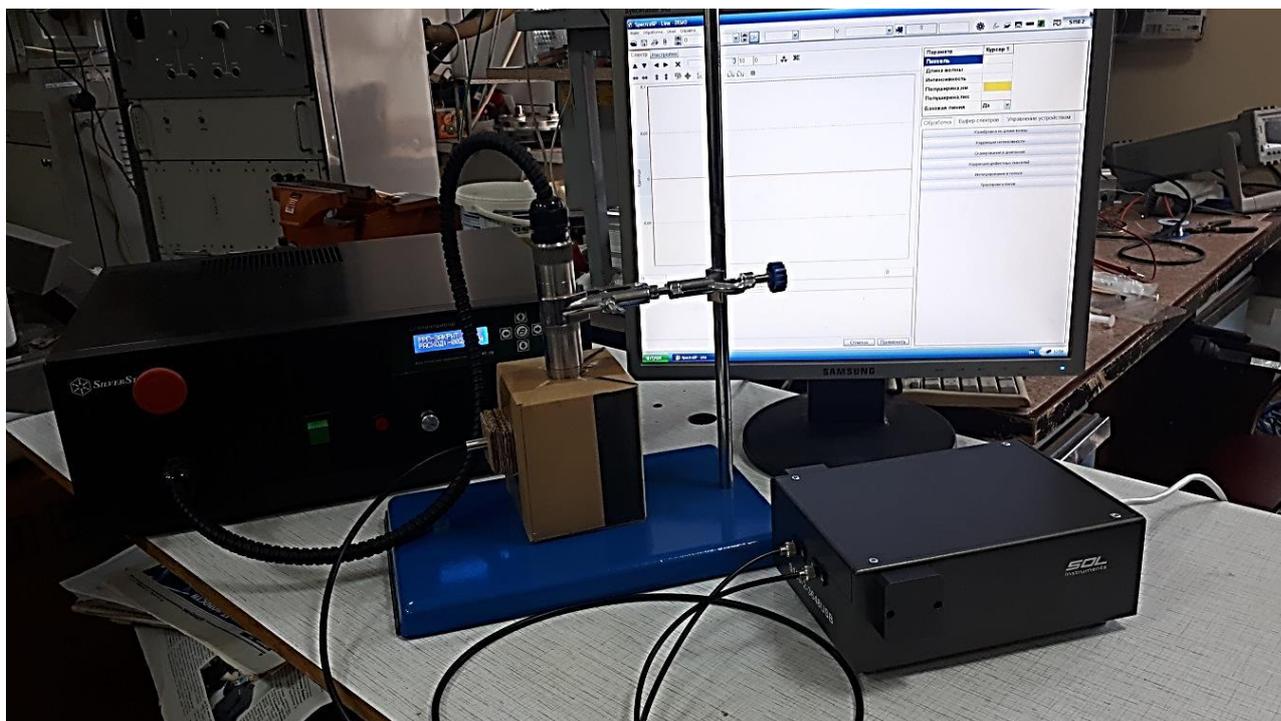


Рисунок 1 – Используемый измерительный комплекс

Для проведения измерений мы использовали двухканальный анализатор спектра – спектрометр S150-2-3648 USB (далее – S150-2). В силу того, что S150-2 является двухканальным, он

обеспечивает точность, в два раза превосходящую точность одноканальных спектрометров. Однако это приводит к тому, что и влияние различных паразитных эффектов также усиливается. Поэтому для обеспечения воспроизводимости получаемых результатов необходимо строго соблюдать условия проведения исследований. Пример экспериментально полученного нами эмиссионного спектра плазмы диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении приведена на рисунке 2.

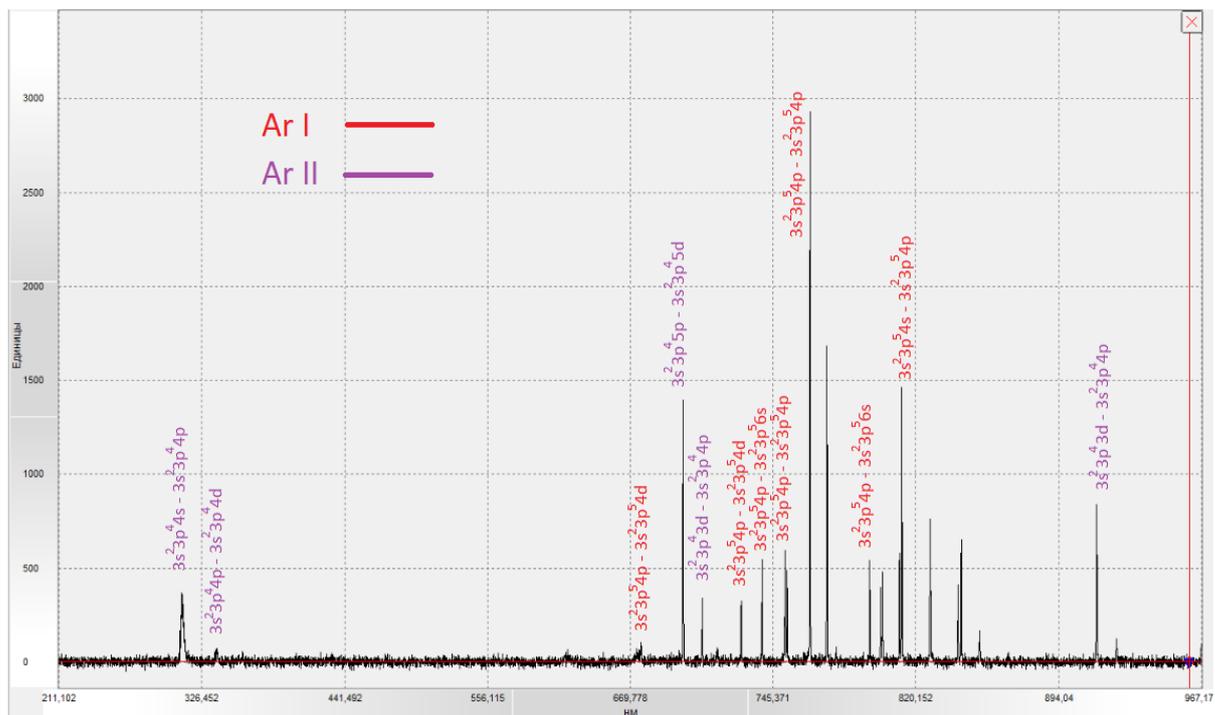


Рисунок 2 – Пример полученного эмиссионного спектра плазмы диэлектрического барьерного разряда

Как видно из приведенного спектра, в основном наблюдаются линии Ar I и Ar II, которые относятся к электронным оболочкам возбужденных атомов аргона и к ионам  $Ar^+$  соответственно. Линии в спектре описывающие ионы аргона более высоких порядков нами замечены не были. Кроме того, можно отметить, что наибольшей интенсивности линии достигают в области 600-850 нм и среди них преобладают пики характерные для атомов аргона. Доминирующие, по интенсивности, линии так же относятся к Ar I. Наблюдается формирование пиков, которые могут состоять из нескольких линий эмиссии, для точного определения которых требуется повышение разрешающей способности при снятии спектра или постановки специальной методики идентификации перекрывающихся друг друга линий. Наблюдается также ряд линий, которые требуют дополнительной идентификации и предположительно относятся к эмиссионным пикам атомов газов воздуха.

На основе предварительного анализа экспериментально полученного нами спектра можно сделать выводы, что присутствие возбужденных нейтральных атомов аргона в плазме значительно преобладает над однозарядными ионами, что позволяет утверждать о небольшой энергии активных частиц и как следствие низкой температуры формируемого факела в диэлектрическом барьерном разряде. Используя поставленную и апробированную нами методику, была продемонстрирована возможность определения энергетического состояния атомов аргона в плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении. Для количественной оценки полученных результатов необходимо использовать методики оценки количества и интенсивности эмиссионных пиков, что позволит нам связать характеристики спектра с физическими параметрами генерируемой плазмы, и в конечном итоге позволит проводить оценку разрядов и возможность их прикладного применения в самых различных отраслях.

**Список использованных источников:**

1. David, B. *Graves Low temperature plasma biomedicine: A tutorial review* / B. David Graves. // *Physics of Plasmas*. – 2014. – Vol. 21. – P. 24-26.
2. Bruggeman, P. *Atmospheric pressure discharge filaments and microplasmas: Physics, chemistry and diagnostics* / P. Bruggeman, R. Brandenburg // *Journal of Physics D: Applied Physics*. – 2013. – Vol. 46. 464001.–P. 23-27.

## ЭЛЕКТРОННЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПЕРОВСКИТОВ $ABO_3$ (A – Ca, Ce, Y, Na; B – Ti, Nb, Fe, Mn, Ta; O)

Проскурова П.А.

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

Стемпицкий В.Р. – канд. техн. наук, доцент

Работа посвящена исследованию электрофизических характеристик структур на основе перовскитов, имеющих общую формулу  $ABO_3$ , методом квантово-механического моделирования. Расчеты фундаментальных электронных свойств выполнялись на основе теории функционала плотности (Density Functional Theory – DFT). В качестве среды моделирования использовался программный пакет VASP (Vienna Ab initio Simulation Package), который предназначен для выполнения квантово-механических расчетов ab initio методом. В результате моделирования установлены основные состояния перовскитов. В ходе проведения моделирования выявлено, что ряд соединений обладает магнитным моментом (от 1,69 до 3,44  $\mu_B$ ). Анализ зонных диаграмм свидетельствует о наличии соединений с полупроводниковым (запрещенная зона от 0,26 до 2,18 эВ) и металлическим типом проводимости среди исследуемой группы перовскитов.

Материалы со структурой перовскитов привлекают пристальное внимание из-за перспективности использования в солнечных элементах, хотя существенным ограничением практического использования перовскитов является низкая термодинамическая стабильность. Имеет место применение перовскитов в качестве материалов компонентов фотовольтаики [1]. Также перовскиты могут применяться [2] при изготовлении светодиодов для дальнейшего использования в микроэлектронике. Подобные компоненты будут более чувствительны. Практическая значимость исследования перовскитов определяется их энергетической эффективностью. Однако, в литературных источниках недостаточно данных об управлении энергетической эффективностью с сохранением стабильности материала. Таким образом, изучение фундаментальных свойств с целью выявления закономерностей, позволяющих управлять энергетической эффективностью данного класса материалов, является актуальной задачей.

В качестве среды моделирования систем на основе перовскитов использовался программный пакет VASP (Vienna Ab initio Simulation Package), который предназначен для выполнения квантово-механических расчетов ab initio методом. Расчеты фундаментальных электронных свойств периодических структур выполняются на основании теории функционала плотности (density functional theory – DFT). Для учета электронных волновых функции выбран подход проекционных присоединенных волн (PAW) [9]. Наименьшая разница между рассчитанными и экспериментальными значениями параметров кристаллических решеток перовскитов, соответствует функционалу GGA в сочетании со схемой дисперсионной коррекции Грина [10] и поправками Бекке-Джонсона (PBE-D3(BJ)). В этом случае можно добиться лучшего соотношения между затратами машинного времени (ресурсов) и отклонением результатов моделирования от экспериментальных данных.

Электронные волновые функции учитывались с помощью базисного набора плоских волн с энергией обрезания 700 эВ, выбранной исходя из тестовых расчетов по сходимости. Критерий сходимости считался достигнутым, когда разница между двумя предыдущими шагами не превышала  $10^{-6}$  эВ. Интегрирование в импульсном пространстве осуществлялось по сетке k-точек  $5 \times 5 \times 5$ , сгенерированной по Гамма-схеме. Для проведения квантово-механического моделирования созданы элементарные ячейки  $ABO_3$ . На рисунке 1 представлена примитивная ячейка  $ABO_3$ , где A – атом Ca, Ce, Y или Na; B – атом Ti, Nb, Fe, Mn или Ta.

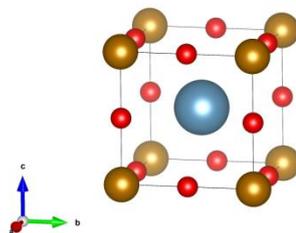


Рисунок 1- Примитивная ячейка кристалла  $ABO_3$

В ходе проведения моделирования с учетом спиновой поляризации установлено, что ряд соединений обладает магнитным моментом. В таблице 1 представлены результаты расчетов полного магнитного момента на структурную единицу ( $ABO_3$ , где «A» и «B» ионы металлов).

Тип проводимости исследуемых перовскитов  $ABO_3$  был установлен с помощью расчетов энергетических зонных диаграмм. В таблице 2 представлены результаты расчетов ширины запрещенной зоны для полупроводников, а также указаны соединения, обладающие металлическим типом проводимости (M).

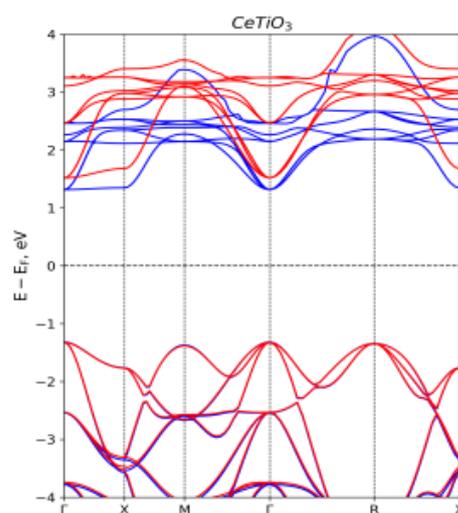
Выявлено, что среди исследуемых материалов только соединение  $CeTiO_3$  является прямозонным полупроводником с шириной запрещенной зоны 2,63 эВ (рисунок 1).

Таблица 1- Полный магнитный момент ( $\mu_B$  на структурную единицу  $ABO_3$ )

«A» \ «B»	Fe	Mn	Nb	Ti	Ta
Ca	3,31	3,11	0,00	0,00	0,99
Ce	0,26	4,39	1,49	1,39	1,57
Na	3,97	1,69	0,00	0,00	0,00
Y	2,76	3,85	0,00	0,00	0,00

Таблица 2 - Параметры запрещенной зоны для перовскитов  $ABO_3$ 

«A» \ «B»	Fe	Mn	Nb	Ti	Ta
Ca	M	M	2,51 эВ	1,83 эВ	M
Ce	M	M	2,68 эВ	2,63 эВ	2,99 эВ
Na	M	M	1,65 эВ	2,03 эВ	2,23 эВ
Y	M	M	2,64 эВ	2,67 эВ	2,95 эВ

Рисунок 1 - Зонная диаграмма перовскита  $CeTiO_3$ 

С помощью моделирования из первых принципов электронных и магнитных свойств перовскитов переходных металлов получены следующие результаты:

- $CeVO_3$  (где В – Fe, Mn, Nb, Ti, Ta) обладает магнитным моментом со значением 0,26 - 4,39  $\mu_B$  (при  $T=0$  K),  $CaVO_3$  (где В – Fe, Mn, Ta) обладает магнитным моментом со значением 0,99 - 3,31  $\mu_B$  (при  $T=0$  K),  $ABO_3$  (В = Fe, Mn, А = Na, Y) обладает магнитным моментом 2,76 - 3,85  $\mu_B$ ;
- анализ зонных диаграмм свидетельствует о наличии полупроводников (запрещенная зона от 1,65 до 2,99 эВ) и металлов среди исследуемой группы соединений;
- $CeTiO_3$  единственное соединение, которые является прямозонным среди изучаемых материалов.

#### Список использованных источников:

1. Jung E.H., Jeon N.J., Park E.Y. Efficient, stable and scalable perovskite solar cells using poly(3-hexylthiophene). *Nature*, 2019;567:511-515. DOI: 10.1038/s41586-019-1036-3.
2. Cho H., Kim Y.-H., Wolf C. Improving the Stability of Metal Halide Perovskite Materials and Light-Emitting Diodes. *Advanced Materials*, 2018;30:1704587. DOI: 10.1002/adma.201704587.
3. Li X., Yu D., Chen J. Constructing Fast Carrier Tracks into Flexible Perovskite Photodetectors To Greatly Improve Responsivity. *ACS Nano*, 2017;11(2):2015-2023. DOI: 10.1021/acsnano.6b08194.
4. Zhangb R., Song X., Liu Y. Monomolecular VB2-doped MOFs for photocatalytic oxidation with enhanced stability, recyclability and selectivity. *Journal of Materials Chemistry A*, 2019;7:26934. DOI: 10.1039/c9ta09571c.
5. Xu Y.-F., Yang M.-Z., Chen B.-X. A CsPbBr3 Perovskite Quantum Dot/Graphene Oxide Composite for Photocatalytic CO2 Reduction. *Journal of the American Chemical Society*, 2017;139(16):5660-5663. DOI: 10.1021/jacs.7b00489.
6. Brunetti B., Cavallo C., Ciccioli A. On the Thermal and Thermodynamic (In) Stability of Methylammonium Lead Halide Perovskites. *Sci Rep*, 2016;6:31896. DOI: 10.1038/srep31896.
7. Akbulatov A.F., Luchkin S.Y. Probing the Intrinsic Thermal and Photochemical Stability of Hybrid and Inorganic Lead Halide Perovskites. *J. Phys. Chem. Lett.*, 2017;8(6):1211-1218. DOI: 10.1021/acs.jpcclett.6b03026.
8. Kulbak M., Cahen D., Hodes G. How Important Is the Organic Part of Lead Halide Perovskite Photovoltaic Cells Efficient CsPbBr3 Cells. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 2015;6(13):2452-2456. DOI: 10.1021/acs.jpcclett.5b00968.
9. Blöchl P. E. Projector augmented-wave method. *Physical Review B*, 1994;50(24):17953-17979. DOI: 10.1103/physrevb.50.17953.
10. Kresse G., Joubert J. From ultrasoft pseudopotentials to the projector augmented wave method. *Physical Review B*, 1999;59(3):1758-1775. DOI: 10.1103/physrevb.59.1758.

## СЕНСОРНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОКСИЧНОСТИ НАНОМАТЕРИАЛОВ

*Деменковец М.О.*

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

*Стемпицкий В.Р. – кандидат технических наук, доцент*

Нанотехнологии и наноматериалы представляют огромный интерес из-за их уникальной структурной морфологии и выдающихся физико-химических свойств. Наноматериалы открывают новые возможности для разработки новых технологий сенсорики и мониторинга. В то время как наноматериалы имеют многочисленные прикладные применения, а преимущества нанотехнологий широко освещаются, исследуется и их потенциальное воздействие на здоровье человека и окружающую среду. Наносенсоры можно классифицировать по двум основным категориям: сенсоры, включающие в себя нанотехнологии или датчики с поддержкой нанотехнологий, которые сами по себе являются наноразмерными или имеют наноразмерные материалы, компоненты; и сенсоры которые используются для измерения наноразмерных свойств. Первая категория может в конечном итоге привести к снижению стоимости материалов, снижению веса и энергопотребления. Вторая категория может улучшить понимание потенциальных токсических эффектов появляющихся загрязнителей от наноматериалов, включая фуллерены, дендримеры и углеродные нанотрубки.

### 1. Наноматериалы и нанотехнологии сенсорных устройств.

Развитие нанотехнологии привело к высокому уровню использования наноматериалов для широкого спектра устройств, также к открытию новых возможностей для создания химических и биосенсорных устройств. Использование наноразмерных материалов, таких как наночастицы, нанопластины, нанотрубка, наностержни, наноремни и наноккомпозиты для разработки и создания новых видов сенсорных устройств возрастает.

Благодаря электрическим, магнитным, оптическим свойствам наноматериалов биосенсоры на их основе были разделены на электрохимические, оптические или фотоэлектрохимические, магнитно-механические и поверхностно-плазмонные резонансные усиленные типы сенсорных устройств и т.д. Их размеры находятся в том же масштабе, что и биомолекулы, что открывает новые возможности для взаимодействия с биологическими видами, такими как микроорганизмы, ткани, клетки, антитела, ДНК и другие белки. Были опубликованы обширные исследовательские работы и обзоры с использованием наноматериалов для электрохимических биоанализов, что демонстрирует растущую заинтересованность в данном направлении. Наноматериалы использовались для построения ферментных датчиков, иммуносенсоров и геносенсоров для достижения прямой проводки ферментов и относительных компонентов к поверхности электрода, для стимулирования спектроэлектрохимической реакции, и для усиления сигнала биораспознавания.

### 2. Обнаружение наночастиц металлов и оксидов металлов.

Наночастицы серебра (AgNPs). AgNPs известны своей антимикробной активностью, и по этой причине они были использованы в очистке воды и других приложениях, таких как детские пустышки и контейнеры для хранения пищевых продуктов. Их бактерицидная активность зависит от формы и размера, а частицы размером менее 100 нм проявляют оптимальную антибактериальную активность. Несмотря на эти полезные применения, наночастицы серебра токсичны.

Существует множество превосходных химических датчиков для распознавания ионов серебра, включая ионоселективные электроды, оптоды и флуоресцентные датчики. Однако ни один из данных датчиков не применялся для обнаружения именно наночастиц серебра.

Оптимальный метод обнаружения наночастиц серебра была опубликована ученым A. Chatterjee et al. [1] под названием 'селективный флуорогенный и хромогенный датчик для обнаружения ионов серебра и наночастиц серебра в водных средах'. Химический состав их сенсора был основан на производном родамина B1 в качестве флуорогенного и хромогенного зонда для Ag<sup>+</sup> / AgNPs в водных средах (рис. 1).

Наночастицы золота (AuNPs). Удалось обнаружить AuNPs с помощью метода поверхностного плазмонного резонанса. Плазмонные резонансы в металлических наночастицах обусловлены коллективными колебаниями электронов проводимости относительно их матрицы. Такие резонансы играют центральную роль в оптических свойствах металлических наночастиц и поэтому полезны при обнаружении металлических наночастиц, таких как наночастицы серебра. K. Lindfors и др. [2] сообщили об обнаружении и спектроскопии наночастиц золота с использованием конфокальной микроскопии сверхнепрерывности белого света. В данной работе образец был просвечен сверхнепрерывным лазерным излучением, генерируемым в фотонно-кристаллическом волокне через каскад нелинейных эффектов, которые дали начало спектру, простирающемуся от видимого до ближнего инфракрасного диапазона. Используя этот метод, эти ученые смогли обнаружить единственную частицу золота с номинальным диаметром D  $\frac{1}{4}$  5 нм. Это было первое обнаружение отдельных наночастиц золота ниже 10 нм с использованием полностью оптического метода.

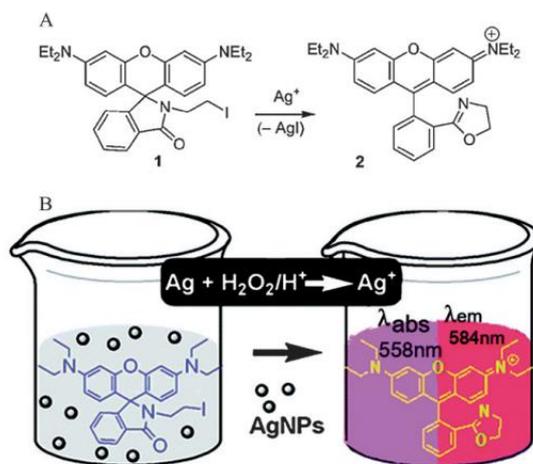


Рисунок 1 – (А): Ионы серебра стимулируют работу датчика; (В): Схематическое изображение сенсорного механизма, стимулируемого координацией ионов серебра к йодиду зонда

Еще одним оптическим методом обнаружения AuNPs является фототермическое обнаружение золотых наночастиц с использованием фазочувствительной оптической когерентной томографии, как сообщили D. C. Adler et al. [3] это метод биомедицинской визуализации высокого разрешения, который позволяет получать поперечные и трехмерные изображения микроструктуры тканей путем интерферометрического измерения амплитуды и временной задержки обратного рассеяния света. Как правило, при низких температурных градиентах этот метод подходит для использования “in vivo”, то есть при нормальных условиях, и представляет собой новый метод обнаружения AuNP с отличными характеристиками сигнал-шум на высоких скоростях.

В дополнении, для измерения динамической секреции химических молекул-мессенджеров из клеток, подвергшихся воздействию наночастиц, применяется микроэлектродная амперометрия углеродного волокна. Этот метод облегчает обнаружение специфической молекулярной мишени на основе приложенного потенциала, субмиллисекундного временного разрешения и количественного определения эндогенных концентраций химических мессенджеров, высвобождаемых при экзоцитозе. В присутствии AuNPs для характеристики серотонинового экзоцитоза из тучных клеток брюшины мышей, культивируемых совместно с фибробластами, была использована углеродная микроэлектродная амперометрия, и полученные результаты позволяют предположить, что наночастицы нарушают плотоядерную биополимерную межклеточную матрицу и представляют потенциал для систематических исследований, показывающих, как экзоцитотическая функция зависит от размера, формы и состава наночастиц.

Наночастицы оксида металла. Металлические наночастицы, такие как ZnO, TiO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub>, ZnO и TiO<sub>2</sub>, уже много лет используются в качестве солнцезащитных средств из-за их способности фильтровать UVA- и UVB- излучения, обеспечивая более широкую защиту, чем другие солнцезащитные средства. Эти материалы широко используются, хотя теоретически они были помечены как потенциально токсичные. Биосенсор для обнаружения наночастиц золота также может использоваться для обнаружения наночастиц оксидов металлов (ZnO, или Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Другие же методы для обнаружения наночастиц оксидов металлов – это традиционная характеристика наноматериалов. Например, K. M. Tyner et al. [4] сравнили до 20 существующих традиционных методов обнаружения и характеристики наночастиц оксида металла в немодифицированных коммерческих солнечных протекторах. Их результаты показали, что только сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) с переменным давлением, сканирующая атомно-силовая микроскопия, лазерная сканирующая конфокальная микроскопия и рентгеновская дифракция оказались жизнеспособными комплементарными методами обнаружения и характеристики наночастиц в солнечных протекторах. Однако ни один из этих методов не был использован для полного выявления и характеристики наноматериалов без дополнительных методов.

Закключение. Мы попытались обобщить и понять область наномониторинга и нанотоксикологии, включая проблемы мониторинга наноматериалов, возможности сочетания существующих аналитических методов с традиционными методами токсичности. Экологический мониторинг наночастиц – это важная область исследований, и она в значительной степени выиграет от новых подходов к обнаружению присутствия и характеристике свойств наноматериалов.

**Список использованных источников:**

1. A. Chatterjee, M. Santra, N. Won, S. Kim, J. K. Kim, S. B. Kim and K. H. Ahn, *J. Am. Chem. Soc.*, 2009, 131, 2040–2041.
2. K. Lindfors, T. Kalkbrenner, P. Stoller and V. Sandoghdar, *Phys. Rev. Lett.*, 2004, 93.
3. D. C. Adler, S. W. Huang, R. Huber and J. G. Fujimoto, *Opt. Express*, 2008, 16, 4376–4393.
4. K. M. Tyner, A. M. Wokovich, W. H. Doub, L. F. Buhse, L. P. Sung, S. S. Watson and N. Sadrieh, *Nanomedicine*, 2009, 4, 145–159.

## ФИЗИЧЕСКОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ

Францкевич К. Э.

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

Стемпичий В. Р. – кандидат технических наук, доцент

Аннотация. Микропроцессоры и микроконтроллеры являются одной из наиболее динамично развивающихся областей современной электронной техники. Развитие вычислительной техники привело к разработке языков описания цифровой аппаратуры. Языки описания аппаратуры являются неотъемлемой частью САПР, особенно для таких сложных схем, как специализированные интегральные схемы, микропроцессоры и программируемые логические устройства. Моделирование при помощи HDL (Hardware Description Languages) позволило инженерам работать на более высоком уровне абстракции, чем моделирование на уровне схемы, и, следовательно, упростить моделирование проектов, состоящих из тысяч транзисторов и более.

Быстрый рост степени интеграции и функциональной сложности современных электронных устройств привел к необходимости совершенствования и развития методов проектирования больших и сверхбольших интегральных схем (БИС и СБИС).

Поскольку современные СБИС содержат миллионы полупроводниковых структур на кристалле, широко использовавшийся ранее метод поэлементного проектирования архитектуры вычислительных схем по восходящей методологии не в состоянии обеспечить бездефектное проектирование сложных систем в строго установленные, приемлемые сроки. Кроме того, данная методология не обеспечивает возможность описания программных средств и учет этого описания при проектировании. Ошибки, выявленные на верхних уровнях представления, приводят к необходимости повторного выполнения этапов маршрута проектирования, начиная с уровня, на котором были допущены просчеты.

Для решения этих проблем в последние десятилетия появился новый подход для проектирования интегральных схем – подход с использованием методологии нисходящего проектирования, свободный от перечисленных недостатков. Проектирование сверху вниз описывается на многоуровневом иерархическом представлении устройств, и разработка ведется в соответствие с системной иерархией от общего описания системы к детальному описанию ее компонент

Под проектированием аппаратуры понимается процесс разработки технической документации, на основании которой может быть изготовлено устройство (микросхема, печатная плата), удовлетворяющее заданным требованиям (техническому заданию). Требования задают функциональность устройства, размеры, потребляемую мощность, диапазон рабочих температур и другие характеристики. Основным типом требований, которые придают устройству осмысленность, являются функциональные требования. Они определяют, что устройство должно делать, не вдаваясь в детали, как оно будет это делать, и как, по какой технологии, оно будет изготовлено. В общих словах, проектирование можно рассматривать как синтез системы с заданной функциональностью на определенной элементной базе при выполнении заданных ограничений.

Различают следующие основные этапы процесса проектирования аппаратуры:

1. Поведенческое проектирование (уровень архитектуры).
2. Детальное проектирование (уровень регистровых передач).
3. Логический синтез (уровень логических вентилей).
4. Физический синтез (уровень транзисторов).

Основным средством поведенческого проектирования (первый этап) являются языки программирования высокого уровня (C/C++) и языки системного проектирования (SystemC, SystemVerilog). Результатом этого этапа, помимо уточнения требований и создания соответствующей документации, является программный эмулятор разрабатываемой аппаратуры. Важно отметить, что такие эмуляторы используются для верификации в качестве эталонных моделей.

На втором этапе с использованием языка описания аппаратуры (Verilog, VHDL) предельно точно описывается логическая структура и функционирование устройства. Языки описания аппаратуры являются формальной записью, которая может быть использована на всех этапах разработки цифровых электронных систем. Это обусловлено тем, что язык легко воспринимается и машиной, и человеком. Он может использоваться на этапах описания, верификации, синтеза и тестирования аппаратуры, а также передачи данных о проекте, его модификации и сопровождения. Широко распространенным подходом, применяемым при построении аппаратуры, является синхронизация подсистем с помощью так называемого синхроимпульса (тактового сигнала), который передается во все модули устройства и управляет пересылками сигналов внутри модулей и между ними. Такое описание называется моделью уровня регистровых передач (RTL, register transfer level). Уровень RTL – это уровень графического изображения схемы, достаточно удаленный от низового уровня транзисторов, когда схема изображается, в основном, с помощью регистров, триггеров, мультиплексоров, дешифраторов, цифровых компараторов, сумматоров и буферных элементов с минимальным привлечением простейших схем И, ИЛИ, ИсклИЛИ к рисованию RTL-схем.

Программное обеспечение современных САПР для больших структурируемых (иерархических) проектов пополняет свои RTL-схемы дополнительными блоками, скрывающими RTL-схему младшего по проектной иерархии модуля и изображаемыми в виде прямоугольников. В таком ключе изображаются цифровые автоматы (или в англоязычной традиции state-machines - машины состояний) без доступа к их внутренней RTL-схеме.

В рамках третьего этапа получается схема из логических вентилях в заданном базисе, функционально эквивалентная разработанной ранее RTL-модели. В настоящее время данный этап автоматизирован, хотя не исключена ручная доработка схемы в целях оптимизации. Процесс получения логической схемы из RTL-модели называется логическим синтезом. Если проводить аналогию с разработкой ПО, логический синтез соответствует трансляции программы с языка высокого уровня в машинный код.

На четвертом этапе осуществляется размещение и трассировка топологии схемы на кристалле для заданного набора технологических ограничений (взаимное расположение элементов схемы, площадь кристалла, минимальное расстояние между проводниками, размер проводника и т.п.). Этап физического проектирования, также как и предшествующий ему этап логического проектирования, автоматизирован средствами современных САПР. Процесс, в результате которого решаются указанные выше задачи называется физическим синтезом.

Язык описания аппаратуры Verilog был разработан фирмой Gateway Design Automation в 1984 г. После поглощения последней фирмой Cadence язык получил широкое распространение среди разработчиков и стал не менее популярен, чем VHDL.

В отличие от VHDL, структура и синтаксис которого напоминают такие "сложные" языки, как АДА или АЛГОЛ, Verilog обеспечивает более лаконичный и удобочитаемый синтаксис, характерный для очень популярного в среде программистов и разработчиков встроенных систем языка Си. Verilog позволяет достаточно эффективно выполнить описание и провести моделирование и синтез цифровых схем благодаря наличию развитых средств описания устройств, применению встроенных примитивов и примитивов пользователя, средств временного контроля, моделированию задержки распространения от входа до выхода, возможности задания внешних тестовых сигналов,

HDL Verilog изначально предназначался для моделирования цифровых систем и как средство описания синтезируемых проектов стал использоваться с 1987 г. Впоследствии этот язык начал применяться и для проектирования аналоговых схем. В настоящее время ведущие пакеты синтеза систем на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) от таких фирм, как Synopsys, Cadence, Mentor Graphics, поддерживают синтез с описаниями на языке Verilog.

Таким образом, использование HDL может обеспечить несколько преимуществ. Описание на HDL можно использовать как техническое задание на проект. Преимущество использования формального языка, такого как Verilog, для описания заключается в том, что такое описание является полным и недвусмысленным. Описание на формальном языке является «мягким» по сравнению с "жестким" описанием схемы. Представление на HDL позволяет легко обрабатывать текст на любом текстовом процессоре, а базы данных схем обычно требуют графического редактора.

Второй целью использования HDL является моделирование. Моделирование разработки может обнаружить ошибки, которые иначе обнаружались бы только после изготовления аппаратуры. Моделирование может производиться на нескольких уровнях. На функциональном уровне система описывается с использованием конструкций высокого уровня. На логическом уровне система описывается иерархически, когда внизу иерархии находятся основные блоки. Этот уровень может включать информацию о временных задержках, давая возможность временного анализа.

Третьей целью использования HDL является логический синтез. Существуют средства синтеза, которые могут по описанию разработки на HDL сгенерировать реализацию на вентилях уровне из библиотечных элементов. Эти средства оптимизируют проект по задержке, объему схемы или по другой целевой функции. Существующие средства синтеза имеют некоторые ограничения, например, они используют только некоторое подмножество этого языка и синтезированные схемы не могут быть такими же эффективными, как созданные опытным разработчиком. Тем не менее, синтез даже части схемы может сэкономить время и средства, предоставляя возможность разработки упрощенной версии и предварительной оценки быстродействия/площади кристалла.

Наконец, язык описания аппаратуры – это лучший способ документирования проекта. Хорошо прокомментированное описание на HDL может быть лучше и короче, чем схема на вентилях уровне.

**Список использованных источников:**

1. Стешенко В. Б. ПЛИС фирмы Altera: элементная база, система проектирования и языки описания аппаратуры. – М.: ДМК ПРЕСС, 2015. – 573 с.
2. Поляков А. К. Языки VHDL и Verilog в проектировании цифровой аппаратуры на ПЛИС: уч. пос. / А. К. Поляков, - М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 220 с.
3. Соловьев В. В. Основы языка проектирования цифровой аппаратуры Verilog /. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 206 с.
4. Стешенко В. Б., Попова Т. В., Малашевич Д. Б. Основы HDL Verilog как средства проектирования цифровых устройств: уч. пос. / Под ред. А. И. Сухопарова. - М.: МИЭТ, 2006. – 136 с.
5. Акчуринов А. Д., Юсупов К. М. Программирование на языке Verilog. уч. Пос / А. Д. Акчуринов, К. М. Юсупов. – Казань, 2016. – 90 с.

## РАДИОПЕТЛИЧНЫЙ МИКРОФОН С СИСТЕМОЙ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ

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

Артюшевский Е.О.

Карпушкин Э.М. – к.т.н., доцент

В работе рассматриваются различные алгоритмы и методы шумоподавления, а также возможность их применения на практике для решения потоковых задач.

Устройство, обладающее встроенной системой шумоподавления, избавляет от необходимости постобработки сигнала и значительно упрощает работу. Аналогичные устройства не располагают системами шумоподавления, что является техническим упущением. Разрабатываемое устройство имеет широкую область применения, основными нишами которой являются киноиндустрия и телевидение (например, репортажи в условиях зашумленной окружающей среды).

Цель системы шумоподавления – подавление аддитивных шумов в реальном времени.

Аддитивные стационарные шумы – порождаемые окружающей средой, звукозаписывающей аппаратурой и т. д. Стационарность означает, что свойства шума (мощность, спектральный состав) не меняются во времени. Аддитивность означает, что шум суммируется с "чистым" сигналом  $y[t]$  и не зависит от него<sup>[1]</sup>:

$$x[t] = y[t] + \text{noise}[t].$$

Алгоритм шумоподавления является сочетанием нескольких приемов шумоподавлений: применение двух микрофонов, выравнивание сигналов разных микрофонов по корреляции, учет сдвига фаз между гармониками сигналов разных микрофонов для дополнительной фильтрации шумов, динамический расчет усредненного спектра шума по текущему фрагменту обрабатываемого сигнала, фильтр Винера для вычитания спектров<sup>[2]</sup>.



Рисунок 1. Схема установки фильтра

В работе, для подавления нежелательного сигнала (шума), используется два микрофона. Первый микрофон расположен в непосредственной близости к источнику полезного сигнала, а второй — на расстоянии в 20 сантиметров от первого. В данном случае можно воспользоваться спектральным вычитанием фрагментов одного сигнала от другого.

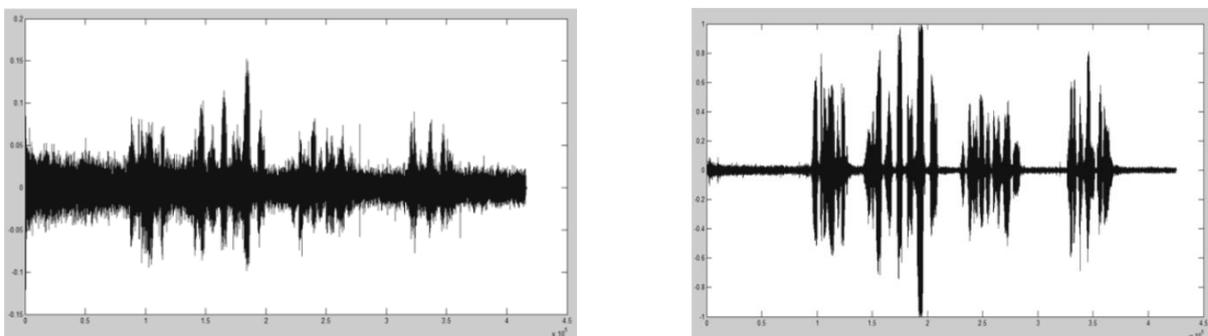


Рисунок 2 – Визуализация зашумленного сигнала (слева) и очищенного сигнала (справа)

### Список использованных источников:

1. Saeed V. Vaseghi. *Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction, Second Edition.* – John Wiley & Sons Ltd, 2000. 466 p.
2. Alexey Lukin, Jeremy Todd. *Adaptive Time-Frequency Resolution for Analysis and Processing of Audio.* – 2006. 10 p.

## ПРОГРАММА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАДИОПРИЕМНОГО ТРАКТА

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

Архипенков Д.В., Лощинин И.В.

Забеньков И.И. – д.т.н., профессор

В работе рассматривается программа для расчета и построения радиоприемных трактов. Главной особенностью данной программы является расчет динамического диапазона по интермодуляции третьего порядка и коэффициенту шума аналого-цифрового преобразователя.

Современные компании по производству ВЧ компонентов поставляют средства моделирования и проектирования ВЧ-систем, выполняемых на основе интегральных микросхем этих компаний. Проектирование таких систем представляет собой сложный и трудоемкий процесс. Использование виртуальных средств моделирования и проектирования позволяет упростить и ускорить процесс проектирования, повысить точность и надёжность проектируемых изделий.

Средства моделирования и проектирования обеспечивают вычисления наиболее важных параметров устройства ВЧ-канала, включая коэффициент усиления каскадируемых усилителей, коэффициент шума, положение точек пересечения IP<sub>3</sub>, P<sub>1</sub> и суммарную мощность потребления.

Отечественные технические задания обычно указывают требуемое значение динамического диапазона по IP<sub>3</sub>, который не совсем корректно связан с параметром IP<sub>3</sub>, рассчитываемым в зарубежных программах. Виртуальные средства моделирования и проектирования, например, как ADIsimRF [1] производит расчет ВЧ-трактов, только на собственно-выпускаемой номенклатурной базе, что не позволяет быстро интегрировать другие функциональные модули в данную программу. Исходя из данных требований была разработана программа (рис.1.), которая имеет гибкую базу данных, формируемую через .csv файл.

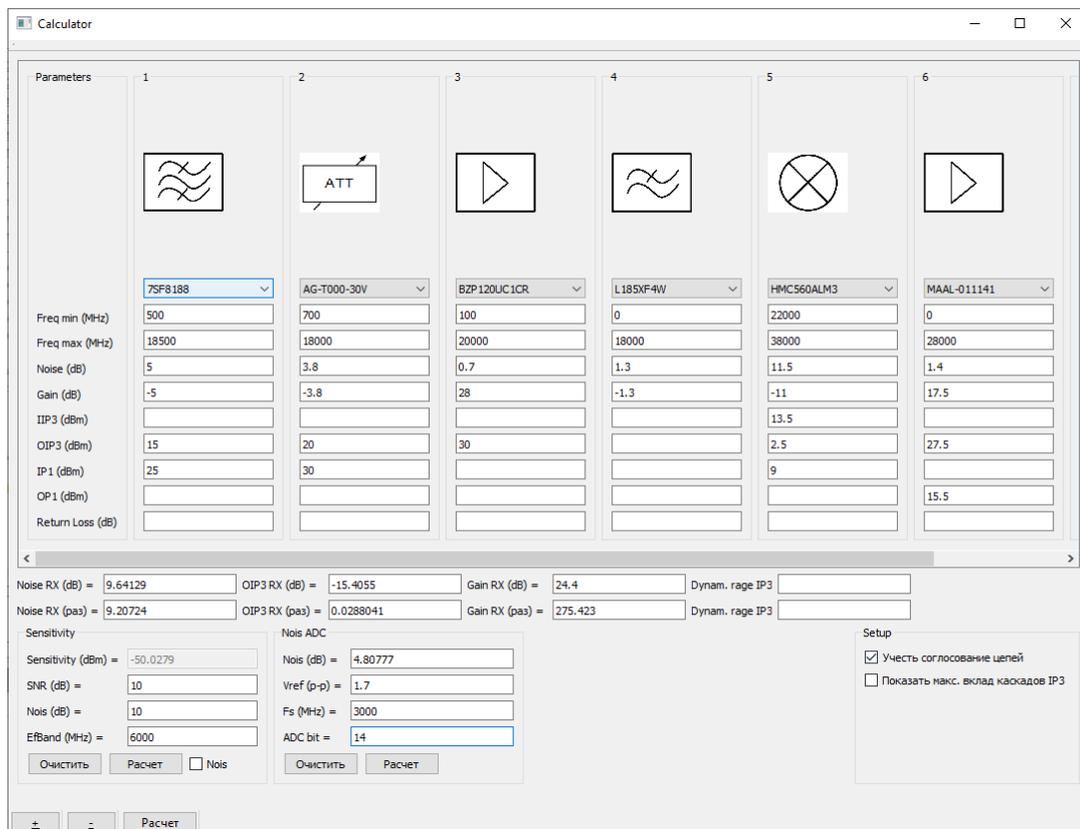


Рис. 1 – Общий вид программы для моделирования и проектирования ВЧ-тракта

Динамический диапазон по IP<sub>3</sub>, рассчитывается согласно формуле[2]:

$$D_{<2,1>\Sigma} = E_a^{-\frac{2}{3}} \left[ \sum_{i=1}^n \frac{1}{D_{<2,1>i}^3 \cdot E_i^2} \prod_{j=0}^{i-1} K_j^2 \cdot Y_j^2(f_1) \cdot Y_j^2(f_2) \right]^{-\frac{1}{3}}, \quad (1)$$

где  $E_a$  – чувствительность радиоприемного устройства;  $D_{<1,2>}$  – динамические диапазоны по интермодляции 3-го порядка каскадов, отсчитываемые от уровней, соответствующих чувствительности каждого каскада (определяемой его собственными шумами);  $E_i$  – эффективные напряжение шумов соответствующих каскадов;  $K_j$  – коэффициент передачи напряжения входной цепи и каждого из каскадов устройства на частоте настройки;  $Y_j$  – коэффициенты избирательности каждого из каскадов на частотах  $f_1$  и  $f_2$ .

Таким образом в работе представлена оригинальная программа для моделирования и проектирования радиоприемных трактов, обладающая достоинствами, по сравнению с существующими. В дальнейшем планируется увеличения параметров расчета, так же увеличение функционала.

Список использованных источников:

1. Analog Devices [Электронный ресурс.] – Режим доступа <https://www.analog.com/en/design-center/adisimrf.html>.
2. Патент РФ №2254590, 20.06.2005 Радиолокационный приемник с большим динамическим диапазоном по интермодляции третьего порядка // Патент России № 225490. 2005. / Цыпленков Ю.С., Рыжков Д.Е., Борисов А.А.

## **ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ «БОНО» ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОМУ ТЕСТИРОВАНИЮ СОТРУДНИКОВ КОМПАНИИ A1QA**

*Афанасова А.С.*

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

Веб-приложение «Бонно» для обучения функциональному тестированию сотрудников компании A1QA – это готовое решение для тестирования сотрудников на готовность работы на реальном проекте, а также получение сотрудником практического опыта в области функционального тестирования. Приложение является необходимым инструментом для оценивания сотрудников готовность к выполнению реальных задач. Статья описывает разработанное мною веб-приложение для обучения функциональному тестированию сотрудников A1QA.

Стажер на испытательном сроке должен показать свою профпригодность менеджерам компании, путем выполнения тестового задания для определения уровня теоретической и практической подготовки. Перед сотрудником ставят задачу протестировать приложение в боевых условиях: ограниченное время выполнения задания, неполнота требований, проведение тестирования без команды (один на один с приложением). Задачей сотрудника, получившего это задание, является разработать творческий подход к решению поставленной задачи, а также показать профессионализм в стрессовых условиях.

Работодатель, желающий получить ценные кадры оценивает уровень коммуникации сотрудника, умение вкладываться в сроки, а главное полноту и качество тестирования. Так на практическом примере можно оценить сотрудника с разных сторон, увидеть человека в деле, а главное понимать его потенциал, чего не добиться устным собеседованием и решением логических задач на знание формул. При выполнении задания на высокий результат, сотрудник получает статус «Готов к работе на проекте» и с этого момента менеджеры компании подбирают проект. Если сотрудник не показывает высокого результата ему дают еще 3 тестовых задания для получения практического опыта и возможности проявить себя.

Основным назначением разработанного мною веб-приложения для обучения функциональному тестированию является получение практического опыта сотрудником, вышедшим на испытательный срок.

Разработанное веб-приложение позволяет решить следующие задачи:

- получение практического опыта в реальных условиях;
- возможность развивать творческий подход к решению сложных задач;
- формирование представлений о работе инженера по тестированию.

Входными данными для разработанного нами программного средства являются списки сотрудников и фотографии с рабочих мест.

Выходными данными нашего программного средства являются требования компании к сотруднику на испытательном сроке и основные критерии подбора сотрудников для функционального тестирования.

При создании программного средства были использованы следующие средства разработки:

- Microsoft Visual Studio 2019;
- HTML, CSS
- JavaScript;
- язык управления базами данных SQL.

Разработанное веб-приложение для обучения сотрудников компании позволяет продемонстрировать менеджерам компании, а также самому сотруднику уровень профессиональной подготовки и готовность к работе на реальных проектах.

## МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ УГРОЗ И РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ “УМНЫЙ ДОМ”

Богдан Д.С.

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

Половения С.И. – к.т.н., доцент

Цель работы – разработка оптимального подхода к оценке вероятностей угроз и их прогнозов в системах “Умный дом”.

Оптимальный подход к оценке вероятностей угроз и их прогнозов должен обладать рядом преимуществ, в сравнении с существующими методиками, а именно:

- 1) позволять моделировать различные сценарии реализации угроз информационной безопасности (ИБ) систем Умный дом (УД);
- 2) определять вклад различных факторов структуры анализируемого объекта, способствующих реализации угрозы ИБ УД;
- 3) выявлять взаимное усиление конкретных факторов друг другом при взаимодействии, и наглядно это отображать;
- 4) значения вероятностей угроз рассчитывать, а не задавать пользователем (пользователю необходимо лишь ранжировать опасность возможных сценариев реализации угроз ИБ УД).

Для соответствия заявленным преимуществам можно использовать следующие математические подходы:

- для моделирования рассуждений экспертов - метод алгебры логики из раздела Силлогистики Аристотеля – Сорит;
- для оценки текущей вероятности угроз ИБ УД и учета ее погрешности в явном виде - метод факторного планирования эксперимента (ФПЭ) и его модифицированный интервальный вариант;
- для получения прогнозных значений вероятностей угроз ИБ ИТС – метод группового учёта аргументов (МГУА).

Кроме того, доступность предлагаемого математического аппарата не требует специальной предварительной подготовки экспертов в данной предметной области и, как следствие, не влечёт значительных временных затрат. Также предлагаемые математические методы позволяют автоматизировать расчёты даже посредством стандартных офисных приложений, не прибегая к написанию специальных программных сред.

Общая идея предлагаемого подхода определения угроз и рисков ИБ УД состоит в следующем – на основании опросников, заполняемых в ходе проверки, формируются унарные и бинарные высказывания, которые позволяют построить Сорит, результатом которого являются факты, влекущие за собой угрозы ИБ УД, затем на основании исчисления предикатов и использования семантических сетей формируется модель актуальных угроз ИБ УД. На основании полученных актуальных угроз и их вероятностей, используя теорию расчёта экономических рисков производится оценивание угроз и рисков ИБ УД и их дальнейшее прогнозирование МГУА. Алгоритм предлагаемой методики представлен на рисунке 1.

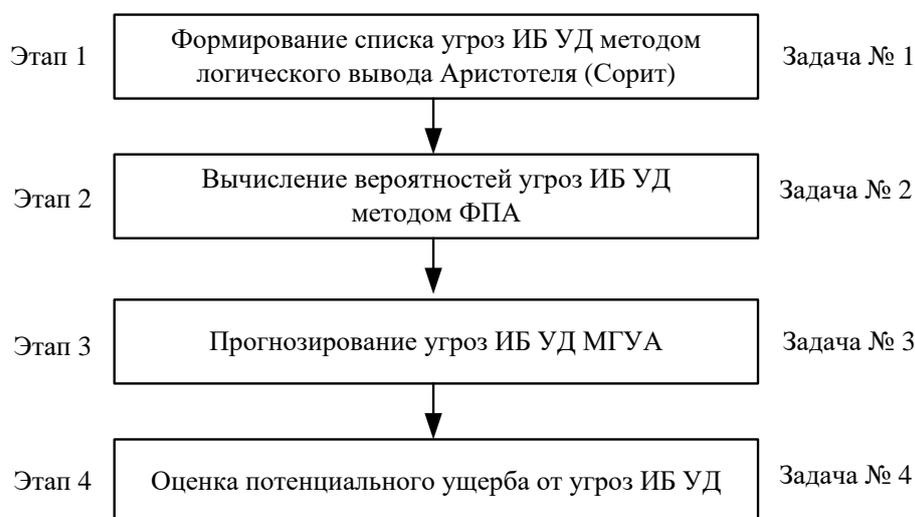


Рисунок 1 – Общая схема алгоритма и методики оценки угроз и рисков ИБ УД

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА КАРТРИДЖЕЙ

Богданович П.С.

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

Фролов А.Д., Славинская О.В. – канд. пед. наук, доцент

За последнее десятилетие значительно увеличился объем информации в различных сферах жизни человека, которую необходимо анализировать, хранить, обрабатывать. В результате этого возникла необходимость разработки и внедрения автоматизированных систем, которые позволяют выполнять вышеперечисленные операции. Наша статья описывает разработанную нами автоматизированную систему учета картриджей для ООО «ТЭП «БЕЛГРУЗАВТОТРАНС»».

Обеспечением штатной работы компьютерной техники, сети и программного обеспечения в организациях занимается системный администратор. Этот специалист следит за бесперебойностью работы компьютерного оборудования, проектирует, управляет локальными сетями и модернизирует их, отвечает за поддержку центрального сервера и обеспечивает информационную безопасность.

Организации, имеющие большое количество компьютерной техники и большой штат сотрудников, нуждаются в нескольких системных администраторах. ИТ-администраторы имеют различные категории, которые определяют характер их деятельности. Например, администратор веб-сервера занимается установкой, настройкой и обслуживанием программного обеспечения веб-серверов. Работа с базой данных ложится на плечи администратора баз данных. Разработка и обслуживание сетей – на администратора сети. Настройкой и поддержкой электронной почты озадачен администратор почтовых серверов. Системный инженер (или системный архитектор) занимается построением корпоративной информационной инфраструктуры на уровне приложений.

Обязанности системных администраторов очень обширны и разнообразны. На рисунке 1 изображена диаграмма, где для наглядного изображения работы системного администратора применена методология IDEF0 на контекстном уровне.



Рис. 1 – Диаграмма контекстного уровня процесса «Работа системного администратора»

В государственных и частных организациях, эксплуатирующих большое количество печатной техники, возникает необходимость вести автоматизированный журнал учета расходных материалов. Это особенно актуально, когда используется большой ассортимент оборудования от разных производителей, купленного в разное время.

Для выполнения автоматизации учета картриджей нами по заказу ООО «ТЭП «БЕЛГРУЗАВТОТРАНС»» разработана база данных, основными таблицами которой являются:

- кабинеты;
- картриджи;
- картридж\_расположение;
- заправки;
- контрагенты;
- контракты;
- производители;
- принтеры;

- принтер\_расположение;
- картридж\_состояние;
- совместимость.

Разработанная автоматизированная система учета картриджей позволит выполнять следующие функции:

- оповещение о малом количестве картриджей;
- составление отчета с суммой заправок за месяц;
- составление подсчета о расходе картриджей в месяц определенным принтером и количеством использования разных типов картриджей в месяц.

Разработанная автоматизированная система предоставляет пользователю следующие возможности:

- вносить разные модели картриджей;
- вносить разные модели принтеров;
- вносить разные сервисы по заправке;
- вносить информацию о совместимости принтера и картриджа;
- добавление тарифов заправок;
- добавление расположения картриджа;
- вносить даты отдачи в кабинет и возврата оттуда.

Входными данными для разрабатываемого программного средства являются:

- модели картриджей;
- модели принтеров;
- сервисы по заправки;
- совместимость картриджей и принтеров;
- тарифы заправки;
- местоположение картриджей;
- сервисы по заправки;
- даты заправки.

Выходными данными разрабатываемого программного средства являются:

- отчет с суммой заправок за месяц;
- вывод оповещения о малом количестве картриджей;
- отчет о расходе картриджей в месяц определенным принтером и количеством использования разных типов картриджей в месяц.

Основным преимуществом данной системы является возможность ее интеграции с основным автоматическим рабочим местом компании. В будущем возможна доработка дополнительных функций отделом автоматизации компании.

Автоматизированная система учета картриджей позволит системному администратору более гибко учитывать мощности оборудования, получать информацию о загруженности оборудования, при необходимости принимать меры по установке дополнительного оборудования. При ее применении в организации сократится количество операций по составлению отчетов о проделанной работе за выбранные периоды, что увеличит оперативность составления отчетов и как следствие – планов работ на следующий период.

**Список использованных источников:**

1. Автоматизация работы с картриджами с помощью сканера // ЯндексДзен: Блог системного администратора [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://zen.yandex.ru/media/poznyaevru/avtomatizaciia-raboty-s-kartridjami-s-pomosciu-skanera-shtrihkodov-5ac35c013dceb71dcc8c5eee>.
2. Обязанности, задачи, навыки системного администратора // Linuxtrainingcenter [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://linuxtrainingcenter.com/sistemnyj-administrator>.
3. Осипов, Д. Базы данных и Delphi. Теория и практика / Д. Осипов – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 752 с.
4. Осипов, Д. Delphi. Программирование для Windows, OS X, iOS и Android / Д. Осипов – СПб. : БХВ-Петербург, 2014. – 464 с.
5. Проклашкин, Д.Н. Автоматизация учета на предприятии // Cyberleninka [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-ucheta-na-predpriyatii>.

## ЭЛЕКТРОННЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС ПО ПРЕДМЕТУ «ДОПРИЗЫВНАЯ ПОДГОТОВКА»

Богомолова Ю.Н.

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

Русаков Д.В., Славинская О.В. – канд. пед. наук, доцент

Работа посвящена вопросам эффективности практического применения материалов электронного образовательного ресурса (ЭОР) по предмету «Допризывная подготовка» в процессе обучения юношей X-XI классов общеобразовательной школы.

Одна из задач современного школьного образования – разработка инновационного образования, которое является эффективной средой для формирования интеллектуальных ресурсов учеников и роста их компетентности [1].

Сегодня трудно представить работу учителя без использования информационных технологий, позволяющих с помощью компьютера, различных информационных программ проводить уроки, внеурочные мероприятия, организовывать внеаудиторную самостоятельную деятельность учащихся. Использование ЭОР в образовательном процессе значительно влияет на формы и методы представления учебного материала, характер взаимодействия между учащимся и преподавателем, соответственно, и на методику проведения занятий в целом. Вместе с тем ЭОР не заменяют традиционные подходы к обучению, а значительно повышают их эффективность. Главное – найти соответствующее место ЭОР в процессе образования, так как любой из типов уроков может быть проведен с использованием ЭОР [2].

В области допризывной подготовки существует множество различных электронных образовательных ресурсов. Большинство из существующих ЭОР – это электронные учебники, веб-сайты и программные продукты. ЭОР позволяют рационализировать процесс обучения в учреждениях образования и дают возможность использовать компьютеры для получения новых знаний или усвоения пройденного материала [3].

Поставив перед собой цель – повысить эффективность процесса обучения, разнообразить формы и методы проводимых уроков, мы выявили необходимость в создании и использовании ЭОР на различных этапах урока по предмету «Допризывная подготовка» в школе. Опираясь на нее, мы разработали ЭОР, который позволяет ее реализовать. Заказчиком такого ресурса выступило Государственное учреждение образования «Средняя школа №17 г. Бобруйска».

Разработанный нами ЭОР предназначен для изучения предмета «Допризывная подготовка» юношами X-XI классов. Он включает в себя следующие блоки: «Регистрация», «Восстановление доступа», «Добавление теории», «Просмотр теории», «Добавление классов», «Создание тестов», «Тестирование», «Просмотр результатов тестирования», «Просмотр пользователей».

Пользователь (учащийся) может зарегистрироваться и ознакомиться с теоретическим материалом предложенных тем в блоке «Теория», пользуясь средствами навигации по изучаемому материалу, что делает процесс обучения более удобным. После изучения теории учащийся может проверить знания, перейдя к тестам по выбранной теме в блоке «Тестирование». После прохождения теста учащийся получает сведения о количестве правильных и неправильных ответов, а также отметку за пройденный тест в 10-балльной шкале.

Преподаватель может добавить либо отредактировать теоретическую информацию и тестовые задания, просмотреть результаты тестирования и зарегистрированных пользователей.

Права доступа работы в электронном образовательном ресурсе разделены: режим работы администратора (учителя) и пользователя (учащегося). В режиме администратора возможно обновлять, изменять и дополнять информацией все блоки, а также сменить данные авторизации: пароль и логин для входа в этот режим. В режиме пользователя возможно только просматривать информацию и осуществлять контроль знаний.

ЭОР может быть использован на любом этапе урока и в самостоятельной домашней работе учащихся. Таким образом, созданный ЭОР по предмету «Допризывная подготовка» позволит эффективно осуществить процесс обучения и контроль знаний юношей X-XI классов, а также сделает процесс обучения информативным, полезным и практически значимым для учащихся.

### Список использованных источников:

1. Внедрение модели формирования интеллектуальных и творческих способностей учащихся через школьное научное общество [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://alib.academy.edu.by/apo/fulltxt/57/met\\_rek.pdf](http://alib.academy.edu.by/apo/fulltxt/57/met_rek.pdf). – Дата доступа: 20.03.2020.
2. Применение ЭОР в учебном процессе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nsportal.ru/shkola/materialy-metodicheskikh-obedinenii/library/2019/05/13/primeneniye-eor-v-uchebnom-protsess>. – Дата доступа: 23.03.2020.
3. Классификация электронных образовательных ресурсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://infourok.ru/klassifikaciya-elektronnih-obrazovatelnih-resursov-2365898.html>. – Дата доступа: 24.03.2020.

## НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МАГИСТРАНТОВ: ФОРМИРОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ

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

Буцик Е.А.

Парафиянович Т.А. – к.п.н., доцент

В работе рассматривается проблема формирования универсальных компетенций магистрантов с учетом профилизации образовательной программы, которые должны быть компетентны не только в выполнении нормативно-технической, проектно-конструкторской, инновационной деятельности, но и способны осуществлять педагогическую деятельность. Одним из методов формирования универсальных компетенций выступает решение задач профессиональной деятельности, требующих интеграции знаний, умения научно аргументировать свою точку зрения, что развивает у магистрантов также и углубленные профессиональные компетенции, и социально-личностные качества.

Система образования сегодня не может существовать вне изменений, вызванных цифровой трансформацией общества. Современный подход к подготовке будущих магистров, и в целом к решению проблемы кадрового обеспечения инновационной экономики, подразумевает комплексное развитие человеческого капитала [1]. Главной задачей учреждения высшего образования является подготовка компетентного специалиста, обладающего высокой конкурентоспособностью на рынке труда. В соответствии с требованиями образовательного стандарта II ступени (магистратуры) ОСВО 1-39 80 01-2019 и типового учебного плана специальности 1-39 80 01 «Радиосистемы и радиотехнологии», в настоящее время, обновляется содержание высшего образования для подготовки магистрантов, призванных обладать соответствующей профессиональной компетентностью, «... позволяющей сочетать универсальные, углубленные профессиональные и специализированные компетенции» [2].

Универсальные компетенции магистра формируются в соответствии с требованиями к специалисту с углубленным высшим образованием и отражают его способность применять углубленные научно-теоретические, методологические знания и исследовательские умения, а также социально-личностные качества, соответствующие запросам государства и общества [2]. БГУИР ориентирован на выпуск специалистов технического профиля компетентных не только в нормативно-технической, проектно-конструкторской, организационно-управленческой, инновационной деятельности, но и способных осуществлять педагогическую деятельность в учреждениях образования, осваивать и внедрять эффективные образовательные информационно-коммуникационные технологии, педагогические инновации [3].

Рассмотрим подготовку обучающихся второй ступени высшего образования на примере специальности 1-39 80 01 «Радиосистемы и радиотехнологии» с присвоением степени магистр. Учебный план специальности включает в себя изучение учебной дисциплины «Психология и педагогика высшего образования», одной из задач которой является формирование универсальных компетенций, отражающих способность магистранта к педагогической деятельности. Педагогическая деятельность содержит следующие компетенции: преподавание дисциплин радиотехнического профиля; подготовка и проведение занятий с обучающимися; руководство их научно-исследовательской работой; разработка учебно-методического пособия [2].

Для подготовки магистранта к педагогической деятельности на практических занятиях по учебной дисциплине «Психология и педагогика высшего образования» рассматриваются блоки профессиональных ситуаций, творческие задания и решаются учебно-профессиональные задачи с различными контекстами. Анализ профессиональных ситуаций подразумевает специфическую форму имитационного моделирования с «... выстраиванием сюжетной канвы будущей профессиональной деятельности» [4]. Обсуждение строится на взаимодействии субъектов образовательного процесса, которое развивает творческие способности, аналитическое мышление, практические профессиональные навыки и поведение.

В качестве примера рассмотрим одну из профессиональных задач, которая включает в себя описание задачи и вопросы для обсуждения:

*«В современных учреждениях образования широко используется инновационная система смешанного обучения. Задача данного метода обучения: интеграция технологий интерактивного и дистанционного обучения с акцентом на самообучение. Принципы смешанного обучения включают: последовательность, наглядность, практическое применение, непрерывность, педагогическую поддержку. При этом для получения эффекта необходимо, чтобы обучающийся сначала сам поработал с материалом, затем получил теоретические знания от преподавателя и в последующем применил их на практике. Данный метод обучения направлен на активизацию самостоятельной работы обучающихся и практическую, проблемно-исследовательскую направленность образовательного процесса».*

Умение решать на современном уровне задачи профессиональной деятельности, интегрировать знания, аргументировать свою точку зрения формируется в процессе обсуждения

задачи в малых группах (4-5 человек). Обучающимся необходимо произвести сравнительный анализ традиционного и смешанного типов обучения по следующим критериям: цели, формы, методы, средства, результаты обучения; особенности деятельности обучающегося и педагога; использование электронных образовательных ресурсов. В результате анализа каждая малая группа выделяет достоинства и недостатки типов обучения в соответствии с критериями, на основе которых делает вывод об эффективности одного из типов обучения, и составляет краткий ответ защиты.

Перед тем как перейти к описанию условия задачи профессиональной деятельности обучающиеся в форме дискуссии обсуждают понятийный аппарат: «смешанное обучение», «традиционное обучение», «интерактивное обучение», «дистанционное обучение», «технология обучения». Затем осуществляется работа в малых группах по следующим вопросам:

а) определение особенностей деятельности обучающегося и педагога в данных типах обучения;

б) как используются электронные образовательные ресурсы в данных типах обучения.

В процессе решения профессиональной задачи появляется способность быстро устанавливать контакт, излагать мысли последовательно и ясно; оперативно отвечать на вопросы; а подкрепление конкретными примерами своей точки зрения в дискуссионном обсуждении способствует формированию универсальных компетенций таких как: инициативность в общении, самостоятельность действий, **коммуникативность**, уверенность в себе, оптимистичность.

Учебная дисциплина «Психология и педагогика высшего образования» в системе подготовки специалистов на второй ступени высшего образования играет особенно важную роль поскольку знания, умения и навыки полученные магистрантами при изучении названной дисциплины, обладают свойством универсальности и востребованы для решения не только педагогических задач, но и социально-профессиональных независимо от профиля специальности. Универсальные компетенции, как самые востребованные в современном обществе, успешно формируются у обучающихся в ходе освоения данной дисциплины – это способность учиться на протяжении всей жизни, обучать и стимулировать обучение других, сотрудничать в коллективе учебной группы или команде, проявлять лидерские качества, креативно мыслить, быть способным к продуктивному взаимодействию. Одним из требований к освоению данной учебной дисциплины является овладение магистрантами обобщенными психолого-педагогическими знаниями, умениями и навыками, которые лежат в основе представленных выше универсальных компетенций магистра и его способности осуществлять педагогическую деятельность в учреждениях образования.

Список использованных источников:

1. Парафиянович, Т. А. Дистанционные образовательные технологии в формировании универсальных компетенций будущего педагога-программиста / Парафиянович Т. А., Мурашкина З. Н. // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : материалы XI Международной научно-методической конференции, Минск, 12-13 декабря 2019 г. / редкол. : В. А. Прытков [и др.]. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 230-231.

2. Образовательный стандарт высшего образования ОСВО 1-39 80 01-2019. – Минск: МО РБ, 2019. – 19 с.

3. 1-39 80 01 «Радиосистемы и радиотехнологии»: типовой учебный план. Срок обучения 1 год 8 месяцев. № I 39-2-001 /пр-тип.

4. 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) / редкол.: Ю. Е. Кулешов [и др.]. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 112 – 116. – Режим доступа: <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/35219>.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ АГЕНТА ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Воронцов А.Н.

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

Давыдов И.Г. – к.т.н., доцент

Моделирование транспортных систем – эффективное средство анализа транспортных потоков. Для успешного моделирования необходимо создать агента, максимально приближенного к реальному объекту. Для системы автономных транспортных средств нужен транспортный агент, взаимодействующий с внешней средой посредством установленных датчиков и команд оператора. Тогда будет возможным моделировать поведение системы агентов с разными наборами датчиков в разных условиях среды, регистрировать количество сбоев в движении агентов, исследовать необходимые параметры датчиков необходимых для стабильной работы системы.

Среду низкоуровневого моделирования транспортных систем было решено создавать на платформе *AnyLogic 7*, приняв за основу агентный подход. Разработана общая структура среды моделирования транспортных систем.

Среда мелкомасштабного моделирования транспортных систем (ММТС) состоит из двух подсистем – конструктора моделей и исполняющего модуля. Разработчики моделей имеют возможность в визуальном режиме создавать модели и сохранять их в *XML*-файлы. Эксперименты проводятся с помощью исполняющего модуля, отображающего анимацию по ходу моделирования. В основе разработанной среды лежит алгоритм поведения агента – участника дорожного движения.

Создать объект *A* моделирующий поведение агента с параметрами *a*; (скорость, координаты, угол поворота и т.д.), вектор  $A(a_1, \dots, a_i)$ . Параметры этого вектора устанавливаются в зависимости от восприятия внешней среды набором датчиков (скорее это разные дальнометры, радиометки). То есть образ внешнего пространства влияет на параметры агента.

“Слепок среды” представим вектором  $E(e_1, \dots, e_n)$ , этот вектор может состоять из номеров узких секторов обзора, сигнала наличия препятствия на секторе, расстояния до препятствия. Этот вектор необходим для того чтобы матрица перехода  $f_{E \rightarrow A}$  (конечный автомат) к параметрам агента  $A(a_1, \dots, a_i)$  не изменялась при каждом изменении набора датчиков на агенте.

Этот слепок в свою очередь формируется датчиками  $D_k(d^k_1, d^k_2, \dots)$ , установленными на агенте. Параметры датчика  $d^k_p$  должны состоять из угла установки на агенте  $\varphi$ , из погрешности показаний, величине угла обзора  $\theta$ , дальности действия  $r$ , сигнала обнаружения препятствия и расстояния до этого препятствия.

В общем случае сектора, осматриваемые датчиками *D*, и сектора слепка среды *E* не должны совпадать, величина этих секторов – это предмет исследования в моделировании.

Следует учитывать погрешность датчиков расстояния и позиционирования, вносить в модель настройку порогов срабатывания вектора *E* на данные датчиков *D*. Также сектора датчиков могут перекрываться и также, вообще говоря, не должны занимать весь угол в 360°.

Здесь необходимо создать таблицу/функцию переходов  $f_{D \rightarrow E}$  от датчиков к вектору  $E(e_1, \dots, e_n)$ :

$$D_k(d^k_1, d^k_2, \dots, d^k_p) \times f_{D \rightarrow E} = E(e_1, \dots, e_n)$$

Для формирования вектора *E* можно разделить круг обзора на сектора с углом  $\eta$ . По углу установки  $\varphi$  и углу обзора  $\theta$  датчика находятся номера секторов *E*, за которые отвечает датчик. Данные по дальности до обнаруженных препятствий будут собираться в объект/массив *E*.

Так, добавляя к агенту разные датчики в разных конфигурациях, мы изменяем его видение среды и можем моделировать поведение агента в разных случаях.

Имея работающий объект “образа” среды, можно создавать конечный автомат для управления агентом. Начальные, конечные и некоторые важные точки маршрута могут указываться оператором на карте как *GPS*-координаты. Агент начинает движение от начальной точки, возникающие препятствия (другие агенты, обрывы, стены) регистрируются датчиками, происходит заполнение образа среды и происходит выбор действий агента:

- 1) остановка *act01* – если близкое препятствия по ходу движения
- 2) ускорение *act02* – при начале движения после остановки, например
- 3) замедление *act03* – при появлении препятствия в “большом радиусе” датчиков
- 4) постоянное движение *act04* – если свободный путь к контрольной точке
- 5) поворот *act05* – если препятствие не исчезло, то нужно объезжать.

## Список использованных источников:

1. Ahmed K. I. *Modeling Drivers' Acceleration and Lane Changing Behavior*, Massachusetts Institute of Technology, 1999.
2. Дехтярь М. И. *Введение в схемы, автоматы и алгоритмы*. 1998.
3. Roth, Charles H., Jr. *Fundamentals of Logic Design*.— Thomson-Engineering, 2004.

## ДВУХЭТАПНЫЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ ДЛЯ РЛС СО СКАНИРУЮЩЕЙ МНОГОКАНАЛЬНОЙ АНТЕННОЙ СИСТЕМОЙ

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

Ву Тхань Ха

Козлов С.В. – д.т.н., доцент

Приведен квазиоптимальный двухэтапный алгоритм обработки флуктуирующего отраженного сигнала (ОС) в радиолокационном обнаружителе-измерителе угловых координат в условиях внешних маскирующих помех и наличия мешающих отражений (МО) с неизвестными параметрами. Алгоритм основан на операциях пространственной компенсации помех (ПКП) в каждом периоде повторения, оценивании доплеровского сдвига частоты МО по сигналу адаптированного канала, его коррекции, когерентной компенсации (КК) в каждом приемном канале, повторной ПКП, обеления результатов обработки во временной области, оценивании средней мощности ОС с последующим построением и максимизацией логарифма функции отношения правдоподобия (ФОР). Приведены результаты моделирования предлагаемого алгоритма.

В настоящее время актуальными остаются вопросы обеспечения требуемой помехоустойчивости обзорных РЛС обнаружения воздушных целей в условиях активных помех. В качестве основного средства повышения помехоустойчивости выступает использование подсистем адаптивной ПКП на базе многоканальных приемных систем [1, 2]. Актуальным является синтез квазиоптимального адаптивного алгоритма оценивания угловых координат радиолокационных целей в измерителе со сканирующей многоканальной приемной системой с учетом флуктуаций ОС и КК МО.

Рассматривается обзорная двухкоординатная РЛС с механическим вращением антенной системы, включающей основную приемопередающую антенну и  $\ell = \overline{1, L}$  компенсационных антенн с диаграммами направленности  $\dot{F}_0(\alpha)$  и  $\dot{F}_\ell(\alpha)$ . ПКП реализуется в пределах каждого периода  $T_r$  повторения импульсов зондирующего сигнала. Цель, находящаяся на азимуте  $\alpha_{ц}$  и дальности  $r_{ц}$ , предварительно обнаружена и выполнена оценка время задержки  $\tau_z$  ОС. Азимутальные положения антенны РЛС в  $i = \overline{1, I}$  периодах повторения составляют  $\alpha_{ai} = \alpha_a^0 + (i-1)\Omega_a T_r$ , где  $\Omega_a$ ,  $\alpha_a^0$ ,  $\Delta\alpha_{0,5}$  - угловая скорость вращения, начальное угловое положение и ширина ГЛ ДН антенны РЛС в азимутальной плоскости по уровню 0,5 от максимальной мощности, при этом  $\alpha_a^0 \leq \alpha_{ц} - \Delta\alpha_{0,5}$ .

Для вектор-столбцов отсчетов сигналов на выходах основной и компенсационных антенн имеем

$$y_{i,q} = y_{сш,i,q} + y_{п,i,q} + y_{мо,i,q} + y_{с,i,q}, \quad (1)$$

где  $y_{сш,i,q}$ ,  $y_{п,i,q}$ ,  $y_{мо,i,q}$ ,  $y_{с,i,q}$  – векторы-столбцы отсчетов собственных шумов, внешних помех, МО и ОС;  $q = \overline{1, Q}$  - номер отсчета по времени задержки, причем положение ОС соответствует  $Q$ -му отсчету, а оставшиеся отсчеты, содержащие внутренний шум, помехи и МО, используются для адаптации.

При оценивании азимута радиолокационной цели при наличии МО дополнительная априорная неопределенность включает доплеровский сдвиг частоты  $F_{DP}$  и мощность МО.

Алгоритм обоснован для наиболее характерного случая, когда мощность внешних помех является подавляющей и точное оценивание доплеровского сдвига МО невозможно. Обработка включает два этапа (рис. 1), реализующих идею поочередной адаптивной настройки отдельных систем компенсации МО и внешних помех. Цель первого этапа – оценивание доплеровского сдвига МО и проведение КК МО в каждом приемном канале, цель второго этапа – компенсация внешних помех с когерентным и некогерентным накоплением ОС и оцениванием угловой координаты.

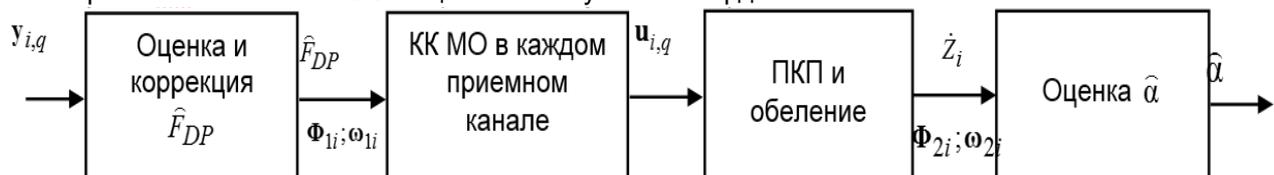


Рисунок 1- Структура квазиоптимального двухэтапного алгоритма

На первом этапе по  $q = \overline{1, Q-1}$  отсчетам выполняются операции

$$\hat{\Phi}_{1i} = \frac{1}{Q-1} \sum_{q=1}^{Q-1} y_{i,q} y_{i,q}^+; \omega_{1i} = \hat{\Phi}_{1i}^{-1} s(0); \dot{U}_{i,q} = \omega_{1i}^+ y_{i,q};$$

$$\Delta \hat{\varphi}_{DP} = \arg \left( \sum_{i=1}^{I-1} \sum_{q=1}^{Q-1} \frac{\dot{U}_{i,q} e^{-j \cdot \arg(\omega_{1i}^+ s(0))} U_{i+1,q}^* e^{j \cdot \arg(\omega_{1i+1}^+ s(0))}}{|\dot{U}_{i,q}| |\dot{U}_{i+1,q}|} \right); y_{i,q} = y_{i,q} e^{-j \Delta \varphi_{DP} i};$$

$u_{i,q} = \sum_{k=1}^K h_k y_{i-k+1,q}$ ,  $i = \overline{K, I}$ ; где  $h_k$  – весовые коэффициенты схемы череспериодной компенсации (ЧПК).

Оценивания корреляционных матриц (КМ)  $\hat{\Phi}_{1i}$ , вычисления векторов весовых коэффициентов  $\omega_{1i}$  приемных каналов, отсчетов  $\dot{U}_{i,q}$  адаптированного сигнала, оценивания междупериодного сдвига фазы  $\Delta \hat{\varphi}_{DP}$  МО и его компенсации и вычисления результатов КК МО в каждом приемном канале. На втором этапе обработки повторно оценивается КМ  $\hat{\Phi}_{2i}$ , компенсируются внешние помехи и проводится нормировка к оценке  $\hat{P}_{\text{ш+п}_i}$  мощности взвешенных внутренних шумов и остатков помех:

$$\hat{\Phi}_{2i} = \frac{1}{Q-1} \sum_{q=1}^{Q-1} u_{i,q} u_{i,q}^+; \omega_{2i} = \hat{\Phi}_{2i}^{-1} s(0); \hat{P}_{\text{ш+п}_i} = \omega_{2i}^+ \hat{\Phi}_{2i} \omega_{2i}; \dot{Z}_i = \omega_{2i}^+ u_{i,Q} / \sqrt{\hat{P}_{\text{ш+п}_i}}.$$

Для логарифма ФОП при реализации указанного подхода получено выражение вида

$$\Psi(\alpha) = \mathbf{z}^+ (\mathbf{E} - (\mathbf{E} + \hat{\sigma}_c^2(\alpha) \mathbf{R}(\alpha))^{-1}) \mathbf{z} - \ln |\mathbf{E} + \hat{\sigma}_c^2(\alpha) \mathbf{R}(\alpha)|, \quad (2)$$

где  $\mathbf{z} = (\dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dots, \dot{Z}_I)^T$ ;  $\mathbf{E}$  - единичная матрица;  $\hat{\sigma}_c^2(\alpha) = \sum_{i=1}^I (|\dot{Z}_i|^2 - \sigma_{\text{ш}}^2) |\dot{Z}_{\text{оп}_i}|^2 / \sum_{i=1}^I |\dot{Z}_{\text{оп}_i}|^4$  -

оценка средней мощности ОС на выходе изотропной приемной антенны при облучении цели максимумом ГЛ ДН передающей антенны;  $r = e^{-T_r/\tau_c}$ ,  $\tau_c$  - коэффициент и интервал времени междупериодной корреляции ОС;  $\dot{Z}_{\text{оп}_i}(\alpha) = \omega_{1i}^+ \sum_{k=1}^K h_k \dot{F}_0(\alpha_{a_{i+1-k}} - \alpha) s(\alpha_{a_{i+1-k}} - \alpha) e^{j 2\pi(i+1-k)(F_{DS} - F_{DP})T_r} / \sqrt{\hat{P}_{\text{ш+п}_i}}$ ;  $\mathbf{R}(\alpha)$  - нормированная корреляционная матрица отсчетов флуктуирующую полезного сигнала с учетом операции обеления с элементами  $R_{i,j}(\alpha) = r^{|i-j|} \dot{Z}_{\text{оп}_i} \dot{Z}_{\text{оп}_j}^*$ .

Максимально правдоподобные оценки азимута цели

$$\hat{\alpha} = \arg \max_{\alpha} \Psi(\alpha). \quad (3)$$

Работоспособность предлагаемого алгоритма подтверждена имитационным моделированием. На рис. 2 приведен вид ФОП для двух положений источника помех (п).

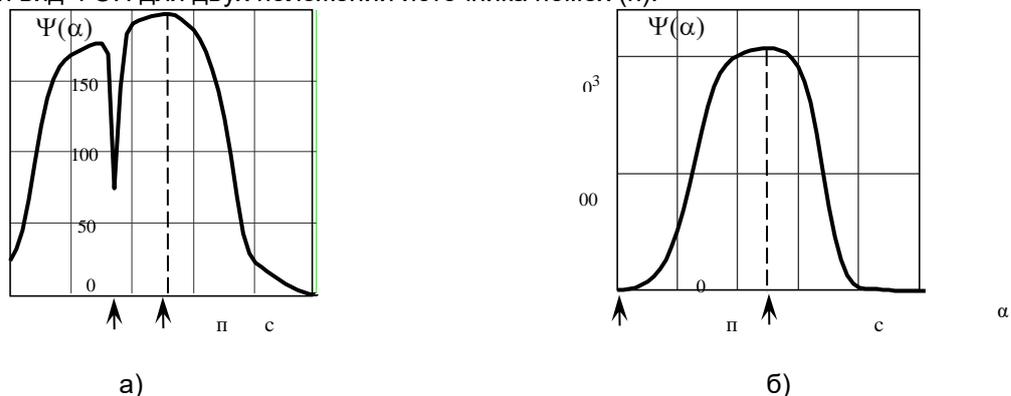


Рисунок 2. Вид логарифма ФОП при нормированном угловом отклонении помехи от сигнала  $-0,4$  (а) и  $1,25$  (б)

Как видно из рисунка, максимумы ФП весьма близки к истинному значению азимута цели, смещение ошибки пеленгации по множеству реализаций равно нулю.

#### Список использованных источников

1. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. – М.: Радио и связь, 1986.
2. Козлов С.В., Ву Тхань Ха. Оценивание угловых координат в радиолокационных станциях с подсистемами пространственной компенсации помех. Доклады БГУИР. 2019, № 4, с. 48-56. <https://doklady.bsuir.by/jour/article/view/1093/1094>.

# ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ КВАЗИОПТИМАЛЬНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ СО СКАНИРУЮЩЕЙ МНОГОКАНАЛЬНОЙ АНТЕННОЙ СИСТЕМОЙ

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

Ву Тхань Ха

Козлов С.В. – д.т.н., доцент

Получены аналитические выражения для среднего квадратического отклонения (СКО) ошибок оценивания угловых координат цели для квазиоптимальных алгоритмов обработки флуктуирующих сигналов в радиолокационных измерителях со сканирующей многоканальной приемной системой в условиях внешних помех. Показана сходимость аналитических оценок с вычислением информационной матрицы Фишера с результатами имитационного моделирования.

В [1, 2] для модельного случая нефлуктуирующего и реальных случаев дружно- и быстрофлуктуирующего отраженного сигнала (ОС) при отсутствии и наличии мешающих отражений (МО) обоснованы модификации квазиоптимальных алгоритмов оценивания пеленга цели в измерителе угловых координат обзорной радиолокационной станции (РЛС) с подсистемой пространственной компенсации помех (ПКП) на базе многоканальной антенной системы. Статистические характеристики пеленгации ОС для указанных алгоритмов не исследовались.

Для алгоритмов [1,2] оцениваемыми параметрами является азимут  $\hat{\alpha}$  и средняя мощность  $\sigma_c^2$  ОС на выходе изотропной приемной антенны при облучении цели максимумом главного лепестка ДН передающей антенны. Коэффициент  $r$  междупериодной корреляции ОС полагается известным с достаточной точностью. Корреляционная матрица  $\mathbf{K}$  ошибок оценки параметров сигнала определяется выражением вида

$$\mathbf{K} = \begin{pmatrix} D_\alpha & K_{\alpha P} \\ K_{\alpha P} & D_{\sigma_c^2} \end{pmatrix} = -\mathbf{I}_\Phi, \quad (1)$$

где  $D_\alpha$ ,  $D_{\sigma_c^2}$ ,  $K_{\alpha P}$  - дисперсии и корреляционный момент связи ошибок оценивания азимута

и мощности ОС;  $\mathbf{I}_\Phi = \begin{pmatrix} A & B \\ B & C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \overline{\frac{\partial^2 \Psi(\mathbf{z}/\alpha, \sigma_c^2)}{\partial \alpha^2}} & \overline{\frac{\partial^2 \Psi(\mathbf{z}/\alpha, \sigma_c^2)}{\partial \alpha \partial \sigma_c^2}} \\ \overline{\frac{\partial^2 \Psi(\mathbf{z}/\alpha, \sigma_c^2)}{\partial \alpha \partial \sigma_c^2}} & \overline{\frac{\partial^2 \Psi(\mathbf{z}/\alpha, \sigma_c^2)}{(\partial \sigma_c^2)^2}} \end{pmatrix}$  - матрица Фишера;  $\Psi(\mathbf{z}/\alpha, \sigma_c^2)$  -

логарифм функции отношения правдоподобия (ФОР); верхняя черта означает операцию статистического усреднения по ансамблю реализаций векторов  $\mathbf{z} = (\dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dots, \dot{Z}_I)^T$  отсчетов обеленной по пространству и времени принимаемой реализации;  $I$  - число отсчетов (импульсов в пачке) на интервале наблюдения [2].

Для дружно флуктуирующего сигнала [2]

$$\Psi_1(\mathbf{z}/\alpha, \sigma_c^2) = \mathbf{z}^+ (\mathbf{E} - (\mathbf{E} + \sigma_c^2 \mathbf{R}_H(\alpha))^{-1}) \mathbf{z} - \ln |\mathbf{E} + \sigma_c^2 \mathbf{R}_H(\alpha)|, \quad (2)$$

где  $\mathbf{R}_H(\alpha)$  - КМ отсчетов ОС единичной мощности с учетом операции обеления с элементами,

$R_{Hk,m}(\alpha) = r^{|k-m|} \dot{Z}_{\text{оп}k}(\alpha) Z_{\text{оп}m}^*(\alpha)$ ;  $\dot{Z}_{\text{оп}k}(\alpha) = \dot{F}_0(\alpha_{ak} - \alpha) e^{j2\pi F_{DS} T_r k} \boldsymbol{\omega}_k^+ \mathbf{s}(\alpha_{ak} - \alpha) / \sqrt{\hat{P}_{\text{ш}+\text{п}k}}$  - отсчеты ожидаемого (опорного) сигнала;  $\alpha_{ak}$  - азимут антенны РЛС при приеме  $k$ -го импульса;  $\dot{F}_0(\alpha_{ak} - \alpha)$ ,  $F_{DS}$ ,  $T_r$ ,  $\boldsymbol{\omega}_k^+$ ,  $\mathbf{s}(\alpha_{ak} - \alpha)$ ,  $\hat{P}_{\text{ш}+\text{п}k} = \boldsymbol{\Phi}_k^+ \boldsymbol{\Phi}_k \boldsymbol{\omega}_k$  - диаграмма направленности передающей антенны; доплеровский сдвиг частоты ОС; период повторения импульсов РЛС; вектор весовых коэффициентов приемных каналов, вектор-столбец диаграмм направленности приемных каналов и оценка мощности взвешенных шумов и некомпенсированных остатков помех после ПКП, соответственно;  $\boldsymbol{\Phi}_k$  - КМ помех на выходах приемных каналов; «+» - знак эрмитового сопряжения.

ФОР (2) приводит к максимально-правдоподобной (МП) оценке вида

$$(\hat{\alpha}, \hat{\sigma}_c^2) = \arg \max_{\alpha, \sigma_c^2} \Psi_1(\mathbf{z}/\alpha, \sigma_c^2), \quad (3)$$

для которой КМ ошибок оценивания параметров соответствует (1). Заменяв в ФОР (1) значение  $\sigma_c^2$  на его оценку по методу наименьших квадратов,  $\hat{\sigma}_c^2(\alpha) = \sum_{i=1}^I (|\dot{Z}_i|^2 - \sigma_{\text{ш}}^2) |\dot{Z}_{\text{оп}i}(\alpha)|^2 / \sum_{i=1}^I |\dot{Z}_{\text{оп}i}(\alpha)|^4$ , получим упрощенную модификацию решающей статистики вида

$$\Psi_2(\mathbf{z}/\alpha) = \mathbf{z}^+ (\mathbf{E} - (\mathbf{E} + \hat{\sigma}_c^2(\alpha) \mathbf{R}_H(\alpha))^{-1}) \mathbf{z} - \ln |\mathbf{E} + \hat{\sigma}_c^2(\alpha) \mathbf{R}_H(\alpha)|, \quad (4)$$

с оценкой азимута

$$\hat{\alpha} = \arg \max_{\alpha} \Psi_2(\mathbf{z}/\alpha). \quad (5)$$

Для МП оценки (3) может быть получена матрица Фишера вида (1). Для статистики (4) и оценки (5) нижняя граница Рао-Крамера для дисперсия оценивания азимута

$$\sigma_{\alpha}^2 = - \left( \frac{\partial^2 \Psi_2(\mathbf{z}/\alpha)}{\partial \alpha^2} \Big|_{\alpha=\alpha_c} \right)^{-1} = - \left( \frac{\partial^2 \overline{\Psi_2(\alpha)}}{\partial \alpha^2} \Big|_{\alpha=\alpha_c} \right)^{-1}, \quad (6)$$

где  $\overline{\Psi_2(\alpha)} = \overline{\Psi_2(\mathbf{z}/\alpha)}$  - средняя по ансамблю реализацией вектора  $\mathbf{z}$  решающая статистика (4).

Получим выражения для КМ ошибок оценок МП. Обозначив в (2)  $\mathbf{H} = (\mathbf{E} + \sigma_c^2 \mathbf{R}_H(\alpha))^{-1}$ ,  $\mathbf{D} = \ln |\mathbf{E} + \sigma_c^2 \mathbf{R}_H(\alpha)|$ ; где  $\mathbf{R}_H(\alpha) = \mathbf{b}(\alpha) \mathbf{b}^+(\alpha) \otimes \mathbf{R}_r$ ;  $\mathbf{b}(\alpha) = (\dot{Z}_{\text{оп}1}(\alpha), \dots, \dot{Z}_{\text{оп}I}(\alpha))^T$ ;  $\mathbf{R}_r$  - матрица, оставленная из междупериодных коэффициентов корреляции ОС с элементами  $R_{r_{k,m}} = r^{|k-m|}$ ;  $\otimes$  - операция поэлементного перемножения матриц и используя правила матричного дифференцирования, запишем

$$A = -(\mathbf{z}^+ \mathbf{H}_{\alpha}'' \mathbf{z} + \mathbf{D}_{\alpha}'') = -\sum_i \sum_j H_{\alpha_{ij}}'' Q_{i,j} - \sigma_c^2 \text{tr} \left( \mathbf{H}_{\alpha}' \frac{\partial \mathbf{R}_H(\alpha)}{\partial \alpha} + \mathbf{H} \frac{\partial^2 \mathbf{R}_H(\alpha)}{\partial \alpha^2} \right);$$

$$B = -\sum_i \sum_j H_{\alpha_{ij}}'' Q_{i,j} - \left[ \text{tr} \left( \mathbf{H} \frac{\partial \mathbf{R}_H(\alpha)}{\partial \alpha} \right) + \sigma_c^2 \text{tr} \left( \mathbf{H}'_{\sigma_c^2} \frac{\partial \mathbf{R}_H(\alpha)}{\partial \alpha} \right) \right]; \quad C = -\sum_i \sum_j H_{\alpha_{ij}}'' Q_{i,j} - \text{tr} \left( \mathbf{H}'_{\sigma_c^2} \mathbf{R}_H(\alpha) \right);$$

где  $\overline{\mathbf{z}^+ \mathbf{H}_{\alpha}'' \mathbf{z}} = \sum_i \sum_j H_{\alpha_{ij}}'' \overline{Z_i Z_j^*} = \sum_i \sum_j H_{\alpha_{ij}}'' Q_{i,j}$ ;  $Q_{i,j} = \begin{cases} 1 + \sigma_c^2 b_i(\alpha) b_j^*(\alpha), & i = j; \\ r^{|i-j|} \sigma_c^2 b_i(\alpha) b_j^*(\alpha), & i \neq j. \end{cases}$

Обращая матрицу Фишера и беря результат с обратным знаком, получим:

$$-\mathbf{I}_{\Phi}^{-1} = \frac{1}{B^2 - AC} \begin{pmatrix} C & -B \\ -B & A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_{\alpha}^2 & r_{\alpha P} \sigma_{\alpha} \sigma_P \\ r_{\alpha P} \sigma_{\alpha} \sigma_P & \sigma_P^2 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Дисперсии оценивания азимута, мощности сигнала и коэффициент корреляции оценок:

$$\sigma_{\alpha}^2 = \frac{C}{B^2 - AC}; \quad \sigma_P^2 = \frac{A}{B^2 - AC}; \quad r_{\alpha P} = -\frac{B}{\sqrt{AC}}. \quad (8)$$

В результате прямого имитационного моделирования оптимального алгоритма (3) и квазиоптимального (5) и расчета среднеквадратического отклонения (СКО) оценок азимута согласно (8) установлено, что выборочные СКО для алгоритма (3) совпадают с (8). Выборочные СКО для квазиоптимального алгоритма (5) больше расчетных (8) в среднем на 22%. Таким образом квазиоптимальный алгоритм (5) практически эквивалентен алгоритму максимального правдоподобия (3). Для оценки точности оптимального и квазиоптимального (с учетом поправочного коэффициента) алгоритма могут быть использованы выражения (6)-(8).

#### Список использованных источников

1. Козлов С.В., Ву Тхань Ха. Оценивание угловых координат в радиолокационных станциях с подсистемами пространственной компенсации помех. Доклады БГУИР. 2019, № 4, с. 48-56. <https://doklady.bsuir.by/jour/article/view/1093/1094>.
2. Ву Тхань Ха. Двухэтапный алгоритм оценивания угловых координат для РЛС со сканирующей многоканальной антенной системой. В настоящем сборнике.

## ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ДОСТУПА НА БАЗЕ SRD ТЕХНОЛОГИЙ

Гадалов М.С.

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

Козел В.М. – канд. тех. наук

Целью работы является разработка программного обеспечения с использованием SRD технологий, которое поможет организовать контроль доступа на предприятии любого масштаба. В работе были произведены исследования существующие решения, а также выявлены их преимущества и недостатки. Были рассмотрены различные реализации технологий и стандартов SRD. Также подробно описана архитектура разрабатываемой системы и его её функции.

Сегодня автоматизированный контроль доступа на предприятии является неотъемлемой частью рабочего процесса. Система позволяет повысить производительность предприятия за счёт поддержки дисциплины и отчетности по каждому сотруднику и компании в целом, а также минимизировать утечку информации или технологий, за счёт жесткого разграничения доступа между сотрудниками. Однако готовые решения стоят значительных денежных ресурсов и крайне сложны в эксплуатации, а интеграция с другими смежными системами (такими как охранный, пожарная система) иногда и вовсе является невозможной.

Исторически контроль доступа на предприятии выполнял человек, как правило – отдел охраны, и весь контроль фиксировался сугубо в бумажном виде. Такой метод помогал защитить предприятие от несанкционированного доступа и поддерживать дисциплину в компании на довольно неплохом уровне. С развитием информационных технологий, в частности short range devices, были разработаны технологии и стандарты, позволяющие автоматизировать контроль доступа к ресурсам предприятия и повысить уровень безопасности. К сожалению, не все предприятия в Республике Беларусь оснащены автоматизированными системами контроля доступа, в первую очередь, из-за дороговизны готовых решений.

Цель данной работы заключается в разработке программного обеспечения, которое поможет небольшим и крупным предприятиям легко перейти на систему контроля доступа. А простое и хорошо спроектированное API позволит без труда интегрировать любую стороннюю систему.

В качестве карт доступа используются RFID (radio frequency identification) карты. Сервер обработки данных написан на языке Java, что позволяет поставить его на любую операционную систему. В качестве базы данных используется бесплатная SQL (structured query language) база данных – PostgreSQL.

Основные функции, которые предоставляет система:

1. Регистрация карточки(пользователя) в системе.
2. Блокирование/удаление карточки(пользователя) из система.
3. Назначение доступа по зонам.
4. Генерация отчета по всем сотрудникам.
5. Генерация отчета по определенным сотрудникам.
6. Генерация извещения при несанкционированном доступе.

Пользовательский интерфейс взаимодействует с сервером по протоколу HTTPS. Таким образом, весь программный продукт может быть помещен в облачное хранилище, что избавит компанию от покупки и содержания собственных серверных блоков.

В итоге мы получаем готовый к использованию продукт для любого предприятия, который удовлетворяет стандартным требованиям. Из-за простого API можно произвести интеграцию с любой системой предприятия.

## СИНХРОНИЗАЦИЯ ДАННЫХ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ С ДАННЫМИ ВЕБСАЙТА

Герад А.С., Медведева М.В.

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

Сацук С.М. – к.т.н, доцент

Рассматривается подход синхронизации данных из мобильного приложения с данными веб-сайта. Представлен вариант подключения мобильного Android приложения к базе данных путем использования Firebase + Big Query для создания соединения.

В повседневной жизни интернет технологии уже стали неотъемлемой частью. Они развиваются с каждым днем все больше, охватывая разные её стороны: социальные сети, приложения, календари, напоминания, журналы контроля, веб-сайты и т.п. Раньше пользователи могли работать с Интернет-ресурсами только через персональные компьютеры или ноутбуки, но с развитием смартфонов и планшетов все необходимое остается под рукой круглые сутки.

При использовании сети Интернет любой пользователь может посещать разнообразные сайты и по желанию регистрироваться там. Ключевым показателем современного веб-сайта является возможность поддержки его мобильной версией или приложением. Но из этого вытекает вопрос, как синхронизировать данные веб-сайта и мобильного приложения. Большинство веб-сайтов написаны на языке PHP и работают с базой данных MySQL, а мобильное приложение может быть разработано на языке Java через среду разработки AndroidStudio. И для того чтобы синхронизировать данные веб-сайта с мобильным приложением можно добавить готовый код SDK напрямую в код приложения для отслеживания и последующей отправки в Big Query для синхронизации с данными вебсайта.

Решение задачи. Все чаще возникает ситуация, когда для разработанного веб-сайта нужно создать мобильное приложение. В основном мобильные приложения, синхронизированные с веб-сайтами, нуждаются в авторизации пользователей и минимальном, но достаточном количестве данных для работы, так как характеристики смартфонов ниже, чем у персональных компьютеров или ноутбуков.

Для этого разработчику необходимо продумать функциональную часть приложения, его интерфейс и способ получения данных из базы данных. Рассмотрим способ подключения базы данных Big Query через Firebase для приложений

BigQuery – это инструмент, обеспечивающий высокую скорость обработки запросов в больших наборах данных.

Можно экспортировать все указанные вами данные и необработанные события из Google Analytics для Firebase в BigQuery, а затем обработать их с помощью синтаксиса, схожего с SQL. Кроме того, он позволяет экспортировать данные в стороннее хранилище либо, наоборот, импортировать сведения из других источников, а затем объединить их с информацией о событиях из Analytics.

Данные Google Аналитики и прогнозирования, а также функций Crashlytics, Cloud Messaging и Performance Monitoring можно экспортировать в тестовую среду BigQuery бесплатно. Учтите, что при работе с тестовой средой действуют определенные ограничения.

Интеграция с тестовой средой BigQuery позволяет получать:

- данные из приложения Google Аналитики, а также ресурсов типа "Приложение и сайт";
- данные из Google Аналитики для Firebase;
- сведения из Crashlytics о критических и некритических сбоях, а также данные трассировки стека;
- исходные данные прогнозирования;
- подробные данные Cloud Messaging;
- детальные сведения о каждом зарегистрированном событии отслеживания эффективности.

При экспорте в BigQuery вы сохраняете контроль над своими данными и можете настраивать доступ к ним.

Чтобы подключить Firebase к Big Query, необходимо первым делом добавить Firebase SDK в мобильное приложение. В последних версиях Android Studio есть встроенная поддержка Firebase Analytics. Это означает, что можно добавить Firebase Analytics в свой проект, не покидая Android Studio.

После того, как вы настроили Firebase Analytics для своего приложения, вам не нужно писать какой-либо дополнительный код, если вас устраивают только автоматически созданные события аналитики, такие как пользователь, открывающий ваше приложение в первый раз, использование приложения дольше чем 10 секунд, совершение покупки в приложении или удаление приложения.

Таким образом, вы можете запустить приложение сейчас - на эмуляторе или на реальном устройстве - и в течение следующих 24 часов вы сможете увидеть журналы аналитики в консоли Firebase.

Для более детального анализа поведения пользователей, можно создавать собственные события аналитики вручную, используя метод `logEvent()` класса `FirebaseAnalytics`. Метод ожидает два параметра: строку, определяющую имя настраиваемого события, и `Bundle`, содержащий сведения о событии в виде пар ключ-значение.

Например, если необходимо сгенерировать событие с именем `my_custom_event` каждый раз, когда пользователь нажимает на определенную кнопку, нужно добавить следующий код, зависящий от языка, используемого в приложении, в обработчик кликов кнопки:

```
// Create an instance of FirebaseAnalytics
FirebaseAnalytics fa = FirebaseAnalytics.getInstance(this);
// Create a Bundle containing information about
// the analytics event
Bundle eventDetails = new Bundle();
eventDetails.putString("my_message", "Clicked that special button");
// Log the event
fa.logEvent("my_custom_event", eventDetails);
```

По большей части пользовательские события неотличимы от автоматически собранных событий в консоли Firebase.

Далее, когда все данные собраны и данные из мобильного приложения и вебсайта поступают в базу данных Big Query, можно реализовывать и строить отчеты на языке SQL в Big Query, что позволяет связывать пользователей мобильного приложения и вебсайта для последующего анализа и совершенствования всех систем.

Заключение. Платформа Firebase устраняет необходимость в создании внутреннего сервера и позволяет сосредоточиться на создании лучших приложений, а при подключении Big Query к Firebase можно синхронизировать данные вебсайта и мобильного приложения, что позволяет отслеживать поведение пользователя независимо от используемого им устройства.

#### **Список использованных источников**

1. Тутсплюс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://code.tutsplus.com/ru/tutorials/get-started-with-firebase-for-android--cms-27248>. – Дата доступа: 14.04.2020.
2. Google Support [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://support.google.com/firebase/answer/7030014?hl=ru>. – Дата доступа: 4.04.2020.
3. NetPeak [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://netpeak.net/ru/blog/nastraivaem-analitiku-mobilnyh-prilozheniy-s-pomoshchyu-firebase-analytics/>. – Дата доступа: 4.04.2020.
4. Firebase Support [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://firebase.google.com/support>. – Дата доступа: 4.04.2020.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ФОРМИРОВАНИЯ КАРТЫ МЕСТНЫХ ПРЕДМЕТОВ РЛС МП

Глебик Д.В.

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

Гринкевич А.В. – к.т.н., доцент

**Аннотация** — улучшение качества работы устройства компенсации местных предметов при работе по объемнораспределенным отражателям, которые движутся с малой скоростью.

Как известно КМП формирует адекватную оценку только после восьми обзоров РЛС. Если источник помеховых отражений переходит из одного элемента разрешения в следующий, необходимо время восьми обзоров для формирования порога выделения полезных сигналов [1]. Это негативно сказывается на качестве и темпе выдачи радиолокационной информации в современных динамичных боевых действиях.

Для решения этой задачи предложено следующее: в устройстве компенсации местных предметов параллельно карте помех (ЗУ) подключить аналогичную карту, представленную на рисунке 1, которая будет сдвинута на величину половины элемента разрешения:

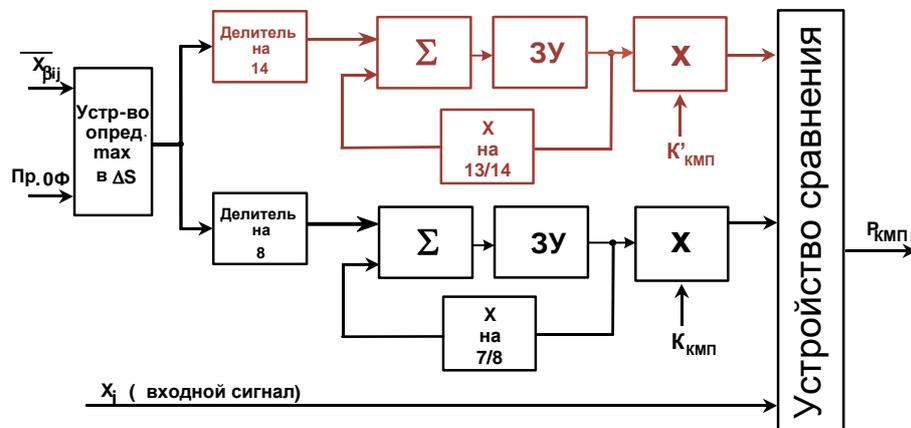


Рисунок 1 – Структурная схема усовершенствованного устройства КМП

После усреднения, приходящий с нулевого доплеровского фильтра, сигнал будет записываться в соответствующую ячейку основной карты помех и параллельно в четыре ячейки памяти дополнительной, с которыми она пересекается. Это позволит получить в каждой ячейке памяти дополнительной карты усредненное значение сигнала как минимум от двух ячеек основной КМП.

Но при использовании совместного включения 2-х карт местных предметов эта задача упрощается, так как импульс превышения появится на входе схемы, если будет превышен порог в элементе основной карты и порог дополнительной карты [2], полученный путем усреднения значения в 4-х ячейках. Это позволяет сформировать адекватный порог обнаружения в любом элементе разрешения, не смотря на движение источника помех (облака), т.е. уменьшить количество ложных тревог. Это поясняет следующее решающее правило:

$$A_1 = \begin{cases} 1, & K_{\Pi} * \bar{X}_{\text{КМП}1} \leq x \\ & K_{\Pi} * \bar{X}_{\text{КМП}2} \\ 0, & K_{\Pi} * \bar{X}_{\text{КМП}1} > x \\ & K_{\Pi} * \bar{X}_{\text{КМП}2} \end{cases} \quad (1)$$

где  $K_{\Pi}$  и  $\bar{X}_{\text{КМП}1}$  – порог КМП сформированный на данном обзоре,  $K_{\Pi}$  и  $\bar{X}_{\text{КМП}2}$  – порог модернизированной

КМП сформированный на данном обзоре,  $x$  – значение сигнала на данном дискрете.

**Список использованных источников:**

6. Пленкин В.Я., «Цифровые устройства селекции движущихся целей» - М.: Сайнс – Пресс, 2013, 81 с.
7. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. «Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех» - М.: Радио и связь, 1981, 416 с.

# АЛГОРИТМ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ФОРМИРОВАНИЯ КАРТЫ МЕСТНЫХ ПРЕДМЕТОВ РЛС МП

Глебик Д.В.

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

Гринкевич А.В. – к.т.н., доцент

**Аннотация** — предложен алгоритм работы устройства формирования карты местных предметов РЛС МП. Приведены оценки точности предлагаемого алгоритма.

Принцип построения устройства формирования карты местных предметов основан на выработке порога, уровень которого определяется интенсивностью отражений от местных предметов, и сравнении с ним входных сигналов [1]. Сигналы, отраженные от местных предметов при любых частотах повторения  $T_{\Pi}$  преимущественно накапливаются в нулевых, первых и седьмых доплеровских фильтрах.

Для записи сигналов (кодов амплитуд) вся зона обзора РЛС в устройстве КМП разбивается на дискреты:

$$\Delta S = \Delta D * \Delta \beta \quad (1)$$

где  $\Delta D$  и  $\Delta \beta$  – дискреты КМП по дальности и азимуту соответственно.

При обработке сигналов, накопленных нулевым фильтром, в устройстве КМП в каждом дискрете  $\Delta S_i$  фиксируется путем последовательного анализа максимальное значение оценки помехового сигнала  $\Delta X_{\beta i}$ , которое приписывается всему дискрету  $\Delta S_i$ .

Полученные в каждом дискрете КМП значения оценок интенсивности помехи подвергаются экспоненциальному усреднению (сглаживанию). Сглаженное значение оценки  $X_{\text{КМП}}$  после  $j$ -го обзора вычисляется по формуле:

$$\bar{X}_{\text{КМП}j} = \frac{1}{8} * \bar{X}_{\text{КМП}ij} + \frac{7}{8} * \bar{X}_{\text{КМП}ij-1} \quad (2)$$

Оно представляет собой взвешенную сумму оценки, полученной в  $j$ -ом цикле обзора  $X_{\beta ij_{\text{макс}}}$  и оценки, полученной в результате усреднения в предыдущем  $j - 1$  цикле обзора  $X_{\text{КМП}ij-1}$ , с коэффициентами сглаживания  $1/8$  и  $7/8$  соответственно (рисунок 1):

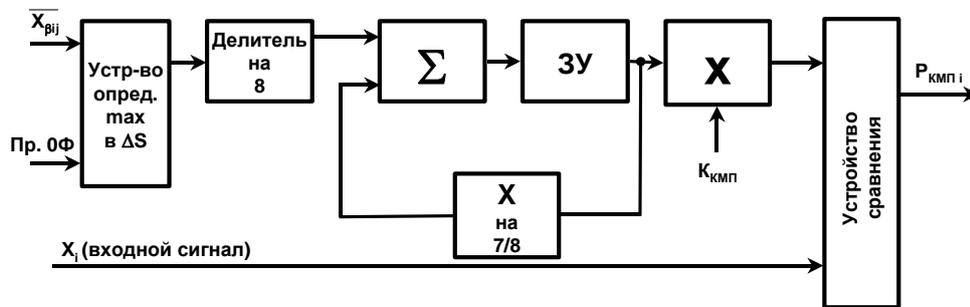


Рисунок 1 – Структурная схема устройства компенсации местных предметов

Таким образом, в процессе усреднения за несколько (восемь) обзоров для каждого дискрета КМП  $S_{\text{КМП}i}$  формируется адекватная оценка уровня сигналов, отраженных от подстилающей поверхности (местных предметов).

После умножения на постоянный коэффициент  $K_{\text{КМП}}$ , эти оценки используются в качестве порога обнаружения устройства КМП, при обработке сигналов нулевого доплеровского фильтра и с коэффициентом  $0,5$ , при обработке сигналов смежных с нулевым (первого и седьмого) фильтров (в которых также достаточно эффективно накапливаются сигналы, отраженные от местных предметов). Сигналы, отраженные от движущихся воздушных объектов (даже имеющих нулевую радиальную скорость), в ЗУ устройства КМП накапливаться не будут, т.к. за несколько циклов обзора они "выходят" за пределы анализируемой элементарной площадки  $\Delta S_i$ .

#### Список использованных источников:

1. Пленкин В.Я., «Цифровые устройства селекции движущихся целей» - М.: Сайнс – Пресс, 2013, 81 с.
2. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. «Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех» - М.: Радио и связь, 1981, 416 с.

# ПОСТРОЕНИЕ УСТРОЙСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ СРЕДСТВА РАДИОМОНИТОРИНГА НА БАЗЕ МЕАНДР-ФИЛЬТРОВ С СУБДИСКРЕТИЗАЦИЕЙ СИГНАЛОВ

Глинка П.А.

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

Козлов С.В. – д.т.н., доцент

Приведен способ построения устройства на базе меандр-фильтров средств радиомониторинга с использованием эффекта субдискретизации, с учетом которого частотная характеристика в каждом канале обработки, образованном прореживанием цифрового сигнала на входе, периодически повторяется. Обоснована структура устройства определения частоты и требования к его параметрам.

К подсистемам определения частоты средств радиомониторинга предъявляются требования высокоточного определения центральной частоты и ширины спектра сигналов с априори неизвестными характеристиками в широкой полосе частот при минимальном времени измерения («мгновенное» измерение частоты) [1].

При субдискретизации спектр сигнала из второй и последующих зон Найквиста переносится (сжимается) в основную полосу частот, где может быть подвергнут частотной фильтрации [2]. Зоны Найквиста чередуются с частотой дискретизации, поэтому периодическое повторения частотной характеристики может быть использовано для построения меандр-фильтров подсистемы определения частоты средств радиомониторинга.

Устройство (рисунок 1) определения центральной частоты узкополосного сигнала в заданной полосе частот содержит энергетический обнаружитель сигнала, каналы обработки и декодер частоты. Каждый канал обработки включает устройство прореживания в раз, ФНЧ с нормированной частотой среза и энергетический обнаружитель, осуществляющий суммирование квадратов отсчетов сигнала и сравнение с порогом. Выходные сигналы обнаружителей представляют собой двоичный код полосы частот, в котором находится спектр узкополосного сигнала. По указанному коду в декодере определяется истинное значение центральной частоты спектра сигнала.

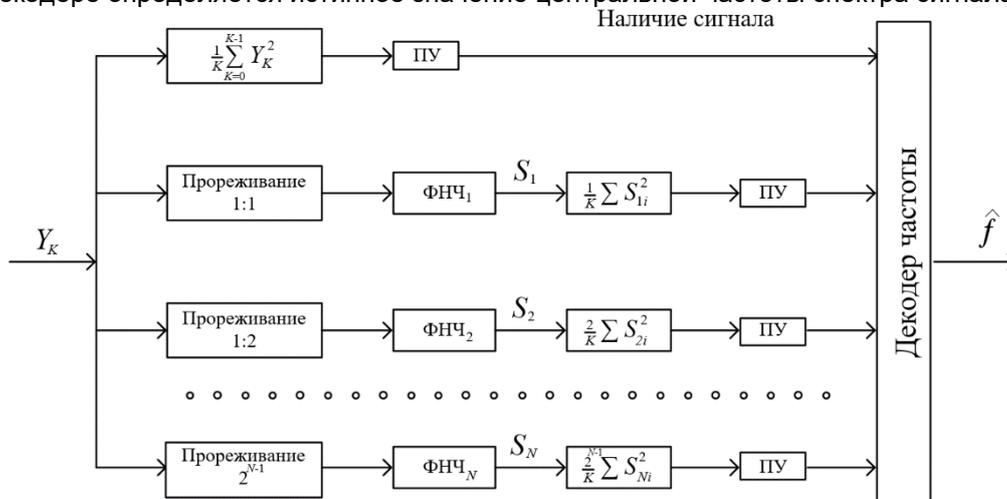


Рисунок 1. Устройство определения частоты на базе цифровых меандр-фильтров с субдискретизацией

Рациональное число каналов устройства оценивается из соотношения

$$N = \left\lceil \log_2 \frac{f_{\max}}{\Delta f_0} \right\rceil, \quad (1)$$

где  $\lceil \bullet \rceil$  - целая сверху часть числа.

Так, например, при  $F_d = 500$  МГц,  $f_{\max} = F_d / 2 = 250$  МГц и  $\Delta f_0 = 1$  МГц потребуется  $N = 8$  каналов обработки. Зависимость формируемого кода  $q$  от истинного значения частоты  $f$  является нелинейной. Пример указанной зависимости для  $N = 6$  приведен на рисунке 3.

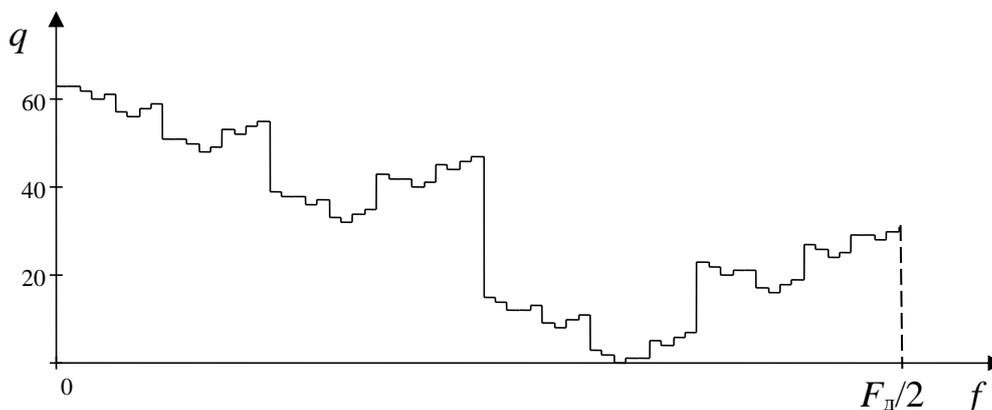


Рисунок 2. Зависимость формируемого кода от значения центральной частоты спектра

В качестве ФНЧ в каналах с учетом возможности попадания сигнала на стык амплитудно-частотных характеристик фильтра [5] целесообразно использовать фильтры с максимальным спадом АЧХ (Чебышева, Кауэра). Порядок фильтра определяется требованиями достижения заданной вероятности правильного определения центральной частоты с учетом вероятности попадания сигнала на стык частотных характеристик фильтров и ограничений по технической реализуемости.

Отметим, что введение в устройство второй ветви, структурно идентичной первой, но содержащей вместо ФНЧ фильтры высоких частот (ФВЧ), позволит на основе совместного анализа выходных сигналов обнаружителей в каждом канале определять факт наличия в принимаемой реализации более чем одного сигнала, а также, в некоторых случаях, грубо определять ширину спектра сигнала.

Приведённый способ и устройство определения центральной частоты на основе меандр-фильтров при субдискретизации сигналов являются простыми в реализации и могут быть использованы в подсистемах определения частоты средств радиомониторинга.

Список использованных источников

1. Глинка П.А. Способ построения меандр-фильтров подсистем определения частоты с использованием субдискретизации сигналов // Журнал РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА, УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» 2019.
2. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы и средства / под ред. А.М. Рембовского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. 492 с.
3. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов / Под ред. Уолта Кестера. – М.: Техносфера. 2010. 328 с.

## БЕСПРОВОДНАЯ СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФИИ

Горчаков В.Н.

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

Давыдов И.Г. – к.т.н., доцент

В работе рассматривается реализация беспроводной системы сбора биометрических данных на основе микроконтроллера ESP32.

Среди наиболее доступных методов исследования состояния сердечно-сосудистой системы выделяют фотоплетизмографию.

Фотоплетизмография – метод исследования периферической гемодинамики, основанный на изучении поглощения света, проходящего через исследуемый участок ткани с пульсирующей кровью.

Исследуемый участок ткани просвечивается инфракрасным светом, который после рассеивания или отражения, в зависимости от положения оптопары, попадает на фотопреобразователь. Интенсивность света, отраженного или рассеянного исследуемым участком ткани (органа), определяется количеством содержащейся в нем крови.

Фотоплетизмографический сигнал представляет собой изменение во времени объема кровеносного сосуда под действием пульсовых волн. Для регистрации сигнала через палец пропускается поток излучения оптического или инфракрасного диапазона. Величина сигнала измеряется как ослабление излучения, проходящего через исследуемый участок ткани, содержащей кровеносный сосуд (или отраженного от участка, исследуемой биологической ткани). Амплитуда сигнала при использовании широкополосного фотоприемника составляет не менее 0,1 мВ. Частотный диапазон составляет от 0,3 до 70 Гц.

Согласно закону Бугера-Ламберта-Бера, величина абсорбции света (потеря энергии световой волной, проходящей через вещество) пропорциональна толщине слоя поглощающего вещества, то есть при сужении и расширении сосуда под действием артериальной пульсации кровотока вызывается соответствующее изменение амплитуды сигнала, получаемого с выхода фотоприемника.

Для регистрации и измерения физиологических параметров используются датчики, содержащие чувствительные элементы, преобразующие исследуемый физиологический параметр в электрический сигнал. Обработка информации включает в себя первичную аналоговую: усиление сигналов, фильтрацию, аналого-цифровое преобразование, а также цифровую обработку. После этих преобразований информация может быть передана для дальнейшей обработки по беспроводному каналу Wi-Fi на удаленный сервер, облачное хранилище, а также на портативное устройство пользователя, поддерживающее технологию Bluetooth Low Energy (BLE). Структурная схема подобной системы приведена на рисунке 1. В качестве микроконтроллера используется Espressif ESP32 с поддержкой Wi-Fi и BLE.

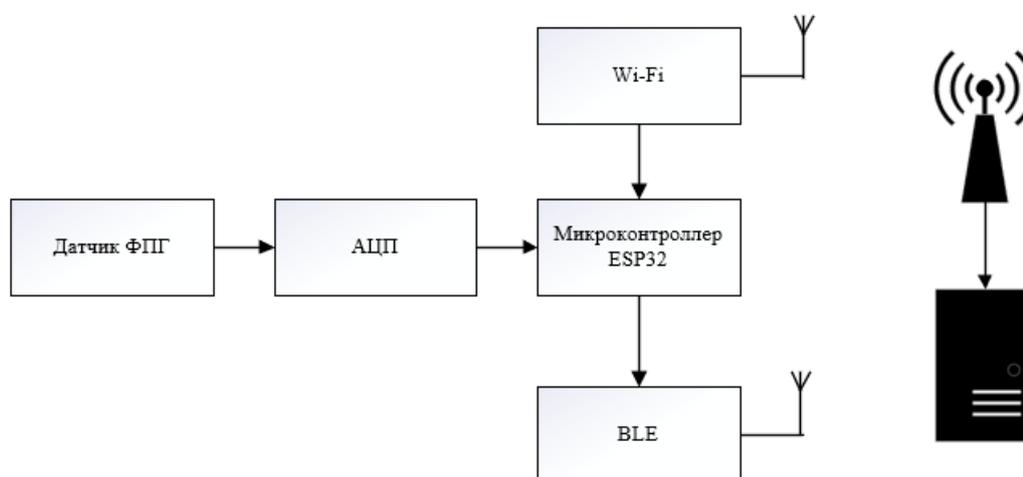


Рисунок 1 – Структурная схема беспроводной системы сбора биометрических данных.

### Список использованных источников:

8. Федотов А.А., Акулов С.А. Измерительные преобразователи биомедицинских сигналов систем клинического мониторинга. М.: Радио и связь, 2013 – 248 с

## АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Гражданкин С.П., Зайко А.М.

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

Мартинович А.В.

В данной работе представлены результаты исследования сигнальных структур малоразмерных беспилотных летательных аппаратов. Приведены сведения об анализе сигналов в частотно-временном представлении. Описан принцип работы сверточных нейронных сетей и применение их к результатам данного исследования.

Целью данного исследования являлась разработка нейросетевого идентификатора, определяющего модель БПЛА. Была сформирована база данных сигналов, состоящая из пяти моделей одного производителя. При изучении сигнальных структур во временной области был найден служебный пакет, имеющий уникальную структуру, который позволяет произвести идентификацию объекта. Для реализации алгоритма идентификации решено использовать аппарат нейронных сетей за свою высокую эффективность в задачах классификации и обширное количество нейросетевых структур, позволяющих работать с любыми сигнальными представлениями. В процессе изучения различных сигнальных представлений хорошие результаты с точки зрения классификации источников радиосигналов получены на основе Вейвлет-преобразования.

Теория вейвлетов является мощной альтернативой анализу Фурье и дает более гибкую технику обработки сигналов. Одно из основных преимуществ Вейвлет-анализа заключается в том, что он позволяет заметить хорошо локализованные изменения сигнала, тогда как анализ Фурье этого не дает – в коэффициентах Фурье отражается поведения сигнала за все время его существования [1].

На рисунке 1 отображены Вейвлет-представления уникального служебного пакета для таких моделей БПЛА как *DJI Matrice 210*, *DJI Mavic 2 Pro*, *DJI Mavic 2 Zoom*.

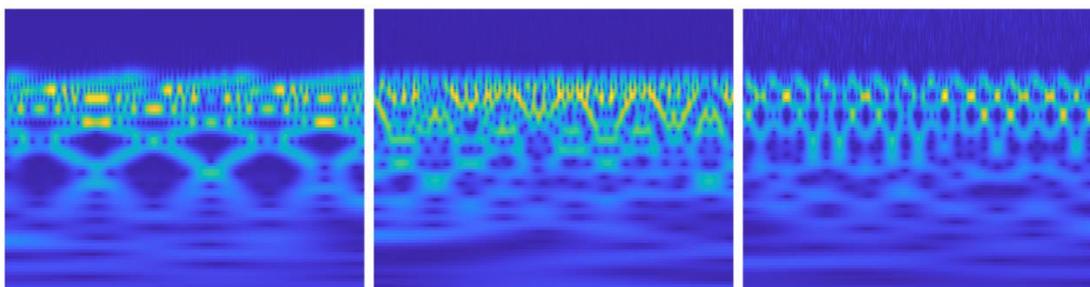


Рисунок 1 – Вейвлет-представления служебного пакета *DJI Matrice 210*, *DJI Mavic 2 Pro*, *DJI Mavic 2 Zoom* соответственно

При изучении задачи дальнейшего переноса на аппаратную платформу было принято решение использовать сверточные нейронные сети. Данные сети преимущественно используются в задачах классификации изображений. Также существуют нейронные сети для анализа временных рядов, но это повышает требования к производительности аппаратной платформы.

Сверточные нейронные сети работают на основе фильтров, которые занимаются распознаванием определенных характеристик изображения (например, прямых линий). Фильтр — это коллекция ядер; иногда в фильтре используется один ядро. Ядро — это обычная матрица чисел, называемых весами, которые “обучаются” с целью поиска на изображениях определенных характеристик [2].

Нейросетевой идентификатор был построен на базе сверточной сети *ResNet-50*. Данная сеть обладает приемлемой точностью классификации и степенью затрат вычислительных ресурсов. Для обучения сети использовалось более 500 изображений Вейвлет-представлений (не менее 100 на каждую модель) и точность классификации составила 95%. Полученный результат может быть улучшен на 1-3% посредством увеличения обучающей выборки и оптимизации параметров обучения.

Данное исследование может быть применено в системах радиотехнического мониторинга источников радиоизлучения.

### Список использованных источников:

1. Дьяконов, В. *MATLAB. Обработка сигналов и изображений: специальный справочник* / В. Дьяконов, И. Абраменкова. – СПб.: Питер, 2002. – 10 с.
2. *ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks* / A. Krizhevsky // *Communications of the ACM*, vol.60, no.6, 2017. – P. 84

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ СИНТЕЗА ЛЕСТНИЧНЫХ СОГЛАСУЮЩИХ ЦЕПЕЙ

Гузак И.С.

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

Курочкин А.Е. – к.т.н., доцент

В данной работе рассмотрены согласующие цепи, произведен поиск и анализ методов синтеза лестничных согласующих цепей.

Для достижения максимальной передачи мощности сигнала от его источника к нагрузке необходимо согласовать комплексные сопротивления источника сигнала и нагрузки. Следствием согласования является максимальное поглощение сигнала нагрузкой, и, как следствие, уменьшению отражения сигнала от нагрузки. Уменьшение отражения сигнала приводит к увеличению равномерности амплитуды сигнала в требуемой полосе частот.

Базовые и наиболее часто используемые согласующие цепи – L, Pi, T. Примеры каждой из цепей показаны на рисунке 1.

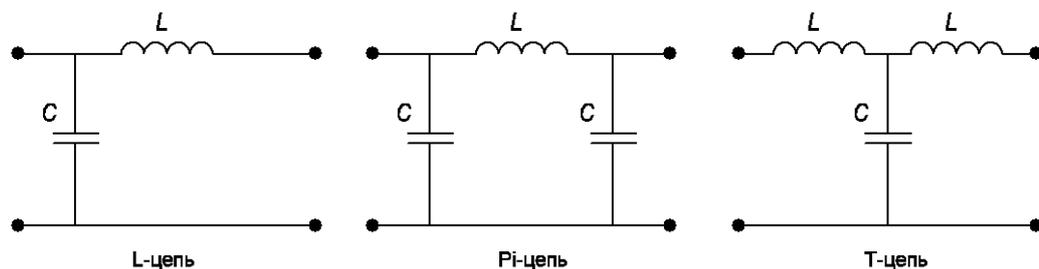


Рисунок 1 – Согласующие цепи типа L, Pi, T

Однако указанные выше согласующие цепи имеют узкую полосу частот (рисунок 2) [1], при этом имея очень хорошее согласование сопротивлений на центральной частоте.

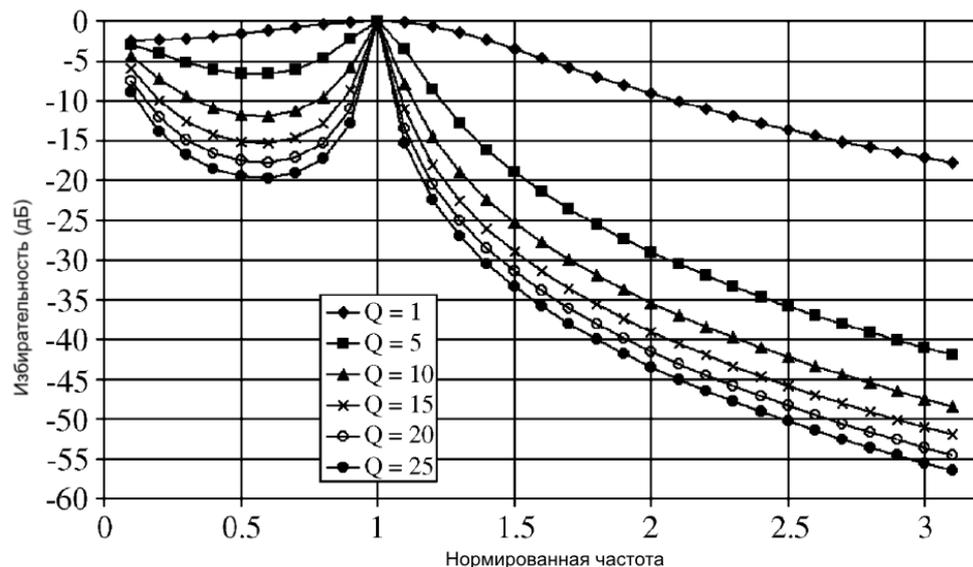


Рисунок 2 – Частотная характеристика согласующей цепи T типа

Для увеличения рабочей полосы частот применяют последовательное соединение базовых согласующих цепей, которые имеют название – лестничные согласующие цепи (рисунок 3) с переходной характеристикой, изображенной на рисунке 4 [2].

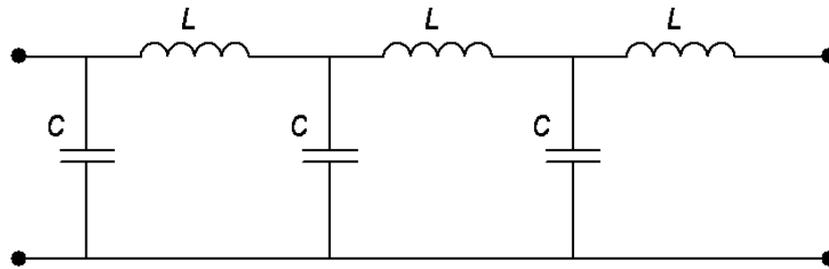


Рисунок 3 – Лестничная согласующая цепь

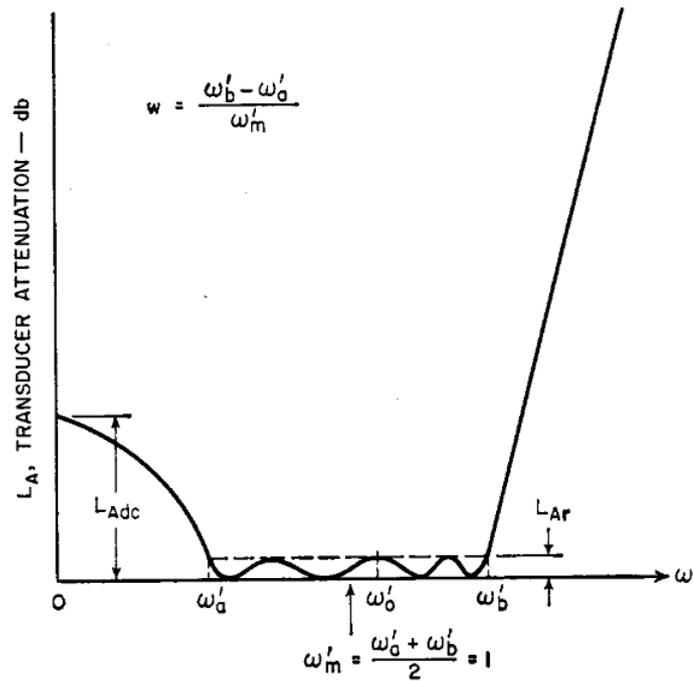


Рисунок 4 – Переходная характеристика лестничной согласующей цепи

Наиболее традиционным и базовыми методом синтеза лестничных согласующих цепей (или фильтров) являются подходы на основе синтеза Дарлингтона [3], Кауэра, Фано [4] и др. Данные методы называются методами низкочастотного прототипа, в котором прямоугольную характеристику ФНЧ аппроксимируют некоторой функцией, затем аппроксимирующую функцию переводят на высокие частоты.

При таком подходе, при синтезе широкополосных согласующих цепей необходим компромисс между шириной рабочей полосы частот и минимальным коэффициентом отражения. Это отражено в критерии, определенном Фано [4]:

$$\int_0^{\infty} \ln \frac{1}{|\rho|} d\omega \leq \frac{\pi}{RC} \quad (1)$$

где  $\rho$  – коэффициент отражения;  $RC = \frac{L}{R} = \tau$ .

**Список использованных источников:**

9. Chung B.K. Q-based design method for T network impedance matching / B.K. Chung // *Microelectronics Journal* – 2006. – № 37. – P. 1007-1011.
2. Matthaei G.L. Tables of Chebyshev Impedance Transforming Networks of Low-Pass Filter Form // *Proceedings of the IEEE*. Volume 52. Issue 8. Aug. 1964, p. 939 – 963.
3. Darlington S. Synthesis of reactance 4-poles / S. Darlington // *J.Math. Phys.* – 1939. - №18. – P.257-353.
4. Fano R.M. Theoretical limitation on the broadband matching of arbitrary impedances / R.M. Fano // *J. Franklin Inst.* – 1950. vol. 249. – P. 57-83.

## **ПРОБЛЕМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ИТ-КОМПАНИИ**

*Гуца А.В.*

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

*Парафьянович Т.А. – к.пед.н., доцент каф. ИРТ*

Аннотация: В статье анализируются проблемы взаимодействия специалистов, которые необходимо учитывать при разработке программного обеспечения. Рассматриваются примеры проблем взаимодействия сотрудников, а также способы их преодоления. В качестве ИТ-компании выступает Playtika Minsk Studio, занимающаяся разработкой игрового программного обеспечения.

В статье рассматриваются особенности взаимодействия специалистов ИТ-компаний в процессе разработки программного обеспечения. Целью нашей работы является исследование особенностей взаимодействия, рассмотрение примеров проблем взаимодействия сотрудников, также поиск способов повышения эффективности межгрупповых и внутригрупповых взаимодействий в ИТ-сфере. В качестве примера ИТ-компании выступает Playtika Minsk Studio, занимающаяся разработкой игрового программного обеспечения.

В организационном управлении любой организации важную основу составляют человеческие ресурсы, их квалификация, система ценностных ориентаций, знания, навыки самоорганизации, самообучения, саморазвития и командной работы [1, с. 12].

Специалисты – это люди, обладающие специфическими знаниями, навыками в области информационных технологий, выполняющие рабочую деятельность с применением этих навыков и знаний. [2, с. 19].

В данной работе описывается несколько специальностей: QA (тестировщик), клиентский, серверный и ресурсный разработчики.

QA или тестировщик – это специалист по обеспечению качества программного обеспечения. Тестировщик во многом похож на следователя или детектива. Он идёт по горячим следам программиста и выискивает баги, использует различные дедуктивные методы и скрытые приёмы. Без тщательного тестирования невозможно добиться высокого качества программного продукта – вот почему QA-специалисты очень востребованы в ИТ-компаниях, занятых разработкой..

Клиентский разработчик – это специалист, в компании разрабатывающей игры, занимающийся разработкой той составляющей программного обеспечения, которая находится на устройстве и выполняет основные алгоритмы, обрабатывает локальные данные, реагирует на действия пользователя и отправляет их на сервер.

Серверный разработчик – это специалист широкого профиля, который разбирается в том, как происходит взаимодействие между клиентом и сервером. Разрабатывает алгоритмы обработки, выполняет структурирование данных проходящих на сервере, занимается формированием облачной системы, отвечает за работу и наполнение информацией базы данных.

Ресурсный разработчик – это специалист деятельность которого включает создание иллюстраций, скетчей, элементов интерфейса, визуальных эффектов, 3D моделей, шейдеров, музыкального сопровождения, анимаций и прочих элементов, используемых в ходе игрового процесса. [3, с. 157].

Главной проблемой возникающей между разными специалистами является непонимание между сотрудниками компании, вследствие недостаточной информированности о терминологии, механизмах и особенностях сферы деятельности другого специалиста.

Данная проблема естественна в ходе деятельности команды, так как в ее состав могут входить сотрудники разных сфер и специальностей, с разным уровнем и объемом знаний о предмете разработки.

Можно предположить, что для решения данной проблемы, необходимо сгруппировать в команды сотрудников по специальностям, но этот подход не является правильным. Далее приведен пример работы команды с данной структурой.

Разрабатывается игровой проект, над ним трудится первая команда разработчиков разных специальностей, а вторая команда состоит только из тестировщиков. В данном случае между двумя командами будет жёсткая стена. Первая команда завершает разработку своей части, эта часть передаётся команде тестировщиков, которые должны проверить качество, исправность и другие показатели, полагаясь на предсказуемость поведения продукта. Возникают случаи когда продукт ведет себя не так как ожидают тестировщики, не имея знаний о технической части и связи с разработчиками появляется много ложных несоответствий, поставленных условиями прохождения контроля качества продукта. В итоге команда тестировщиков отправляет рассматриваемую часть на доработку, оформляя запросы на изменения (баги), на решение которых требуется время команды разработчиков.

Более эффективным способом для выхода из такой ситуации является формирование команд из разных специалистов, без исключений, для того, чтобы каждый её участник был уникальным специалистом. Так как в ходе командной работы её участники регулярно общаются для решения задач, обмениваются опытом и знаниями, расширяя понятия о других аспектах разработки. Но между членами команды разных специальностей всё ещё сохраняется незначительный барьер. Для преодоления барьера между сотрудниками необходимо в ходе решения задачи, обсудить особенности работы и после обсуждения заключить «контракт». «Контракт» – это договоренность между группой сотрудников, в устной или письменной, неофициальной форме, описывающая ход разработки продукта с объяснением особенностей, неточностей, недоговоренностей, содержащая требования каждого участника к другому.

Пример заключения «контракта» между двумя сотрудниками: сотрудники разных специальностей, серверный разработчик и аниматор. Может показаться, что между ними нет ничего общего, но это неверно. В ходе работы над задачей они заключают «контракт», в котором его участники договариваются о продолжительности анимации по времени, для точного переключения состояний в проекте, договариваются о пути и имени хранения используемых ресурсов. В результате выполнения задачи команды достигают своей цели, её участники в ходе совместной работы обмениваются знаниями, тем самым снимая напряжение в коммуникации.

Также у некоторых сотрудников компании существует проблема личностной замкнутости, которые по внутренним мотивам или переживаниям стараются общаться только с членами своей команды. Для решения этой проблемы и формирования командных технологий внутри компании следует организовывать различные мероприятия: тренинги, выездные семинары, соревнования, использовать концепции тимбилдинга. Цель которых заключается в том, чтобы распределить сотрудников разных команд в небольшие группы, деятельность которых направляется на решение поставленных задач путем командной, слаженной работы. Результатом таких мероприятий является расширение круга общения каждого из сотрудников компании, развития командного духа и ощущения личной значимости внутри всего коллектива. В процессе тренинговых занятий используется «участвующий стиль командной работы» [5, с. 196], участники команды хорошо узнают друг друга, учатся уважать и учитывать сильные и слабые стороны каждого. В конечном итоге формируется «взаимодополняющая команда, в которой сильные стороны людей приносят пользу, а слабости компенсируются сильными чертами других» [6, с. 144]. Командное взаимодействие мы рассматриваем как инструмент личностно-профессионального развития сотрудника. Тренинг в командном взаимодействии - одна из наиболее эффективных форм работы, направленных на сплочение команды, развитие командных коммуникаций, построение доверия.

Командная работа имеет огромное значение в бизнесе как на уровне отдельных сотрудников, так и на уровне отделов и департаментов. Необходимо стимулировать обмен информацией в компании, снимать барьеры, не закрывать глаза на проблемы — их решение необходимо для повышения эффективности работы каждого сотрудника. [4, с. 262].

Таким образом в работе рассмотрены основные проблемы, встречающиеся при взаимодействии между специалистами IT-компании, влияющие на внутренние ощущения сотрудников и эффективность выполнения работы. Анализ существующих корпоративных норм, позволил нам определить способы оптимизации внутренних коммуникационных связей и межгрупповых взаимодействий и поднять проблему развития корпоративной культуры .

**Список использованных источников:**

1. Cherie Gaither. *Internal Communications and the Effect on Employee Engagement*. – М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2015.
2. В.Иванова, А.Перерва. *Путь аналитика. Практическое руководство IT-специалиста*. – СПб.: Питер, 2016. – 304 с.
3. *The Big Book Of People Skills Games: Quick, Effective Activities For Making Great Impressions, Boosting Problem-Solving Skills And Improving Customer Service.*, 2011, 272.
4. Спенсер, Л. М. *Компетенции на работе : модели максимальной эффективности работы ; пер. с англ. / Л. М. Спенсер, С. М. Спенсер*. – М. : ГИППО, 2010. – 371 с.
5. Кови Ст. Р. *Восьмой навык: От эффективности к величию / Стивен Р. Кови; Пер. с англ.* – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 422 с.
6. Парафиянович, Т. А. *Командное взаимодействие как инструмент развития личности и подготовки лидеров / Т. А. Парафиянович // Актуальные проблемы в деятельности надзорных органов Министерства по чрезвычайным ситуациям: сборник материалов международной заочной научно-практической конференции*. – Минск: КИИ, 2016. – С. 12 – 14. – Режим доступа: <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/1097>

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ АЛГОРИТМОВ БЫСТРОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ НИЗКОСКОРОСТНЫХ КОДОВ

Дворникова Т.Н.

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

Будько А.А. – доцент, кандидат техн. наук

В настоящее время быстрыми темпами происходит развитие средств обработки информации. При разработке сложных информационных систем большое внимание уделяется увеличению помехоустойчивости отдельных элементов систем, а именно средствам обработки информации, памяти, устройствам ввода-вывода, модуляции-демодуляции и др. Целью является разработка методов извлечения алгоритмов быстрого декодирования низкоскоростных кодов.

Быстрое декодирование низкоскоростных кодов основывается на связи функций Уолша и низкоскоростных кодов и использует алгоритмы быстрого преобразования Уолша.

С развитием методов передачи цифровой информации широкое применение получили функции Уолша.

Функции Уолша являются кусочнопостоянными функциями с нормированным интервалом определения  $[0,1)$  или  $[-0.5, +0.5)$  и интервалом изменения аргумента, который зависит от порядка системы функций Уолша и равен  $\frac{1}{2^n}$ , где  $n = 1, 2, \dots$

Преобразование Уолша осуществляется с помощью быстрых алгоритмов, которые получены в основном используя факторизации матриц Уолша в различных упорядочений. Возможное количество алгоритмов быстрого преобразования Уолша очень велико. Однако они не равноценны. При рассмотрении алгоритмов быстрого преобразования Уолша выделяются так называемые «замечательные» алгоритмы быстрого преобразования Уолша. Эти алгоритмы быстрого преобразования Уолша обладают свойствами симметрии, их граф для любой размерности может быть легко получен. Все алгоритмы быстрого преобразования Уолша требуют одинаковое количество арифметических операций, однако решение об использовании для конкретного применения того или иного алгоритма принимается на основе сравнения.

Метод извлечения алгоритмов быстрого преобразования Уолша основан на представлении элементов матриц Уолша в экспоненциальной или показательной форме. Используя метод, можно получить алгоритм вычисления для быстрого преобразования в различных системах упорядочения. В докладе рассматривается метод извлечения алгоритмов быстрого преобразования Уолша в системе упорядочения Уолша-Пэли, граф преобразования которого представлен на рисунке 1

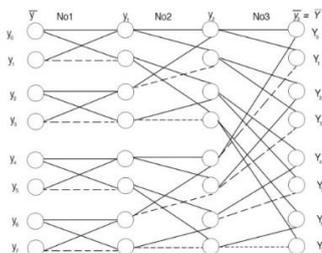


Рисунок 1 – Граф преобразования Уолша-Пэли

Извлечение алгоритмов быстрого декодирования низкоскоростных кодов, заключающееся в сокращении числа операций, необходимых для декодирования, является актуальной задачей. Использование быстрого преобразования Уолша позволяет решать проблемы декодирования помехоустойчивых кодов.

### Список использованных источников:

1. Трахтман А. М., Трахтман В.А. Основы теории дискретных сигналов на конечных интервалах. М.: Советское радио. 1975; 208 с.
2. Светлов Г.В., Суменков Н.А., Костров Б.В., Фокина Н.С. Применение теории дискретных сигналов, определенных на конечных интервалах, для обработки аэрокосмических изображений. Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2017; №3 (95), с. 94-102.
3. Конопелько В.К., Липницкий В.А., Дворников В.Д. и др. Теория прикладного кодирования. Учеб. пособие в 2 т./ Под ред. проф. Конопелько В.К.- Мн.: БГУИР, 2004, 398 с.

## ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ «SINGLE SIGN ON» ДЛЯ ДОСТУПА К УЧЕТНЫМ ДАННЫМ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ACTIVE DIRECTORY

*Дергай И.С.*

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

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

Технология единого входа (SSO) – это средство аутентификации, позволяющее пользователям осуществлять доступ к нескольким приложениям с помощью одного набора учетных данных. Обычно организации используют технологию единого входа для упрощения доступа к различным приложениям на стороне потребителя, веб- и облачным приложениям с целью повышения комфортности работы пользователей. Она также может предоставить ИТ-отделу расширенный контроль пользовательского доступа, сократить число обращений в службу поддержки в связи с паролями, а также улучшить безопасность и соответствие стандартам. Наша статья описывает разработанное нами веб-приложение «Single Sign On» для доступа к учетным данным пользователя Active Directory.

Сегодня приложения развертываются в центрах обработки данных и облаках, а также доставляются в виде SaaS-приложений. Каждое бизнес-приложение предусматривает прохождение пользователем процедуры аутентификации перед получением доступа к тому или иному ресурсу. Ранее, до появления технологии единого входа, пользователям приходилось выполнять вход при помощи набора учетных данных каждый раз, когда требовалось переключаться между приложениями. В большинстве случаев для каждого приложения был предусмотрен отдельный набор учетных данных, результатом чего являлось снижение комфортности работы пользователей, невозможность получения доступа к нужным ресурсам из-за забытого логина или пароля, неоднородность политик контроля доступа и увеличение расходов на поддержку этих приложений.

Технология единого входа является компонентом системы управления федеративными удостоверениями (FIM) межорганизационной структуры, позволяющей подписчикам использовать одни и те же идентификационные данные для доступа к сети каждой организации.

Идентификация пользователя происходит в нескольких доменах безопасности, в каждом из которых имеется собственная система управления средствами идентификации. При федерации доменов пользователь может пройти аутентификацию в одном из них и осуществлять доступ к ресурсам в другом без необходимости повторно выполнять вход.

Схема, позволяющая сторонним организациям, например, LinkedIn или Facebook, использовать чьи-либо данные учетной записи для выполнения входа без раскрытия пароля, называется OpenID Connect. Она служит посредником, предоставляя сервису токен, позволяющий делиться данными только конкретной учетной записи. Когда пользователь осуществляет доступ к приложению, сервис отправляет запрос аутентификации поставщику идентификации, который проверяет запрос и предоставляет доступ. SSO-сервисы на базе SAML обмениваются данными аутентификации и авторизации пользователей в безопасных доменах и управляют связью между пользователем, поставщиком идентификации с каталогом пользователей и поставщиком услуг.

Active Directory – служба каталогов от корпорации Microsoft. Системные администраторы используют технологию Active Directory в Windows Server для хранения и организации объектов в сети в иерархическую защищенную логическую структуру, например, пользователей, компьютеров или других физических ресурсов. Active Directory нужен для хранения информации о ресурсах компании (компьютерах, пользователях, принтерах и т.п.) и предоставляет следующие возможности:

- сервис аутентификации (проверки логина и пароля);
- массовое распространение настроек всем пользователям и компьютерам сети;
- база данных для хранения настроек совместимых приложений.

Основным назначением разработанного веб-приложения является реализация единой точки входа пользователей через учетные данные Active Directory.

Разработанное веб-приложение позволяет решить следующие задачи:

- повысить безопасность и облегчить работу пользователя благодаря уменьшению количества хранимых паролей;
- уменьшить затраты времени на аутентификацию в каждом сервисе;
- упростить администрирование учетных записей;
- облегчить внедрение технологии повышения безопасности благодаря использованию единого провайдера аутентификации для различных операционных систем и устройств.

Входными данными для разрабатываемого программного средства являются учетные данные пользователей Active Directory.

Выходными данными разрабатываемого программного средства является система авторизации пользователей Active Directory для контроля доступа к ресурсам приложения посредством использования технологии Single Sign On на основе Web Services Federation, OpenID Connect, SAML2P протоколов. На рис. 1 отобразена диаграмма, отображающая данную систему.

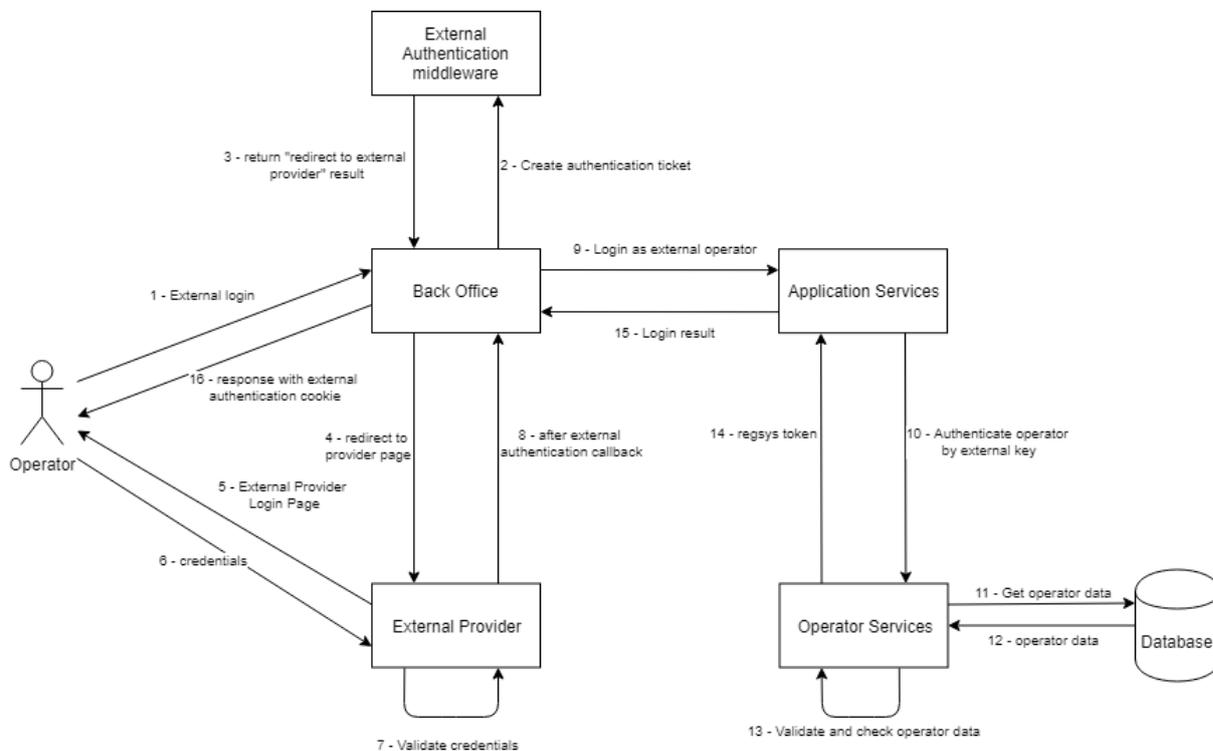


Рис. 1 Диаграмма системы авторизации пользователей с использованием технологии SSO

При создании программного средства были использованы следующие средства разработки:

- Microsoft Visual Studio 2019;
- язык программирования C#;
- JavaScript-библиотека jQuery;
- язык управления реляционными базами данных SQL.

Основным преимуществом данного веб-приложения является возможность настройки технологии Single Sign On на различных протоколах (Web Services Federation, OpenID Connect, SAML2P).

Разработанное веб-приложение дает преимущества как пользователям, так и ИТ-отделу.

С точки зрения пользователей технология SSO облегчает управление паролями, упрощая и ускоряя доступ к приложениям.

ИТ-отделу данное программное средство помогает уменьшить число обращений в службу поддержки в связи с паролями. Автоматическое управление учетными данными сокращает объем ручного управления доступом сотрудников к приложениям и сервисам.

Кроме того, с точки зрения безопасности разработанное веб-приложение может снизить угрозу кибератак, например, фишинга, за счет уменьшения количества подверженных риску учетных данных.

**Список использованных источников:**

1. Что такое технология единого входа (SSO)? // Citrix [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.citrix.com/ru-ru/glossary/what-is-single-sign-on-sso.html>.
2. Использование технологии единого входа (single sign-on) // Academy.terrasoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://academy.terrasoft.ru/documents/administration/7-15/ispolzovanie-tehnologii-edinogo-vhoda-single-sign>.
3. Структура хранилища Active Directory // 1cloud [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://1cloud.ru/help/windows/struktura-hranilischa-active-directory>.
4. Что такое Active Directory // Dmosk [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.dmosk.ru/terminus.php?object=ad>.

## ВЕБ-ПОРТАЛ ВОЛОНТЕРСКОЙ ПОМОЩИ «VOLUNTEER.BY»

Давидюк Я.Ю.

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

Виничук О.Н., Славинская О.В. – канд. пед. наук, доцент

С каждым годом волонтерская деятельность становится все более популярной как в нашей стране, так и за ее пределами. Все больше появляется направлений, в которых волонтер может самореализоваться. В Республике Беларусь нет единого веб-портала всех общественных организаций, которые оказывают помощь. Волонтерам порой сложно найти информацию, где, как и кому можно помочь, что для этого нужно, а также узнать контактные данные. В результате этого возникла необходимость разработки веб-портала волонтерской помощи, который мы представляем в статье.

Волонтерские инициативы распространяются почти на любую сферу человеческой деятельности, работу с социально незащищенными слоями гражданского общества.

Волонтерство оказывает большое влияние на образование школьников и студентов, так как способствует формированию активной общественной жизненной позиции, повышает уровень эмоционально-психологического равновесия, развивает коммуникационные навыки, а также помогает улучшить уровень интеллектуального развития. Волонтерское движение является одним из важнейших социальных направлений и в мире, и в нашей стране. [1]

Волонтерская деятельность может быть направлена на [2]: психологическую поддержку, обеспечение товарами первой необходимости, приготовление пищи, оказание медицинской помощи пострадавшим в результате военных действий или в стихийных бедствиях; создание условий для раскрытия творческого потенциала людей с ограниченными возможностями (проведение выставок, концертов, мастер-классов); развитие патриотизма, формирование исторической памяти, помощь ветеранам Великой Отечественной войны; развитие образования и науки; охрану окружающей среды: экологические марши, благоустройство заповедных территорий; поиск пропавших людей; пропаганду спорта и активного образа жизни; реконструкцию исторических и культурных памятников; организацию спортивных, культурных, религиозных мероприятий; участие в проектах распределенных вычислений в интернете (где используются добровольно предоставленные ресурсы – краунчинг). Особую актуальность она приобрела в помощи пожилым людям в связи с пандемией коронавируса.

Веб-портал – это сайт, который предоставляет пользователям различные интерактивные сервисы, функционирующие на одном ресурсе. Информация на их страницах публикуется единообразным способом независимо от источников. Такие сайты предлагают не только функцию поиска, но и такие сервисы, как электронная почта, форум, голосование и т.п.

Актуальность разработки веб-портала волонтерской помощи обусловлена необходимостью облегчить процесс поиска волонтеров, поиска общественных организаций, детских домов, краудфандинговых компаний. Полная и достоверная информация, удобный дизайн, доступность, локализация – основные требования при разработке нашего сайта.

Задачами разработки веб-портала волонтерской помощи являются:

- предоставление полной и достоверной информации волонтерам об общественных организациях, детских домах, краудфандинговых компаниях;
- предоставление информации о волонтерских акциях;
- возможность размещения объявлений о помощи.

Разработанный нами веб-портал волонтерской помощи включает в себя следующие элементы: «Регистрация», «Личный кабинет пользователя», «Добавление объявлений о помощи», «Добавление информации о волонтерских акциях», «Перечень организаций по областям и районам», «Обратная связь», «База знаний (все о волонтерстве)».

Пользователь может зарегистрироваться и опубликовать объявление о помощи какой-либо организации, отправить сообщение-отклик волонтеру или организации со своими контактными данными, ознакомиться с перечнем, функциями, сайтами общественных организаций, детских домов, краудфандинговых компаний Республики Беларусь. Администратор веб-портала может добавлять либо редактировать всю информацию, обновлять, изменять и дополнять информацией все блоки, изменить данные авторизации: пароль и логин для входа в этот режим.

Разработанный нами веб-портал помогает в социальном отклике, в социальной защите людям, нуждающимся в помощи.

### Список использованных источников:

1. Волонтерство: что это, польза, как принять участие [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://4brain.ru/blog/волонтерство>. – Дата доступа : 20.03.2020.
2. Волонтерское движение в Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://socnews.by/opportunities/volunteers/2015/12/04/article\\_16857](http://socnews.by/opportunities/volunteers/2015/12/04/article_16857). – Дата доступа : 10.03.2020.
3. Веб-портал. Классификация. Особенности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://yandex.by/turbo?text=https%3A%2F%2Fwiki.rookee.ru%2Fweb-portal%2F>. – Дата доступа : 12.02.2020.

# ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С КОМБИНАЦИОННЫМ УПЛОТНЕНИЕМ

Динь В.Ф.

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

Карпушкин Э.М. – к.т.н., доцент

Содержание статьи заключается в анализе помехоустойчивости многоканальной системы передачи с комбинационным уплотнением, которая характеризуется зависимостью вероятности ошибки от отношения сигнал/шум. Графики строятся и моделируются с учетом данных.

В системах с кодовым уплотнением сообщения в каналах представляются в бинарном (цифровом) виде. Каждый бит такого сообщения при линейном уплотнении после канального модулятора заполняется своей опорной функцией (канальным сигналом). Количество опорных функций равно количеству каналов и все они взаимно ортогональны. Если опорные функции бинарные, то устройство уплотнения – алгебраический сумматор и групповой сигнал будет дискретным многоуровневым с эффективной полосой частот такой же, что и канальные сигналы. Радиосигнал на выходе модулятора обычно или многофазный (1), или многочастотный (2). При оптимальной обработке такого сигнала вероятность ошибочного приема бита цифровой информации оценивается следующими выражениями:

$$P_{ош} = 1 - \Phi(\sqrt{qB \cos \Delta\varphi}) \quad (1),$$

$$P_{ош} = 0,5m \exp(-qB/4) \quad (2),$$

При нелинейном кодовом уплотнении канальных сигналов групповой сигнал, как и канальные сигналы, бинарный, что позволяет использовать наиболее помехоустойчивую модуляцию несущего колебания – бифазную. Наиболее популярные методы кодового нелинейного уплотнения – мажоритарный и комбинационный. В системах с мажоритарным уплотнением вместо алгебраического сумматора используется логический мажоритарный элемент, а все остальные узлы и блоки не отличаются от многоканальной системы с кодовым линейным уплотнением. Групповой сигнал при мажоритарном уплотнении в спектрально-временном пространстве подобен канальному сигналу и разделение канальных сигналов линейное. Потенциальная помехоустойчивость такой системы при оптимальной когерентной обработке оценивается следующим выражением:

$$P_{ош} = 1 - \Phi\left(\sqrt{2qB \cdot \frac{2}{\pi m}}\right) \quad (3),$$

В системах с комбинационным уплотнением канальных сигналов групповой сигнал формируется из последовательности ортогональных функций, каждая из которых привязана к комбинации  $m$  бит каналов. Следовательно, количество ортогональных функций должно быть  $N=2^m$ . Функции разделителя канальных сигналов в такой системе выполняют  $N$  оптимальных различителей ортогональных сигналов и логический дешифратор. Потенциальную помехоустойчивость выделения бита цифровой информации в системе с комбинационным уплотнением при оптимальной когерентной обработке можно оценить выражением:

$$P_{ош} = \frac{(N-1)}{m} \left(1 - \Phi(\sqrt{qB})\right) \quad (4),$$

где  $q$  – входное отношение сигнал/шум;  
 $B$  – база ортогональной функции;  
 $\Delta\varphi$  – минимальный шаг по фазе ( $\Delta\varphi = 2\pi/(m+1)$ );  
 $m$  – количество каналов.

Построим график зависимости вероятности ошибки от отношения сигнал/шум многоканальной системы передачи информации из этих верхних формул:

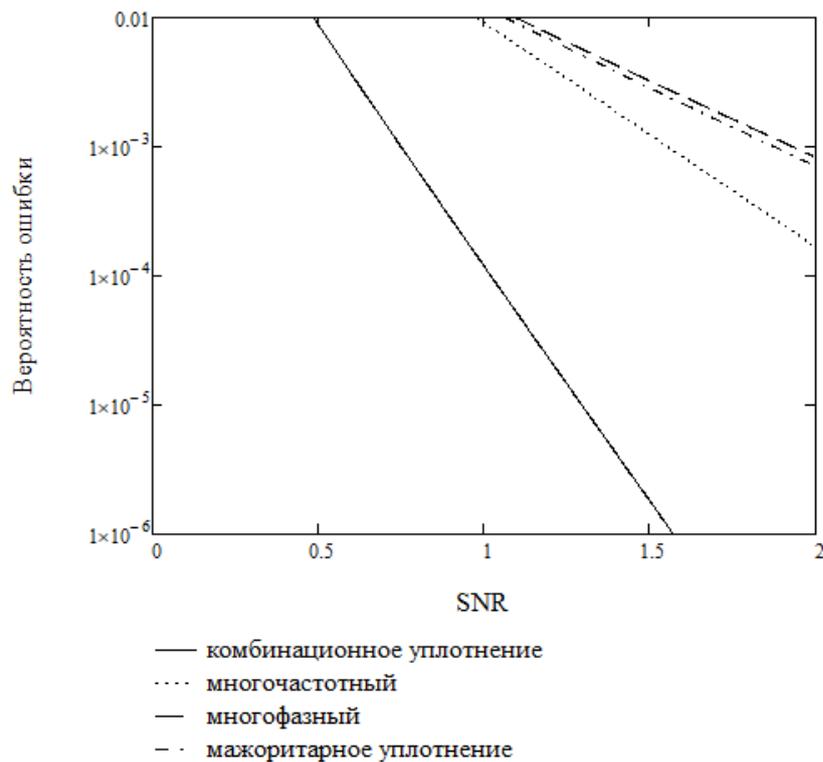


Рисунок 1 – График зависимости вероятности ошибки от отношения сигнал/шум

Исходя из графики и результатов моделирования, аналогичных теории, использование многоканальной системы с комбинационным уплотнением может обеспечить возможность повышения потенциальной помехоустойчивости системы без снижения скорости передачи информации или наоборот. Кроме того, система также предоставляет возможность обеспечения энергетической скрытности передаваемого сообщения (если средняя спектральная плотность информационного сигнала меньше средней спектральной плотности шума, то реализуется энергетическая скрытность передаваемого сообщения).

**Список использованных источников:**

1. А.Е.Махонин, *Радиотехнические системы передачи информации – Екатеринбург, 2013. – С. 55-63.*
2. Bit Error Rate Performance of a MIMO-CDMA System Employing Parity-Bit-Selected Spreading in Frequency Nonselective Rayleigh Fading - <https://www.hindawi.com/journals/ijap/2011/516929>
3. Карпушкин, Э. М. *Радиосистемы передачи информации: учеб. -метод. пособие / Э. М. Карпушкин. – Минск : БГУИР, 2008. – С. 45-47.*
4. Теоретические основы цифровой связи – Пункт 4.7 – <https://siblec.ru/telekommunikatsii/teoreticheskie-osnovy-tsifrovoj-svyazi/4-polosovaya-modulyatsiya-i-demodulyatsiya/4-7-veroyatnost-oshibki-v-binarnykh-sistemakh>
5. Blind Adaptive Multiuser Detection for Chaos CDMA Communication – [https://www.researchgate.net/figure/BER-performance-of-the-chaos-based-and-PN-based-CDMA-with-spreading-gain-spreading\\_fig4\\_224280889](https://www.researchgate.net/figure/BER-performance-of-the-chaos-based-and-PN-based-CDMA-with-spreading-gain-spreading_fig4_224280889)

## УПРАВЛЕНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ

Дробыш А.Н.

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

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

В условиях трансформации мировой экономики и жесткой конкуренции покупателя в результате конкуренции остаются функционирующими предприятия, архитектура бизнес-процессов которых выстроена качественно и эффективно. Любой социально-экономический субъект устойчиво развивается, отстаивает свои интересы и конкурентоспособен на рынке, если доход превышает издержки на обеспечение его бизнес-процессов. В эпоху цифровых технологий автоматизация деятельности является ключом в достижении эффективности. Наша статья посвящена вопросам современного управления бизнес-процессами.

Вопросы, связанные с управлением бизнес-процессами, рассматривались такими иностранными и отечественными исследователями, как М. Портер [4], С. Бай [1], В. Паретто [2], П. Друкер [3], А. Тищенко, Р. Каплан, Н. Ольве. Однако с научной точки зрения проблема управления бизнес-процессами предприятия розничной торговли остается мало исследованной и приоритетной.

Результатом исторической диверсификации менеджмента в настоящее время является процессно-ориентированный подход к управлению. Фундамент данного подхода составляет понятие бизнес-процесса, как элемента целевой организационной деятельности, ориентированного на получение предприятием полезного результата. Стоит отметить, что любой бизнес-процесс необходимо рассматривать, как «механизм получения добавочной стоимости», то есть в результате производится продукция, которая будет удовлетворять видимые или невидимые потребности покупателей, принося тем самым доход предприятию. Однако следует обратить внимание и на то, что размер добавочной стоимости не может превышать размер потребительской стоимости. Достижение корреляционной зависимости между добавочной и потребительской стоимостью является существенным условием для эффективного функционирования предприятия.

На сегодняшний день управление бизнес-процессами дает возможность управляющим определить свои процессы, организовать их выполнение, а также кардинально повысить качество, эффективность, настроив каждый процесс таким образом, чтобы его результаты приводили к достижению поставленных бизнес-целей с помощью технологической гибкости и интеграции.

Автоматизация данной сферы деятельности поможет повысить объемы и обороты предприятия, его эффективность. Это позволит выйти на новый уровень и занять как можно больше рынка.

Управлять качеством бизнес-процессов предприятия без учета его характеристик некомпетентно. Главными характеристиками качества бизнес-процессов предприятия являются следующие [3]:

- 1) результативность (время протекания бизнес-процесса);
- 2) эффективность (минимизация времени и затрат);
- 3) адаптивность (способность реагировать на изменение окружающей среды);
- 4) антиципативность (оптимальное соотношение «цена-качество»).

Эффективность бизнес-процессов предприятия розничной торговли должна определяться в совокупности и сопоставлении результатов товарного обращения и тех общеэкономических выгод, что несет в себе активное функционирование и позиционирование предприятия в рыночной нише с учетом материальных и нематериальных расходов. Эффективность зависит от рынков сбыта, которые, в свою очередь, влияют на объем продаж, средний уровень цен, доход от реализации и суммарную прибыль.

Автоматизация управления бизнес-процессами принесет улучшенный коэффициент их полезного действия.

### Список использованных источников:

1. Бай, С.И. Развитие организации : политика, потенциал, эффективность : монография / Бай С.И. – Киев: Киевский национальный торгово-экономический университет, 2009. – 280 с.
2. Безгин, К.С. Управление качеством бизнес-процессов на предприятии / К.С. Безгин. – Мариуполь, 2009. – 196 с.
3. Друкер, П.Ф. Управление, нацеленное на результаты / П. Ф. Друкер; пер. с англ. – М. : Прогресс, 1992. – 199 с.
4. Porter M.E. How Information Gives You Competitive Advantage / M.E. Porter, V.E. Millar // Harvard Business Review. – 1985. – № 85 (July-August). – P. 149-60.

## СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАКУУМНОГО НАНОТРИОДА

Жамойть А.Е.

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

Данилюк А.Л. – канд. физ.-мат. наук

Аннотация. Представлены результаты моделирования статических (сеточной и анодной) характеристик нанотриода на основе уравнения Фаулера-Нордгейма. Установлены закономерности их изменения от варьирования напряжения на аноде и сетке. Рассчитаны крутизна нанотриода, его внутренне сопротивление и коэффициент усиления. Установлено, что крутизна составляет единицы нА/В, внутренне сопротивление достигает 27 ГОм, а коэффициент усиления равен 4.

В настоящее время активно развивается вакуумная наноэлектроника, использующая наноструктуры с вакуумными промежутками. В таких наноструктурах применяются катоды с холодной эмиссией [1]. Их преимущество заключается в отсутствии необходимости создавать вакуум путем откачки и нагревать катоды. К тому же в вакууме возможен перенос носителей заряда без существенного рассеяния и скорость переноса электронов существенно выше, чем в полупроводниках. Кроме того, вакуумные устройства более устойчивы, чем полупроводниковые приборы, к экстремальным условиям, например, для работы при повышенных температурах и воздействии различного рода излучений и радиации [2].

При уменьшении расстояния между электродами возникает возможность осуществления автоэлектронной эмиссии [1, 2], так как за счет малых расстояний появляется высокая напряженность электрического поля при сравнительно низких потенциалах на электродах. Кроме того, если расстояние между электродами меньше длины свободного пробега электрона в воздухе, то перенос электронов в структуре может быть осуществлен посредством баллистического транспорта [3]. При этом для работы самой структуры не потребуется откачка лишнего воздуха.

Таким образом, можно получить прибор, который будет аналогичен по своим свойствам вакуумной лампе, где вместо термоэлектронной эмиссии осуществляется автоэлектронная (полевая) эмиссия, а для обеспечения баллистического транспорта используется малое расстояние между электродами, а не создается вакуум в рабочей области структуры. В свою очередь, такие структуры можно выполнить по планарной полупроводниковой или МЭМС технологии.

Целью работы является моделирование статических электрических характеристик вакуумного нанотриода, конструкция которого рассмотрена ниже.

**Конструкция.** В данной работе рассмотрена конструкция планарного вакуумного нанотриода, состоящего из катода, анода и двух управляющих электродов (Gate).

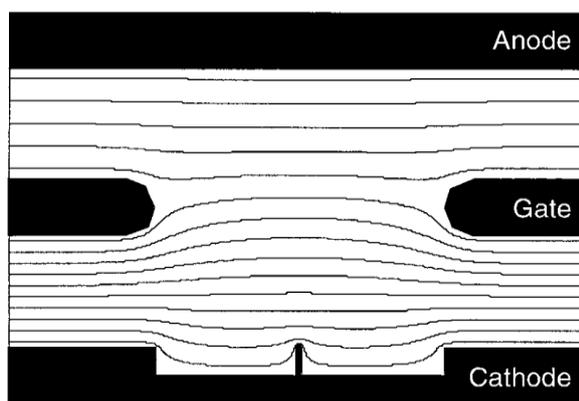


Рисунок 1 – Геометрия нанотриода с изображением эквипотенциальных кривых, рассчитанных с помощью уравнения Пуассона [4]

**Модель.** Для моделирования использовались результаты расчета распределения напряженности электрического поля в нанотриоде, полученные с помощью решения двумерного уравнения Пуассона [4]. На основе полученных данных найдена аппроксимация величины напряженности электрического поля на поверхности катода в виде

$$F = gV_g + hV_a \quad (1)$$

где  $V_g$  и  $V_a$  напряжение на затворе и аноде соответственно,  $g$  и  $h$  – параметры, определяемые конкретной геометрией электродов ( $g > h$ ).

Для расчета эмиссионного тока используем модель автоэлектронной эмиссии Фаулера – Нордгейма [4]

$$I = \frac{\lambda a s F^2}{\varphi} \exp\left(\frac{-\mu b \varphi^3}{F}\right) \quad (2)$$

где  $s$  – площадь эмиссии,  $\varphi$  – работа выхода материала катода. Константы  $a=1.541 \cdot 10^{-6}$  эВ/В<sup>2</sup>,  $b=6.83 \cdot 10^9$  В/(м эВ<sup>3/2</sup>). Параметры  $\lambda=(1.1)^{-1}$  и  $\mu=(0,95-y^2)$ , где функция  $y = (e/4\pi\epsilon_0)^{1/2} F^{1/2}/\varphi$  эквивалентна снижению работы выхода. Здесь  $e$  – заряд электрона,  $\epsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума. С помощью соотношений (1), (2) проведены расчеты сеточной  $I(V_g)$  и анодной  $I(V_a)$ , рис.2а, характеристик нанотриода, а также крутизны  $S=dI(V_g)/dV_g$  при  $V_a=\text{const}$ , внутреннего сопротивления  $R=dI(V_a)/dV_a$  при  $V_g=\text{const}$ , рис.2б и коэффициента усиления  $k=SR$ . Значения параметров  $g = 4 \cdot 10^8$  м<sup>-1</sup>,  $h = 1 \cdot 10^8$  м<sup>-1</sup>. Характерные значения напряженности электрического поля на поверхности катода  $F$  составляют порядка  $10^9$  В/м.

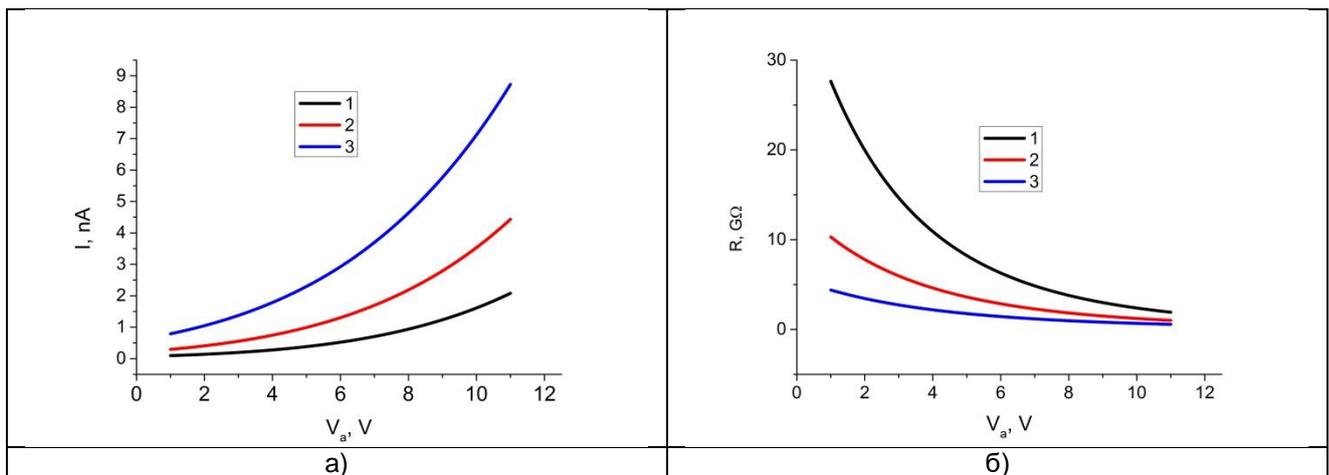


Рисунок 2 – Анодная характеристика (а) и внутренне сопротивление (б) нанотриода:  
1 -  $V_g= 10,2$  В, 2 -  $V_g= 11,0$  В, 3 -  $V_g= 11,8$  В

**Результаты расчетов.** Установлено, что при приложении потенциалов в области  $V_g=5-11$  В,  $V_a=1-11$  В, значения тока в структуре составляет 1-10 нА. Для сеточной и анодной характеристик наблюдается монотонный рост тока с увеличением, как потенциала анода, так и потенциала сетки. Величина крутизны лежит в области 0.5-4.5 нА/В и растет с ростом значений  $V_g$  и  $V_a$ . Значения внутреннего сопротивления составляет 2-27 ГОм, его величина падает с ростом значений  $V_g$  и  $V_a$ . Коэффициент усиления для данной конструкции составляет  $4 \pm 0.003$ .

**Закключение.** Рассмотрена конструкция вакуумного планарного нанотриода. Проведено моделирование его статических характеристик. Установлены закономерности изменения статических характеристик при варьировании сеточного и анодного потенциалов. Показано, что для данной геометрии нанотриода характерные токи составляют единицы нА, значения крутизны растет с ростом прикладываемых потенциалов, а внутреннее сопротивление соответственно падает. Для данной конструкции характерны малая крутизна и высокое внутренне сопротивление, достигающее нескольких ГОм, из-за нанометровых размеров и соответственно малых значений токов (единицы нА). В этом состоит специфика рассмотренной конструкции нанотриода и поэтому для встраивания подобных элементов в радиотехнические цепи и схемы необходимо разрабатывать соответствующие схемотехнические решения. Исследованная конструкция и полученные результаты расчетов могут быть использованы при разработке устройств вакуумной наноэлектроники.

**Список использованных источников:**

1. Han, Jin-Woo. Vacuum nanoelectronics: Back to future? – Gate insulated nanoscale vacuum channel transistor / Jin-Woo Han, Jae Sub Oh, M. Meeyappan // *Applied Physics Letters*, 2012. – P. 100.
2. Grzebyk, Tomasz. Field-emission electron source for vacuum micropump / Tomasz Grzebyk, Anna Gorecka-Drzazga // *Vacuum* 86, 2011. – P. 39.
3. Natori, Kenji. Ballistic/quasi-ballistic transport in nanoscale transistor / Kenji Natori // *Applied Surface Science* 254, 2008. – P. 6194–6198.
4. Driskill-Smith, A.A.G. Quantum interference in a vacuum nanotriode/ A.A.G. Driskill-Smith, D.G. Hasko, H.Ahmed // *Journal of Vacuum Science & Technology*, 2000. – P. 3481.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ SDR-ПЛАТФОРМ В СРЕДЕ MATLAB

Зайко А.М., Гражданкин С.П.

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

Мартиневич А.В.

В данной работе рассматривается возможность разработки систем передачи данных при помощи среды MATLAB и ориентированность реализации разработанных систем на платформах программно-конфигурируемого радио (SDR). Описана часть возможностей данного программного обеспечения в рамках рассматриваемой темы. Приведены сведения о необходимости использования подобных программных инструментов для разработчиков систем передачи данных в целях экономии временных, финансовых и материальных ресурсов. Показан пример реализации системы передачи данных при помощи пакета программ MATLAB на основе программно-аппаратной платформы ZedBoard с трансивером AD-FMCOMMS3-EBZ.

Развитие возможностей вычислительной техники позволяет улучшать характеристики и наращивать функционал систем передачи данных, с одной стороны. С другой стороны, процесс появления новых технологий становится значительно быстрее, что накладывает ограничения на время разработки и стоимость конечного изделия в условиях возрастающей конкуренции на рынке. В связи с этим необходимо внедрять и использовать инструменты (программные и аппаратные), которые будут удовлетворять данным требованиям.

Перспективным программным инструментом является пакет программ MATLAB.

MATLAB – это среда и одноимённый язык технических расчетов, предназначенный для решения широкого спектра инженерных и научных задач любой сложности. Эта среда включает большое количество расширений, специализированных пакетов и дополнений для различных областей применения [1]. Также MATLAB включает такие инструменты как Simulink и Stateflow.

Simulink – это графическая среда имитационного моделирования, позволяющая при помощи блок-диаграмм в виде направленных графов строить динамические модели, включая дискретные, непрерывные и гибридные, нелинейные и разрывные системы [2].

Stateflow предоставляет графический язык, который включает диаграммы переходов состояний, блок-схемы, таблицы переходов состояний и таблицы истинности. Это даёт возможность описать как алгоритмы MATLAB и модели Simulink реагируют на входные сигналы, события и условия в реальном масштабе времени [3].

Логотипы данных инструментов представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Логотипы основных инструментов пакета MATLAB

Специализированные расширения и дополнения содержат большое количество библиотек, позволяют упростить и ускорить процесс создания устройств. Для разработки беспроводных систем передачи данных основными пакетами расширений являются – Communications Toolbox, DSP System Toolbox, RF Blockset, Signal Processing Toolbox.

Следующим ключевым фактором для быстрой разработки систем передачи данных является использование платформ на основе технологии программно-конфигурируемого радио (Software-defined radio (SDR)). Технология SDR является одним из приоритетных направлений развития беспроводных средств связи и поддерживается международными и национальными программами и сообществами.

В общем случае это даёт возможность разработчикам создавать различные устройства, изменяя лишь программную конфигурацию и оставляя без изменений аппаратную составляющую. Данные аппаратные средства позволяют создавать, масштабировать и определять требования к конечному устройству. При помощи SDR-платформ можно разрабатывать как устройства целиком, так и отдельные их части. Примерами подобных технических решений являются, например, отладочные платы ZedBoard [4] или ZC706 с трансивером FMCOMMS1/2/3/4/5/6-EBZ [5], программно-аппаратные платформы семейства USRP, PXI, RIO от National Instruments и другие. Гибкость такого подхода напрямую связана с затратами и стоимостью конечного продукта.

Используя по отдельности или комбинируя эти инструменты, можно добиться значительного уменьшения времени разработки от этапа моделирования до прототипирования и отладки

разрабатываемых систем, создавать продукт достаточно простым для анализа и совместной работы нескольких специалистов, а также уменьшить количество разработчиков и сопутствующих расходов.

В качестве примера разработки системы передачи данных была создана модель в среде Simulink, показанная на рисунке 2. Модель имеет источник случайных двоичных данных, модулятор и демодулятор QPSK сигнала, фильтры, блок имитации беспроводного канала связи, цепи грубой и точной фазовой подстройки частоты, блок вычисления ошибок, блоки анализатора спектра и построения фазовых созвездий.

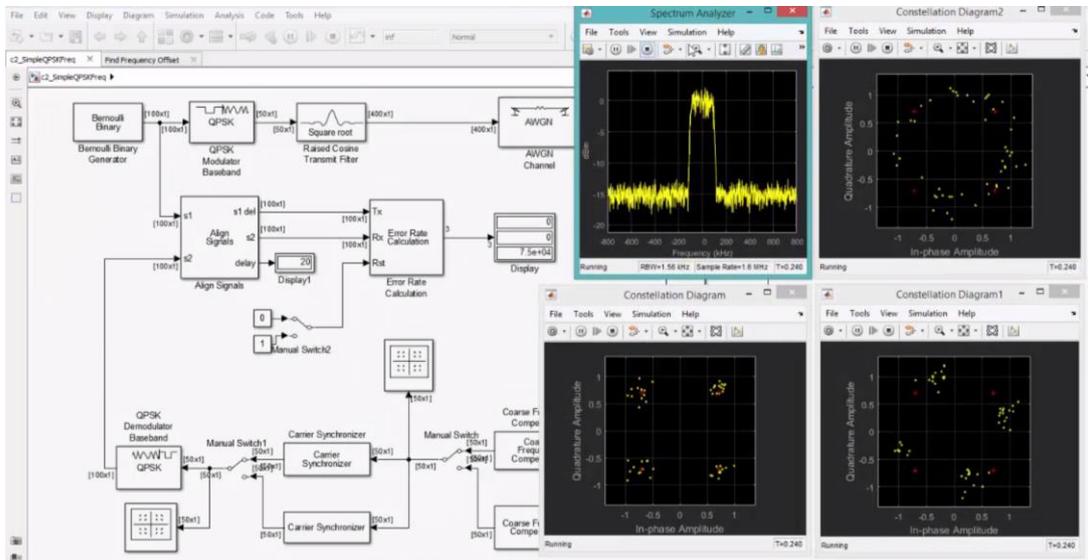


Рисунок 2 – Модель системы передачи данных и параметры сигналов в среде Simulink

На основании созданной модели была сконфигурирована и протестирована в качестве приёмника программно-аппаратная платформа ZedBoard с трансивером AD-FMCOMMS3-EBZ, представленная на рисунке 3. Результаты работы макетного образца близки к результатам работы математической модели в среде Simulink.



Рисунок 3 – Макет приёмного устройства на базе SDR-платформы

Таким образом, данная работа показывает преимущества и целесообразность использования данных инструментов при разработке беспроводных систем передачи данных.

**Список использованных источников:**

1. MATLAB [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>.
2. Simulink [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.mathworks.com/products/simulink.html>.
3. Stateflow [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.mathworks.com/products/stateflow.html>.
4. Zedboard [электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.zedboard.org/product/zedboard>.
5. AD-FMCOMMS3-EBZ [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.analog.com/en/design-center/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/eval-ad-fmcomms3-ebz.html#eb-overview>.

## МОДУЛЬ УМНОЖЕНИЯ ЧАСТОТЫ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 25,86 – 37,5 ГГц

Захаров И.А.

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

Сайков А.В. – научный сотрудник НИЧ БГУИР Центр 1.9

В работе рассматривается модуль умножения частоты миллиметрового диапазона длин волн.

Особое место в области радиоэлектроники занимают вопросы создания и применения радиоэлектронных СВЧ-систем и устройств, в том числе сантиметрового, миллиметрового, а в последние годы и субмиллиметрового диапазонов волн. При создании подобных систем используют разнообразные СВЧ-устройства и их соединения. Исследования характеристик и параметров СВЧ-устройств при их создании и проверка соответствия таких устройств спецификационным требованиям при производственном выпуске, а также многие другие задачи и исследования требуют соответствующих средств инструментального анализа СВЧ-устройств и их соединений.

Многообразие используемых в СВЧ-диапазонах типов устройств обуславливает многообразие параметров и характеристик, описывающих их свойства и требующих экспериментального определения. Это в свою очередь приводит к необходимости решения разнообразных измерительных задач, что возможно с помощью соответствующих измерительных средств. Парк, существующих и создаваемых измерительных средств весьма велик, так как должен обеспечивать измерения всех параметров и характеристик СВЧ-устройств, интересующих разработчиков систем и других потребителей, в различных частотных диапазонах и для разных используемых типов линий передач [1].

Также модули умножения частоты широко применяются в генераторах сигналов СВЧ-диапазона, а также в векторных и скалярных анализаторах цепей, и в другой измерительной технике.

В данном докладе рассматривается модуль умножения частоты, структурная схема которого представлена на рис. 1.

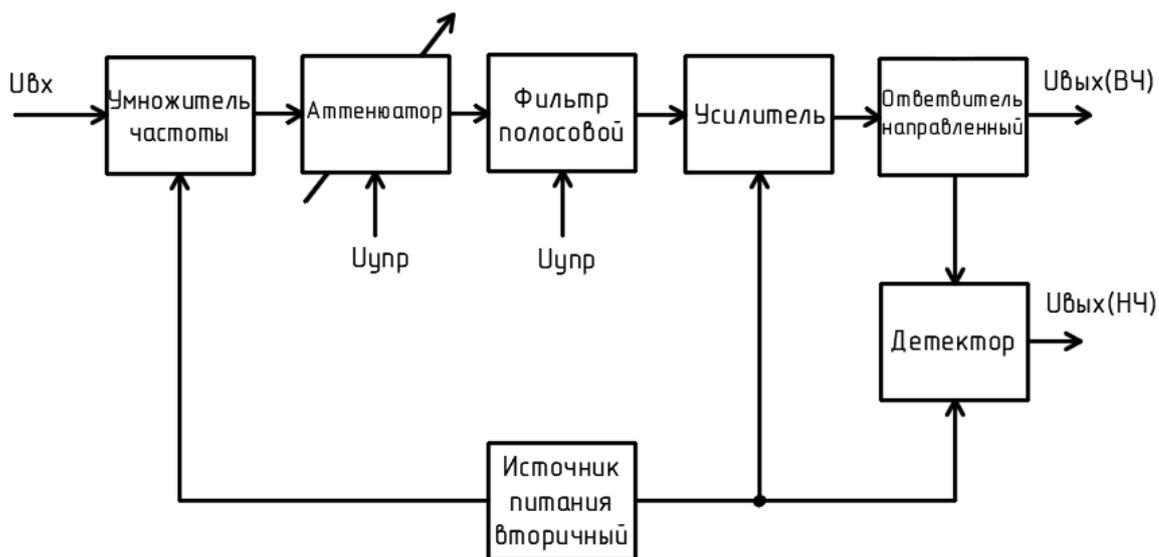


Рис. 1 – Структурная схема модуля умножения частоты в диапазоне частот 25,86 – 37,5 ГГц

Модуль содержит: умножитель частоты на 2, аттенюатор, фильтр полосовой, усилитель, ответвитель направленный, детектор и источник питания вторичный.

Умножитель частоты на 2 предназначен для непосредственного умножения частоты в 2 раза.

С помощью аттенюатора осуществляется управление уровнем выходного сигнала и обеспечивает диапазон регулировки до 30 дБ, а также при необходимости является частью петли автоматической регулировки мощности.

Полосовой фильтр используется в системе, так как после умножения частоты спектр сигнала обогащается и соответственно необходимо отфильтровать паразитные гармоники.

При помощи усилителя повышается уровень выходного сигнала до необходимого уровня.

Вторичный источник питания необходим для питания модуля, а также для формирования управляющих напряжений для умножителя и усилителя, и для создания рабочей точки детектора.

Направленный ответвитель необходим для ответвления части мощности.

Для выделения модулирующего сигнала используется амплитудный детектор.

Определение параметров модуля умножения частоты проводилось с помощью измерительного стенда, структурная схема которого представлена на рис. 2.

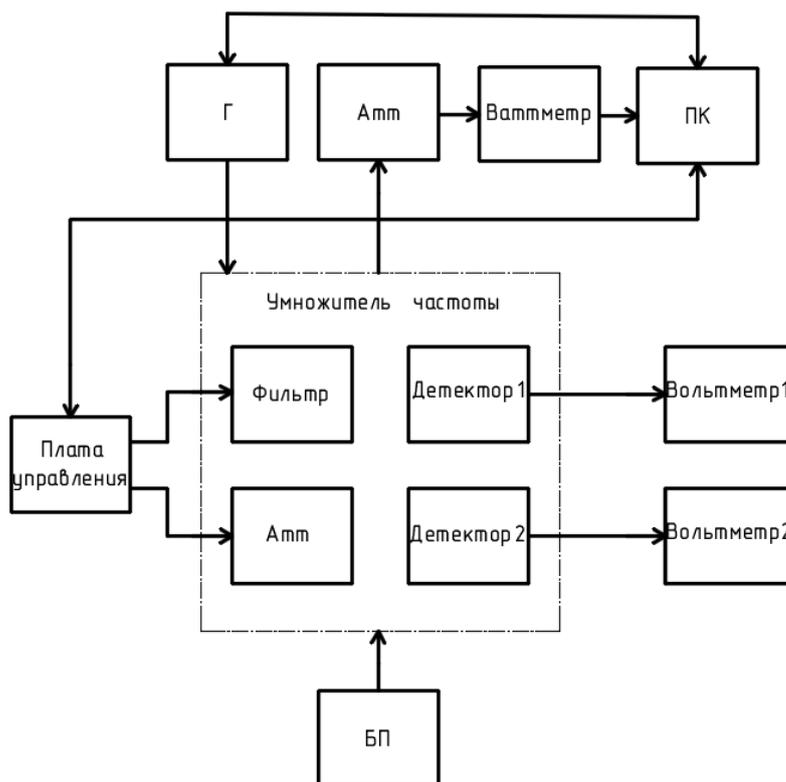


Рис. 2 – Структурная схема измерительного стенда

Генератор измерительных сигналов формирует сигнал в диапазоне частот 12,93...18,75 ГГц, который затем поступает на модуль умножения частоты через коаксиальный кабель. Одновременно с этим происходит управление фильтром и аттенуатором. Управление осуществляется при помощи специальной платы и специализированного программного обеспечения. Далее сигнал поступает на аттенуатор (на 10дБ), который защищает измерительный преобразователь ваттметра от высокой выходной мощности. На выходе аттенуатора крепится измерительный преобразователь ваттметра и далее по интерфейсу RS-232 подключается к персональному компьютеру. На ПК установлено специализированное программное обеспечение, реализующее алгоритмы измерения параметров.

На генераторе создается частотная точка, затем ПК отправляет необходимые значения частоты на плату управления, которая затем выставляет необходимое напряжение на фильтре умножителя. Напряжение на аттенуаторе умножителя постоянно и выставляется платой управления. После того, как установилась мощность и частота, плата управления выдерживает 300 мс, чтобы вычитать с ваттметра уровень мощности. Далее процесс повторяется для следующей частотной точки, шаг измерения может быть задан пользователем.

Модуль умножения частоты имеет следующие характеристики: диапазон рабочих частот 25,86 – 37,5 ГГц; максимальная выходная мощность 20 мВт; уровень гармонических составляющих не более -30 дБн; диапазон регулировки выходной мощности не менее +30 дБ; напряжение питания +7 В.

Список использованных источников:

1. А.И. Белоус, М.К. Мерданов, С.В. Шведов. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи. Техническая энциклопедия издание 2-е, дополненное. – Москва: Техносфера, 2018.

# ФОТОРЕЗИСТИВНЫЙ МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Иванченко В.О.

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

Стогначев Р.В.

Фоторезистивный метод. На слой меди наносится фоточувствительный слой. Далее через фотошаблон засвечиваются (обычно ультрафиолетом) определенные участки, после чего в специальном растворе смываются ненужные участки фоточувствительного слоя. Таким образом, формируется необходимый рисунок на медном слое. Далее следует обычное травление. Наносить фоторезист на текстолит можно разным способом. Наиболее популярные способы - это использование аэрозольного фоторезиста **POSITIV 20**. Этот способ схож с нанесением аэрозольных красок. Требуется аккуратности для обеспечения равномерного слоя и сушки. Применение пленочного фоторезиста. Наносится путем наклеивания специальной пленки подобно тому, как наклеиваются декоративные пленки. Сухой пленочный фоторезист обеспечивает постоянную толщину фоточувствительного слоя, прост в применении. К тому же он индикаторный, т.е. засвеченные участки хорошо видны. Пленочный фоторезист состоит из трех слоев пленки. В середине фоточувствительная пленка, покрыта с двух сторон защитными пленками. Со стороны, которая приклеивается к текстолиту - мягкая, с другой - жесткая. Пленочный фоторезист обладает рядом преимуществ перед аэрозольным. Во-первых, он не имеет запаха при нанесении, не требует сушки. Очень удобен при работе с небольшим количеством плат. В отличие от аэрозольного фоторезиста, где толщину слоя тяжело угадать, толщина пленочного фоторезиста одинакова всегда. Это упрощает подбор времени засветки. Пленочный фоторезист индикаторный. Т.е. визуально видны засвеченные участки.

Для изготовления платы фоторезистивным методом необходимо выполнить следующие 7 операций.

1. Подготовка файлов. Она включает панелизацию, вывод гербер файлов и подготовку файлов сверловки.

2. Печать фотошаблона. На основе гербер файла создаются файлы фотошаблонов (в классическом варианте их 6) и печатаются на струйном принтере.

3. Металлизация оверстий. Для соединения отверстий верхнего и нижнего слоев платы необходимо создать токовыводящий слой меди. Процесс металлизации заключается в погружении печатной платы последовательно в 6 растворов нагретых до определенной температуры. В конце плата погружается в электролит на час для затягивающего меднения, а потом помещается в печь для сушки.

4. Топология проводников. После металлизации плату необходимо очистить от нежелательных заусенцев и отпечатков пальцев, т.к. они могут испортить печатную плату. После этого наносится фоторезистивная пленка. Для качественного нанесения фоторезиста используется ламинатор, плата с нанесенным фоторезистом прокатывается по 3 раза с каждой стороны. Т.к. ламинатор также нагревает фоторезист, он затвердевает. После этого поочередно совмещаются фотошаблоны верхнего и нижнего слоев и производится экспонирование под ультрафиолетовой лампой в течение 2 минут. Фоторезист окончательно затвердевает и, после этого, погружается в проявочный раствор. Весь засвеченный текстолит остается на плате, а излишки растворяются. Печатная плата помещается в раствор персульфата аммония для травления. Процесс занимает от 10 до 20 минут, после чего заготовка промывается и проверяется на брак. После травления необходимо полностью убрать фоторезист, для чего плата помещается в раствор для раздубливания.

5. Защитная паяльная маска и шелкография. Перед нанесением паяльной маски плата промывается от отпечатков. После плата закрепляется в специальный штатив на магнитах, а сверху сетка с определенным размером ячейки. Подготавливается защитная маска. Смешивается в пропорции 2:1 с отвердителем. После чего специальным ракелем через сетку наносится защитная маска. Операция повторяется для 2 стороны платы и помещается в печь для предварительной сушки. Спустя час сушки плата достается, после чего необходимо дать маске высохнуть на открытом воздухе. На высушенной плате как и прежде совмещаются фотошаблоны слоев маски и засвечиваются под ультрафиолетовой лампой в течение 6 минут. После необходимо проявить паяльную маску. Для этого используется раствор 10% карбоната натрия. Реакция проходит в течение 1-2 минут. Заготовка после проявки промывается в проточной воде комнатной температуры. Если предусматривается нанесение шелкографии, то заготовка сушится от влаги. Следующим этапом после проявки защитной маски идет нанесение шелкографии. Если шелкография не требуется, то производится сразу УФ и окончательное отверждение. Сам процесс нанесения шелкографии не отличается от процесса нанесения защитной маски. Однако, для маски белого цвета время засвечивания составляет 1 минуту.

6. Окончательное отверждение. После всех операций, для придания прочности и стойкости к растворителям, защитную маску и шелкографию необходимо окончательно отвердить (задубить). Окончательное отверждение производится в печи. Рекомендуемый цикл отверждения 150 - 155°C в течение 60 - 90 мин. Оптимально 60 мин при 155°C.

7. Очистка от окислов. После дублирования контактные площадки под действием высокой температуры покрываются окислами. Для снятия окислов, заготовка помещается в раствор микроотравления на 30-60 сек.

#### Список использованных источников:

1. Технология многослойных печатных плат / Федулова А.А., Устинов Ю.А., Котов Е.П., Шустов В.П., Явич Э.Р. – М.: Изд-во Ostec, 1990. – 300 с.

2. Технология изготовления печатных плат: учеб. пособие / Брусицына Л.А., Степановских Е.И. – М.: Изд-во Ostec, 2011. – 52 с.

# АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕРТОЧНЫХ КОДОВ ПО ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ ВЕРОЯТНОСТИ БИТОВОЙ ОШИБКИ

Илькевич В.А.

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

Потапов В.Д. - к.т.н., доцент

В данной работе было проведено сравнение сверточных кодов, оптимальных по критериям МСР, ПОР и СОР. Так как существует достаточное количество оптимальных кодов с одинаковыми кодовыми ограничениями было проведено сравнение этих кодов по вероятности битовой ошибки с помощью моделирования алгоритмов декодирования в MatLab и произведён расчет верхней границы вероятности битовой ошибки.

В первую очередь сравниваются коды, выбранные по критериям МСР, ПОР и СОР по верхней границе вероятности битовой ошибки. Однако ее точное вычисление требует больших временных затрат. Поэтому верхняя граница вычисляется по усеченной передаточной функции сверточного кода при учете путей с расстояниями  $d = d_{CB}, d_{CB} + 1, \dots, d_{CB} + L_{yc}$  в формулах

$$T(D) \approx \sum_{d=d_{CB}}^{d_{CB}+L_{yc}} a_d D^d$$

$$P_b \approx \sum_{d=d_{CB}}^{d_{CB}+L_{yc}} c_d D^d \Big|_{D=e^{-R\frac{E_b}{N_0}}}$$

Далее необходимо рассмотреть влияние степени усечения  $L_{yc}$  на границу вероятности сверточного кода. Для примера взят сверточный код  $C(23,35)$ , применяемый в системах мобильной связи стандарта GSM. Результаты расчета вероятности ошибок битов сверточного кода  $C(23,35)$  показаны на рисунке 1. Кривые 1, 2, 3, 4, 5 соответствуют усечению

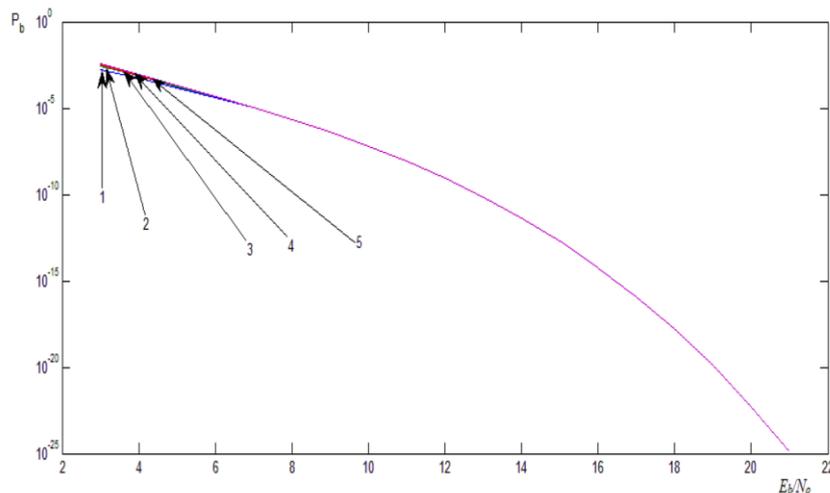


Рис. 1 – Граница вероятности битовой ошибки сверточного кода  $C(23,35)$

Из расчетов влияния степени усечения на границу вероятности сверточного кода следует, что слабая зависимость  $P_b(L_{yc})$  проявляется лишь при малых значениях  $E_b/N_0$ , а с их ростом эта зависимость сходит на нет. Следовательно, влияние слагаемых высоких степеней передаточной функции на значения  $P_b$  при высоком отношении  $E_b/N_0$  незначительно. Таким образом можно принять  $L_{yc} = 10$ , что значительно уменьшает объем вычислений.

Далее использована граница вероятности битовой ошибки для оценки разных кодов выбранных по критериям МСР, ПОР, СОР. Сравниваются хорошие коды по критериям МСР и СОР с кодовыми ограничениями  $K = 7, 10$  и  $11$  и при  $L_{yc} = 10$ . При сравнении вероятность битовой ошибки меньше у кодов по критерию СОР. Сравнение  $P_b$  сверточных кодов по критерию ПОР и СОР с кодовыми ограничениями  $K = 6, 7$  и скоростями  $1/2$  и  $1/3$  показало что сверточные коды, выбранные по критерию СОР, лучше сверточных кодов по критерию ПОР.

Кроме, того необходимо сравнить коды по вероятности битовой ошибки, полученной симуляцией. Рассмотрим сравнение вероятности битовой ошибки кода  $C(1167,1545)$  по критерию МСР и кода  $C(1151,1753)$  по критерию СОР с ограничением  $K = 10$ ; кода  $C(2335,3661)$  по критерию МСР и кода  $C(3345,3613)$  по критерию СОР с ограничением  $K = 11$ .

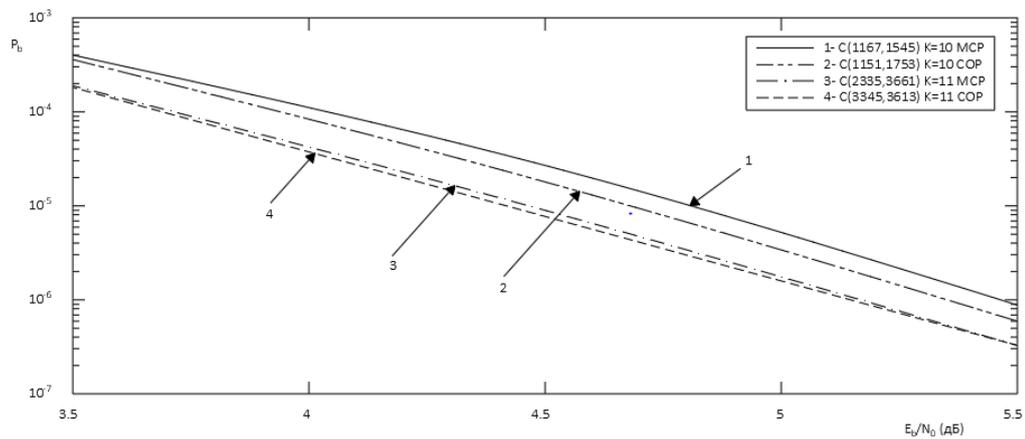


Рис. 2 – Сравнение вероятности битовой ошибки сверточных кодов по критериям MCP и COP, полученной симуляцией

На рисунке 2 приведены зависимости вероятности битовой ошибки кода  $C(51,71)$ , оптимального по критерию ПОР, кода  $C(53,75)$  по критерию COP с  $K = 6$ , и также кодов  $C(121,161)$  и  $C(133,171)$  с  $K = 7$ .

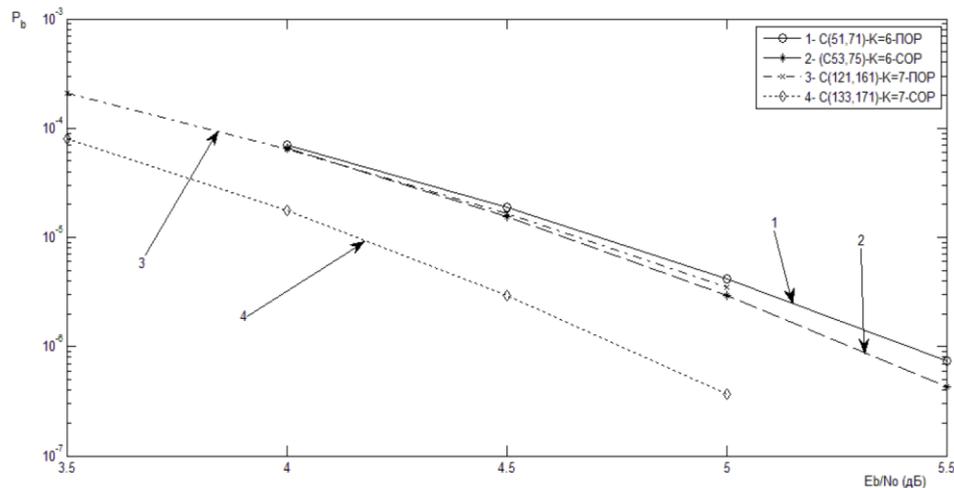


Рис. 3 – Сравнение вероятности битовой ошибки сверточных кодов по критериям ПОР и COP, полученной симуляцией

Сравнения этих зависимостей показывает, что коды удовлетворяющие критерию COP являются лучшими среди рассмотренных.

Список использованных источников:

1. Использование верхней границы вероятности битовой ошибки для поиска хороших сверточных кодов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-verhney-granitsy-veroyatnosti-bitovoy-oshibki-dlya-poiska-horoshih-svertochnyh-kodov/viewer>. – Дата доступа: 01.03.2020
2. Анализ эффективности современных помехоустойчивых кодов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-effektivnosti-sovremennyh-pomehoustoychivyyh-kodov>. – Дата доступа: 01.03.2020
  1. Данг Ким Нгок. Сравнение сверточных кодов по верхней границе вероятности битовой ошибки. 69-я Научно-техническая конференция СПб НТО РЭС, посвященная Дню радио, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014.
  2. Данг Ким Нгок. Исследование верхней границы вероятности битовой ошибки для поиска хороших сверточных кодов. Изв. Вузов России. Радиоэлектроника. 2014.
  3. David Naccoun, Guy Begin. High rate Punctured convolutional codes for Viterbi and Sequential decoding. IEEE Transactions on Communications, VOL. 37, No. 11 November 1989.

# ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СПЕКТРА АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Калин А.В.

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

Калютчик В.С. – к.т.н.

В статье предлагается имитационная модель методов оценки пространственного спектра широкополосных акустических сигналов в цифровых антенных решетках, основанная на модификации известных методов оценки пространственного спектра узкополосных радиосигналов: метод Кейпона (Capon), метод теплового шума (Thermal noise) и метод многосигнальной классификации (MUSIC), позволяющих преодолеть предел Рэлея и увеличить разрешающую способность антенной решетки. Приводятся описания функциональной схемы и имитационной модели, разработанной в программе LabVIEW.

Современные методы обработки сигналов в антенных решетках объединяют в себя два подхода: обработка во временной области (метод задержек и суммирования) и обработка в частотной области (метод Кейпона, метод теплового шума, метод многосигнальной классификации и др.) [1–3]. Последние представляют особый интерес, поскольку позволяют значительно увеличить разрешающую способность решетки, не меняя ее конфигурации, а только лишь за счет специальной математической обработки. Методы обработки в частотной области базируются на условии узкополосности спектров сигналов. Такое условие, как правило, выполнимо для радиосигнала, если ширина его спектра значительно меньше несущей частоты. Однако спектр акустического сигнала является широкополосным и занимает полосу в десятки килогерц. Модификация методов оценки пространственного спектра связана с широкополосностью частотного спектра акустического сигнала. Это означает, что вектор сканирования антенной решетки и корреляционная матрица сигналов должны быть вычислены для каждой частотной составляющей в отдельности. Разрешающая пространственная функция является результатом взвешенного суммирования отдельных функций, соответствующих частотным составляющим, превышающим определенный порог.

На рисунке 1 приведена обобщенная функциональная схема модифицированных методов оценки пространственного спектра акустического сигнала.

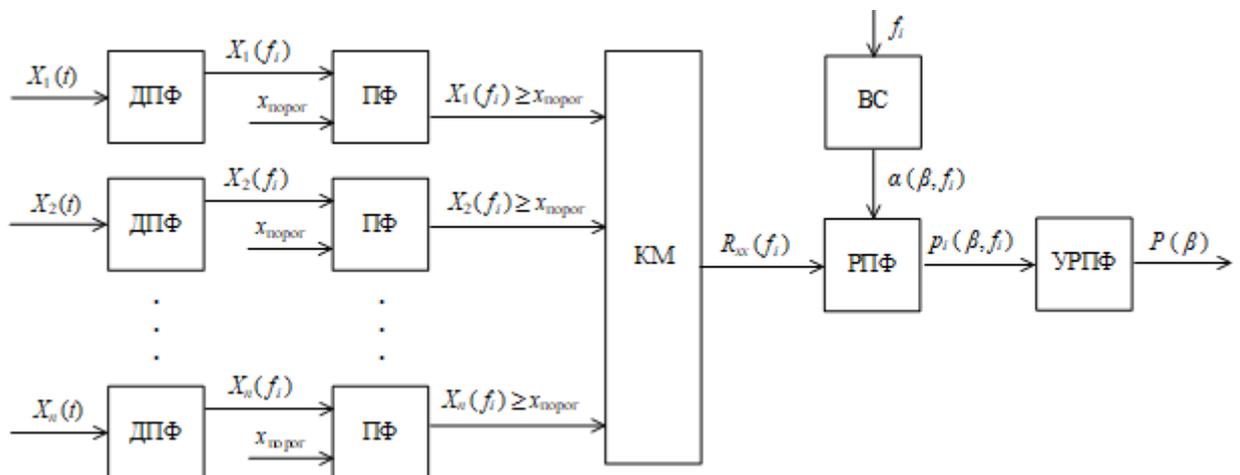


Рисунок 1 – Обобщенная функциональная схема модифицированных методов

Временные отсчеты входных сигналов  $X_1(t)$ ,  $X_2(t)$ , ...,  $X_n(t)$  преобразуются в частотную область  $X_1(f)$ ,  $X_2(f)$ , ...,  $X_n(f)$  при помощи блока, реализующего дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Полученные частотные компоненты поступают на вход порогового фильтра (ПФ), где происходит выделение частотных составляющих превышающих заданное пороговое значение  $X_{\text{порог}}$ . С выходов ПФ каждого канала антенной решетки сигналы поступают на вход вычислителя корреляционной матрицы (КМ)  $R_{xx}(f_i)$ , которая определяется для каждой выделенной частотной компоненты. Далее для каждой выделенной частоты строится вектор сканирования (ВС)  $\alpha(\beta, f_i)$ . Вычисленные КМ и ВС поступают на входы блока вычисления разрешающей пространственной функции (РПФ), которая также строится для каждой выделенной частотной компоненты, используя выражения известных методов: Capon, Thermal noise, MUSIC. Полученные функции  $p_i(\beta, f_i)$  поступают на входы блока усреднения разрешающих пространственных функций (УРПФ), на выходе которого формируется результирующая разрешающая пространственная функция  $P(\beta)$ .

На основании предложенной функциональной схемы была разработана имитационная модель в программе LabVIEW.

На рисунке 2 приведена блок-диаграмма фрагмента кода имитационной модели в программе LabVIEW.

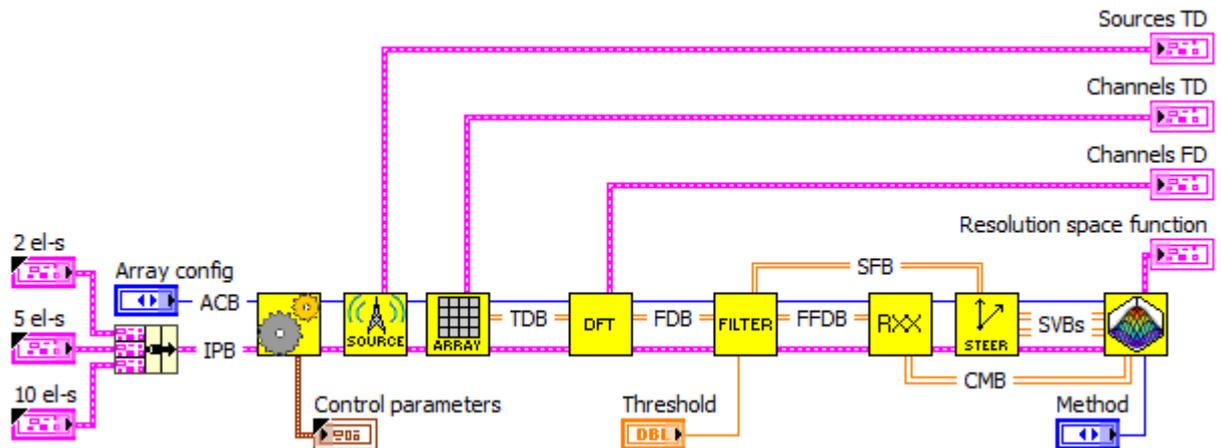


Рисунок 2 – Блок-диаграмма фрагмента кода имитационной модели в LabVIEW

Блок-диаграмма состоит из панелей ввода и вывода, подприборов (так принято называть функции в LabVIEW), соединительных шин и проводников.

Панели ввода:

- Array config – выбор конфигурации линейной решетки (2, 5 или 10 элементов);
- 2 el-s – входные параметры линейной решетки, состоящей из двух элементов;
- 5 el-s – входные параметры линейной решетки, состоящей из пяти элементов;
- 10 el-s – входные параметры линейной решетки, состоящей из десяти элементов;
- Threshold – пороговое значение частотного фильтра;
- Method – метод вычисления разрешающей функции (Capon, Thermal noise или MUSIC).

Панели вывода:

- Control parameters – контрольные параметры;
- Sources TD – графики моделей источников сигналов во временной области;
- Channels TD – графики сигналов в каналах решетки во временной области;
- Channels FD – графики сигналов в каналах решетки в частотной области;
- Resolution space function – график разрешающей пространственной функции.

Шины:

- ACB (Array Configuration Bus) – шина конфигурации решетки;
- IPB (Input Parameters Bus) – шина входных параметров;
- TDB (Time Domain Bus) – шина сигналов во временной области;
- FDB (Frequency Domain Bus) – шина сигналов в частотной области;
- FFDB (Filtered Frequency Domain Bus) – шина отфильтрованных сигналов в частотной области;
- SFB (Selected Frequencies Bus) – шина отобранных частот;
- CMB (Correlation Matrix Bus) – шина корреляционных матриц;
- SVBs (Steering Vector Buses) – шины векторов сканирования.

Предложенные модифицированные методы оценки пространственного спектра сигнала расширяют область применения известных частотных методов (Capon, Thermal noise и MUSIC) построения разрешающей пространственной функции и позволяют обрабатывать не только узкополосные радиосигналы, но и широкополосные акустические сигналы.

Разработанная имитационная модель позволяет определять эффективность модифицированных методов оценки пространственного спектра акустического сигнала при различных условиях функционирования, что позволяет ускорить проектирование акустических систем, предназначенных для определения угловых координат источников звука.

**Список использованных источников:**

1. *Acoustic Array Systems. Theory, implementation and application* / R. Mingsian // National Tsing Hua University, 2013. – 527 p.
2. Нечаев, Ю.Б. Алгоритмы диаграммообразования адаптивных антенных решеток в условиях многолучевого распространения радиоволн / Ю.Б. Нечаев. – Воронеж.: Научные ведомости вып. 21/1, 2012. – С.193-202.
3. Москалец, Н.В. Сравнительный анализ методов оценки направления прихода сигналов / Н.В. Москалец. – Харьков: Радиотехника вып. 188, 2017. – С.126-135.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СПЕКТРА АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Калин А.В.

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

Калютчик В.С. – к.т.н.

В статье приводятся результаты сравнительного анализа разрешающей способности методов оценки пространственного спектра акустического сигнала, полученные при помощи разработанной имитационной модели в программе LabVIEW. Сравниваются два класса методов: классический метод задержек и суммирования (Delay-and-Sum) и сверхразрешающие модифицированные методы: Кейпона (Capon), теплового шума (Thermal noise) и многосигнальной классификации (MUSIC).

Методы оценки пространственного спектра сигнала предназначены для определения угловых координат источников излучения, расположенных в дальней зоне относительно антенной решетки. Разрешающая способность классического метода задержек и суммирования ограничена шириной главного лепестка антенной решетки, измеренного по уровню половинной мощности (-3 дБ). В современных условиях цифровая антенная решетка должна обеспечивать высокую разрешающую способность по угловым координатам. Метод Кейпона, метод теплового шума и метод многосигнальной классификации позволяют значительно увеличить разрешающую способность решетки, не меняя ее конфигурации, а только лишь за счет специальной математической обработки [1–3].

Для моделирования использовалась имитационная модель, разработанная в программе LabVIEW. В качестве исходных данных использовались следующие параметры:

$S = 2$  – количество источников сигналов;

$\Delta t = 0,1$  мс – интервал дискретизации сигналов;

$N$  – количество отсчетов сигналов;

$A_{11} = A_{12} = A_{21} = A_{22} = 1$  – амплитуды спектральных составляющих первого и второго источников;

$f_{11} = 1$  кГц,  $f_{12} = 3$  кГц – частоты спектральных составляющих первого источника;

$f_{21} = 1,5$  кГц,  $f_{22} = 2$  кГц – частоты спектральных составляющих второго источника;

$X_{\text{порог}} = 0,01$  – пороговое значение фильтра;

$\beta_1 = \text{var}$  град – угол фронта волны от первого источника относительно нормали к решетке;

$\beta_2 = \text{var}$  град – угол фронта волны от второго источника относительно нормали к решетке;

$M = 10$  – количество элементов антенной решетки;

$d = 0,05$  м – расстояние между соседними каналами решетки;

$d/\lambda_{\text{min}} = 0,441$  – отношение расстояния между каналами решетки к наименьшей длине волны;

$\sigma = 40$  дБ – отношение сигнал/шум в каналах решетки;

$\beta_n = -90$  град – начальный угол сканирования;

$\beta_k = +90$  град – конечный угол сканирования;

$\Delta\beta = 0,1$  град – шаг угла сканирования.

На рисунке 1 показаны графики разрешающих функций, построенных методами Delay-and-Sum, Capon, Thermal noise и MUSIC при различной разности углов между источниками.

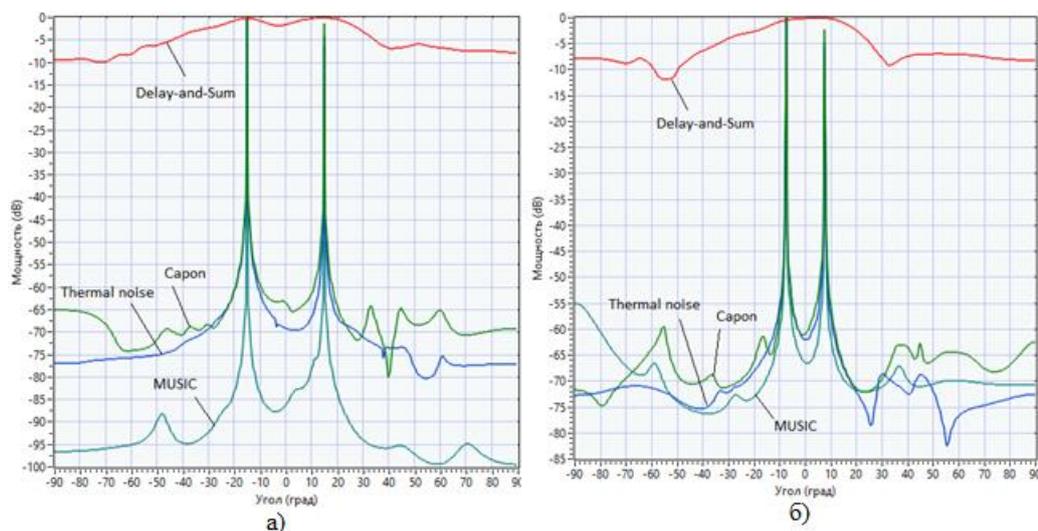


Рисунок 1 – Графики разрешающих функций: разность углов между источниками составляет 30 град – метод Delay-and-Sum дает различные максимумы (а); разность углов между источниками составляет 15 град – метод Delay-and-Sum дает неразличимые максимумы (б)

В таблице 1 представлены сравнительные характеристики разрешающей способности по угловым координатам классического метода Delay-and-Sum и модифицированных методов Capon, Thermal noise, MUSIC для различных углов прихода фронта волны от первого и второго источников относительно нормали к решетке. К параметрам сравнения относятся: различимость максимумов;  $h$ , дБ – средняя глубина провала между максимумами;  $\delta_{\beta 1}$ , град – среднеквадратическая ошибка определения угловой координаты первого источника;  $\delta_{\beta 2}$ , град – среднеквадратическая ошибка определения угловой координаты второго источника.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики разрешающей способности методов

Параметры	Классический метод задержек и суммирования					
	Разность углов прихода фронта волны от первого и второго источников					
	30 град	20 град	15 град	10 град	5 град	2 град
Различимость максимумов	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
$h$ , дБ	-1,8	-0,7	–	–	–	–
$\delta_{\beta 1}$ , град	0,3	1,5	–	–	–	–
$\delta_{\beta 2}$ , град	0,5	2,5	–	–	–	–
Параметры	Модифицированный метод Кейпона					
	Разность углов прихода фронта волны от первого и второго источников					
	30 град	20 град	15 град	10 град	5 град	2 град
Различимость максимумов	Да	Да	Да	Да	Да	Да
$h$ , дБ	-65,4	-62,3	-61,1	-59,7	-55,2	-45,7
$\delta_{\beta 1}$ , град	0	0	0,1	0,2	0,4	0,8
$\delta_{\beta 2}$ , град	0	0	0,1	0,1	0,3	0,5
Параметры	Модифицированный метод теплового шума					
	Разность углов прихода фронта волны от первого и второго источников					
	30 град	20 град	15 град	10 град	5 град	2 град
Различимость максимумов	Да	Да	Да	Да	Да	Да
$h$ , дБ	-69,6	-69,5	-62,0	-57,1	-56,0	-50,6
$\delta_{\beta 1}$ , град	0	0	0	0,1	0,3	0,6
$\delta_{\beta 2}$ , град	0	0	0,1	0	0,5	0,6
Параметры	Модифицированный метод многосигнальной классификации					
	Разность углов прихода фронта волны от первого и второго источников					
	30 град	20 град	15 град	10 град	5 град	2 град
Различимость максимумов	Да	Да	Да	Да	Да	Да
$h$ , дБ	-87,7	-87,2	-66,6	-66,0	-60,4	-57,8
$\delta_{\beta 1}$ , град	0	0	0,1	0	0,4	0,5
$\delta_{\beta 2}$ , град	0	0	0	0,1	0,3	0,7

Анализ полученных результатов (рисунок 1 и таблица 1) позволяет сделать вывод о целесообразности использования модифицированных методов оценки пространственного спектра акустического сигнала. Для заданных исходных параметров имитационной модели классический метод Delay-and-Sum позволяет определять угловые координаты источников с ошибкой не более 0,5 градуса при разности углов между ними 30 градусов. При этих же параметрах модифицированные методы Capon, Thermal noise и MUSIC дают ту же ошибку определения угловых координат при разности углов между источниками 5 градусов, что увеличивает разрешающую способность антенной решетки на 25 градусов. Из всех модифицированных методов метод MUSIC дает наиболее глубокий провал между максимумами, что объясняется сильным подавлением помех и аддитивного шума за счет разложения корреляционной матрицы на сигнальное и шумовое подпространства.

**Список использованных источников:**

1. Acoustic Array Systems. Theory, implementation and application / R. Mingsian // National Tsing Hua University, 2013. – 527 p.
2. Нечаев, Ю.Б. Алгоритмы диаграммообразования адаптивных антенных решеток в условиях многолучевого распространения радиоволн / Ю.Б. Нечаев. – Воронеж.: Научные ведомости вып. 21/1, 2012. – С.193-202.
3. Москалец, Н.В. Сравнительный анализ методов оценки направления прихода сигналов / Н.В. Москалец. – Харьков: Радиотехника вып. 188, 2017. – С.126-135.

## ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКЕ

*Карманова О.А.*

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

*Короткевич А.В. – к.т.н., доцент*

В статье рассматриваются проблемы обучения микро- и нано электронике, на основе использования перспективных методов интерактивного взаимодействия студента и педагога, через компьютерные виртуальные технологии, обеспечивающие получение высокого качества знаний и практических навыков, мотивирующие студентов к познанию и развитию их творческие способности.

Современный мир вступил в эпоху глобализации – процесс объединения в единую систему информационно-образовательного мирового пространства. Развитие информационных технологий предоставило новую, уникальную возможность проведения обучения специалистов технических вузов в высокотехнологической виртуальной образовательной среде, способствующей развитию актуальных институциональных образований и настраивающих системы взаимодействия между ними. Особенно, такая форма обучения актуальна в условиях проведения мероприятий, направленных на борьбу с распространением разного рода эпидемий, способных охватить подавляющее большинство стран мира, когда обучение в реальных условиях может стать недоступно.

При анализе развития микро- и наноэлектроники лауреат Нобелевской премии Ричард Фейнман, подчеркивал, что известные нам законы физики не запрещают создавать объекты «атом за атомом». Манипуляция атомами вполне реальна и не нарушает никаких законов природы. Практические же, трудности ее реализации обусловлены лишь тем, что мы сами являемся слишком крупными и громоздкими объектами, вследствие чего, нам сложно осуществлять такие манипуляции [1].

Микро- и нано манипуляции требуют использование современного дорогостоящего оборудования, которые необходимо систематически обновлять, в связи с быстрым моральным износом. Усложнение разрабатываемых устройств микро- и нанотехники приводит к тому, что подготовка IT специалистов должна включать такие важные составляющие формирования базового набора компетенций, как знание теоретических основ информационных технологий, методов моделирования и проектирования компонентов микро- и нанотехники, а также наличие практических навыков использования наноструктур и нанотехнологий, к примеру:

- изготовление электронных схем (в том числе и объемных) с активными элементами, размерами сравнимыми с размерами молекул и атомов;
- разработка и изготовление наномашин, т.е. механизмов и роботов размером с молекулу;
- непосредственная манипуляция атомами и молекулами и сборка из них всего существующего.

Особенно остро стоит проблема интеграции теоретического материала с практическим применением в производстве для обучения технических специалистов. Использование элементов научно-исследовательской работы в учебном процессе позволяет студентам реализовывать свое инженерное творчество, получать опыт в проведении экспериментов, близких к реальной деятельности, в целом, повысить качество получаемого технического образования. Чем выше уровень интеграции науки и образования, тем большим потенциалом успешного развития обладает университет [2].

Огромным шагом на пути к решению проблем обучения микро- и наноэлектронике стало появление специальной компьютерной учебной среды, содержащей интерактивные виртуальные учебные объекты. Анализ мирового опыта формирования национальных и региональных программ по новым научно-техническим направлениям (микросистемная техника и нанотехнология) свидетельствует о том, что появившиеся в настоящее время интерактивные обучающие компьютерные системы призваны обеспечить доступность, непрерывность и высокое качество образования, на основе перспективных компьютерных технологий (Интернет, проектирование, моделирование). Цель таких инсталляций – сделать так, чтобы обучаемым было интереснее и легче изучать предметы, а преподавателям дать эффективный инструмент для реализации своих самых смелых педагогических замыслов. Главными недостатками имеющихся обучающих компьютерных комплексов являются их высокая цена и необходимость постоянного дорогостоящего сопровождения.

Актуальность создания «Интерактивного обучающего комплекса по микросистемным технологиям», в первую очередь, обусловлена подготовкой в университете специалистов новой формации, таких, которые способны самостоятельно творчески мыслить, формировать и реализовывать принимаемые решения.

Цель проекта «Интерактивный обучающий комплекс по микросистемным технологиям» – разработать системный комплекс адаптированного теоретического лекционного материала с мультимедийными дополнениями, помогающий слушателям быстрее и полнее воспринимать новые знания; адаптированного практического материала, оснащенного набором интерактивных компонентов и элементов микросистем, на основе трехмерной симуляции физических процессов и явлений, при конструировании микроустройств на виртуальном тренажере, позволяющий, благодаря

научному и техническому оснащению, не только отработать практические навыки, но принять участие в новых разработках.

Преимущества проектируемого «Интерактивного обучающего комплекса по микросистемным технологиям»:

- внедрение комплекса представит возможность студентам изучить лекции и закрепить теоретические знания, в рамках дисциплины: «Микро- и наноэлектромеханические устройства», приобретать необходимые практические навыки, не только во время ограниченных часов лабораторных работ в условиях реального эксперимента, но и дистанционно, неограниченное время, в виртуальной лаборатории (реалистичной графической визуализацией объекта исследования с прототипом применяемых трехмерных моделей разрабатываются в детальном соответствии с аналоговым оборудованием, а для динамической прорисовки объектов виртуального трехмерного пространства используется шейдерная технология, что позволяет добиваться высокого качества изображения в отношении прорисовки фактуры материалов, динамического освещения и построения теней) факультета Радиотехники и электроники кафедры Информационных радиотехнологий университета;

- интерактивные и коммуникационные свойства комплекса представят преподавателю возможность обновления контента, ведения интерактивного общения со студентами, определения последовательности изучения материала;

- использование современных имитационных компьютерных моделей позволит создать полноценную иллюзию работы с реальным оборудованием, фиксировать результаты обучения, что даст возможность педагогу получать готовые результаты уровня обученности по дисциплине и включать, при необходимости, другие виды, формы и методы обучения в образовательный процесс.

Практическая значимость «Интерактивного обучающего комплекса по микросистемным технологиям» определяется областью возможного применения:

- дистанционное обучение;
- демонстрационное сопровождение лекций;
- лабораторные занятия студентов и практикумы в компьютерных классах университета;
- системы повышения квалификации персонала;
- научные исследования с применением компьютерного проектирования и моделирования.

Таким образом, «Интерактивный обучающий комплекс по микросистемным технологиям», благодаря насыщенности необходимым, понятным теоретическим и практическим материалом, обладающий интерактивностью и круглосуточной доступностью с любой точки мира, может стать удобным способом обучения по предмету: «Микро- и наноэлектромеханические устройства».

При разработке «Интерактивного обучающего комплекса по микросистемным технологиям» использовались современные эффективные информационные и педагогические технологии, нацеленные, как на повышение профессионализма, так и в целом, на развитие когнитивных способностей обучающихся. Современные тенденции научно-технического развития демонстрируют, что в наступившем веке образованию придется стать непрерывным процессом в жизни каждого человека, который хочет быть востребованным на рынке труда. Образование должно продолжаться в течение всей его жизни. Только так, современный человек, сможет адаптироваться к технологическим инновациям, своевременно овладевать новыми знаниями и направлениями профессиональной деятельности, иметь возможность систематически повышать свое мастерство, следовательно, владеющего современными технологиями для дальнейшего карьерного роста инженера, что позволит обучающимся открыть путь к успеху, более благополучной и счастливой жизни; предоставит возможность студентам для дистанционного обучения, в том числе, с ограниченными физическими возможностями.

**Список использованных источников:**

1. Фейнман, Р. Ф. Внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики\*[Электронный ресурс] // Р. Ф. Фейнман. Лекция в Калифорнийском технологическом институте в 1960 г., – Режим доступа: <http://dochem.msu.su/rus/jvho/2002-5/4.pdf>. – Дата доступа: 21.02.2020.

2. Внедрение элементов научно-исследовательской работы в процесс высшего технического образования года [Электронный ресурс] //С. А. Биран, А. В. Короткевич, Д. А. Короткевич (Республика Беларусь, Минск, БГУИР) – Режим доступа: [https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/12111/1/Biran\\_Vnedreniye.PDF](https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/12111/1/Biran_Vnedreniye.PDF). – Дата доступа: 17.02.2020.

## МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБНАРУЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИНАМИКИ СПЕКТРАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

Космач Н. В., Рябцев П. Г.

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

Давыдов И.Г. – к.т.н., доцент

Техническая диагностика в последнее время приобретает особую актуальность в связи с достижением предельных значений ресурсных параметров машин и оборудования. Для оценки технического состояния значительного числа промышленных объектов и оборудования успешно применяется вибродиагностика. В системах вибродиагностики применяются первичные вибропреобразователи, размещаемые на объекте, при этом измеряется ускорение, анализируется его огибающая и осуществляется слежение за значимыми признаками дефектов.

Для автоматического определения дефектов методом огибающей необходимо знать кинематическую схему оборудования и параметры элементов (для подшипников качения — это количество тел качения, диаметр сепаратора, диаметр внешнего и внутреннего кольца). Также необходима частота вращения вала. Однако это не дает точного представления о степени выраженности дефекта. В качестве примера будет рассмотрен подшипник ветровой турбины мощностью 2 МВт.

Анализ дефекта был произведен на резонансе подшипника 9 – 11 кГц. Для мониторинга были выбраны компоненты, относящиеся к дефекту подшипника и превышающие уровень 3 дБ.

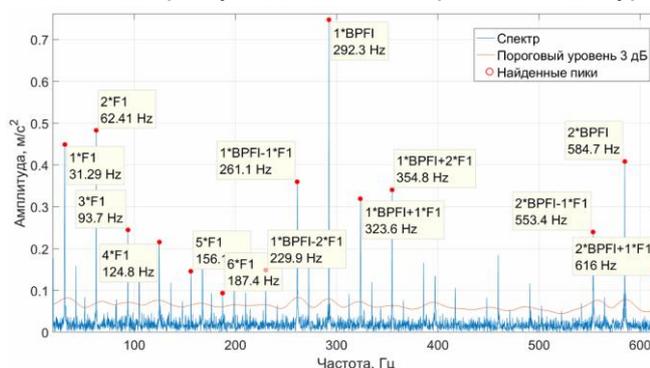


Рисунок 1. – Спектр сигнала с дефектного подшипника качения

На рисунке 1 представлен дефект внутренней обоймы подшипника качения. Шаблон в спектре огибающей имеет вид  $r \cdot F1$ ,  $k \cdot BPFI + n \cdot F1$ , данный шаблон был представлен в источнике 2, где BPFI – прохождение тел качения по внутреннему кольцу, F1 – частота вращения вала.

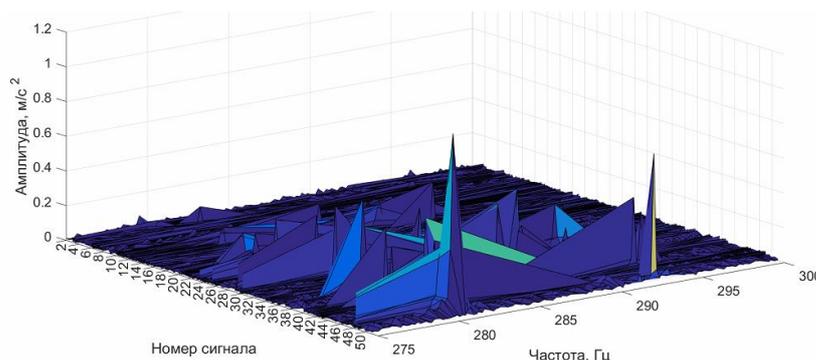


Рисунок 2. – Изменение компоненты 1\*BPFI

На рисунке 2 изображено изменение частоты дефекта 1\*BPFI, которое показывает, что шаблон дефекта может существенно изменяться за период развития дефекта.

Автоматическое обнаружение дефекта требует наличия информации о шаблоне и состоянии оборудования на начало съема данных. Однако, следует отметить, что для качественной диагностики также необходимы данные об изменении параметров подшипника и скорости вращения вала.

### Список использованных источников:

1. Рэндалл Р. Б., Частотный анализ
2. Барков Н. А., Введение в виброакустическую диагностику роторных машин и оборудования
3. Eric Bechhoefer Processing for Improved Spectral Analysis / Eric Bechhoefer, Brandon Van Hecke, David He – Green Power Monitoring Systems, LLC, Vermont, 05753, USA.

## НАВИГАЦИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

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

Кукушкин А.В.

Половения С.И. – к.т.н., доцент

В данной работе рассматривается алгоритм управления, обеспечивающий согласованное перемещение группы роботов в неопределенной трехмерной среде с препятствиями. Неопределенность среды заключается в наличии априори неизвестных препятствий, часть которых может быть нестационарными. Мобильные роботы группы должны автоматически распределиться в заданной прямоугольной области на плоскости и двигаться в направлении, перпендикулярном указанной области, по возможности сохраняя заданное взаимное расположение.

Для успешной навигации в пространстве бортовая система робота должна уметь строить маршрут, управлять параметрами движения (задавать угол поворота колес и скорость их вращения), правильно интерпретировать сведения об окружающем мире, получаемые от датчиков, и постоянно отслеживать собственные координаты.

Технические сложности мобильной навигации:

1 чтобы двигаться к цели, роботу необходимо сформировать достаточно точный образ окружающего его пространства;

2 в ходе движения робот должен быстро и точно управлять мотором и положением колес;

3 робот должен знать свое реальное местонахождение, а оно почти всегда отличается от хранящегося в бортовой системе.

Система управления мобильным роботом должна решать следующие задачи:

а) обработка сенсорных данных (в т.ч. данных от интерфейса с оператором) с целью сбора информации о роботе и внешней среде вокруг него;

б) планирование мероприятий по уяснению целевого задания и планирование последовательности подзадач, необходимых для выполнения этого задания;

в) формирование таких программных траекторий движения МР, которые бы приводили к выполнению роботом локальной подзадачи (например, прибытие к целевой точке в среде с препятствиями);

г) формирование таких задающих воздействий на исполнительные механизмы робота, которые бы приводили к максимально точному и быстрому выполнению ими программной траектории движения.

Составление карты среды:

Сначала формируется карта рабочей зоны робота, при этом внешняя среда дискретизируется, и каждому участку, содержащему препятствие, ставится в соответствие информация о типе этого препятствия.

Также предполагается, что для определения проходимости участков среды используется дистантная сенсорная подсистема сканирования на основе лазерного дальномера, а определение пройденного пути осуществляется с помощью одометрической подсистемы с применением метода пассивного колеса. Построение карты происходит одновременно с исследованием внешней среды

Участки с номерами 1-8 считаются потенциально проходимыми.

Для уточнения их проходимости робот осуществляет последовательное сканирование данных участков. Сканирование начинается с участка номер 1.

Если данный участок свободен, то выполняется перемещение в среде в направлении центра первого участка как показано на рисунке 1. Причем величина перемещения равна максимальному из габаритных размеров участков, на которые дискретизируется среда.

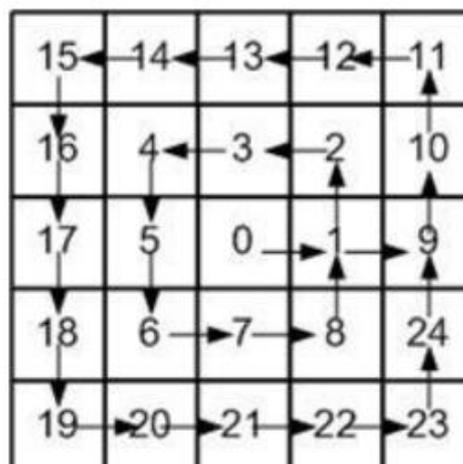


Рисунок 1 – Пример сканирования и перемещения мобильного робота

После этого считается, что робот переместился в центр следующего свободного участка. При этом координаты центра данного участка наносятся на карту.

Также наряду с координатами центра каждому участку ставятся в соответствие индексы смещения по координатным осям X, Y относительно начального участка 0.

Это делается для того, чтобы упорядочить хранение карты среды в памяти робота в соответствии с индексами участков. После того, как робот нанес информацию о первом участке на карту, он сканирует проходимость участков 2, 3, ..., 8 двигаясь против часовой стрелки по периметру участка 0, как показано на рисунке.

Если какой-то из данных участков оказывается занятым, то робот определяет, находится ли на нем препятствие либо цель и вносит информацию о данном участке на карту. После обследования участков 1-8 робот расширяет зону исследований и переходит к сканированию участков 9-23 и т.д. Данный процесс продолжается до тех пор, пока во внешней среде не останется ни одного неисследованного участка. После этого в памяти робота формируется карта его рабочей зоны.

Исходя из этого, строим алгоритм составления карты местности (Рисунок 2)

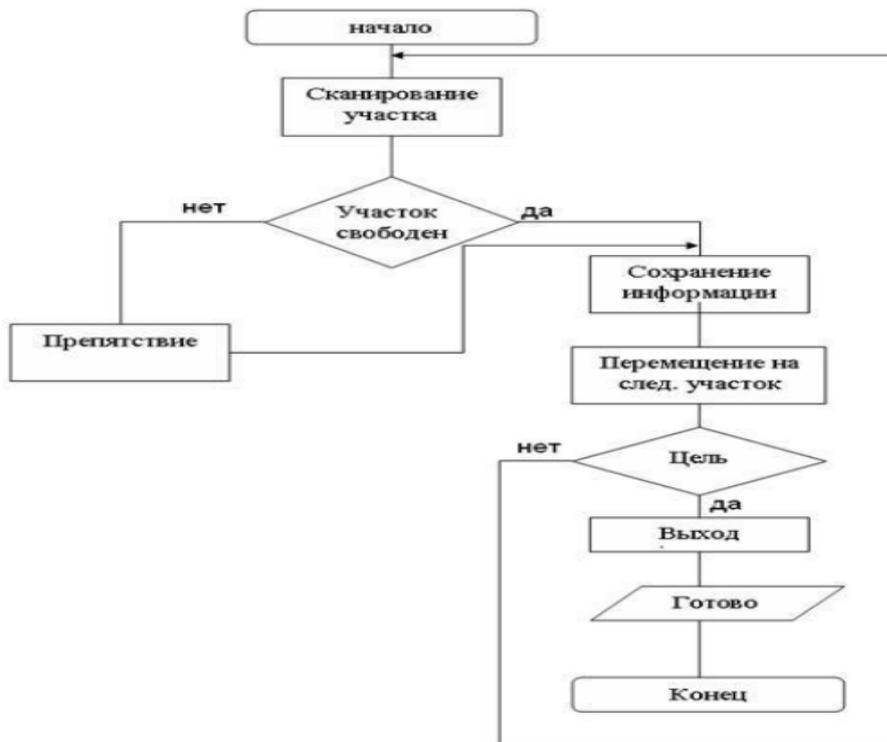


Рисунок 2 – Алгоритм составления карты местности

Результат работы алгоритма представлен на рисунке 3.

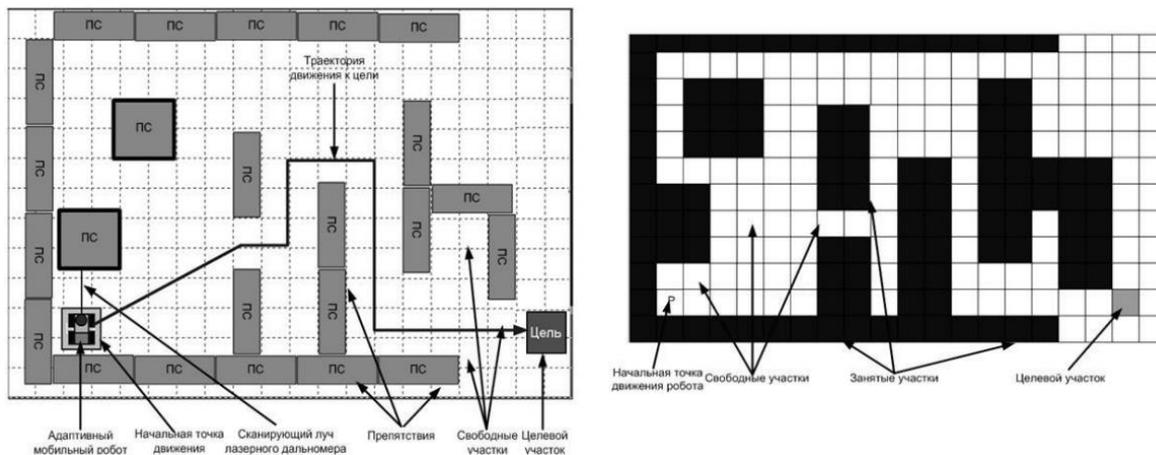


Рисунок 3 – Перемещение мобильного робота с постройкой топологии местности

Список использованных источников:

1. Брага С.Ньютон, "Создание роботов в домашних условиях", НТ Пресс, 2007, 368 с.
2. Предко М. "Устройство управления роботами. Схемотехника и программирование", ДМК Пресс, 2004, 406 с.
3. Айзек А. "Три закона робототехники", Эксмо-Пресс, 1999, 72 с.

## ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ IP-ТЕЛЕФОНИИ ASTERISK И CRM-СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Кулешевич И.С.

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

Шаткевич М.С., Славинская О.В. – канд. пед. наук, доцент

Общество постепенно вступает в цифровую эпоху. Мы видим, что в последнее время значительно увеличился объем информации в различных сферах жизни человека, которую необходимо анализировать, хранить, обрабатывать. В результате этого возникла необходимость разработки и внедрения автоматизированных систем, которые позволяют выполнять данные операции. Статья описывает разработанный нами программный модуль взаимодействия системы IP-телефонии Asterisk и CRM-системы предприятия ООО «Алеста-Транзит», выступившей его заказчиком.

ООО «Алеста-Транзит» [1] – динамично развивающаяся компания, работающая в сфере оказания таможенных услуг. Компания осуществляет: предоставление электронного предварительного информирования, поручительство при таможенном транзите товаров, предоставление транзитной декларации, формирование электронного экспортного манифеста. Приоритетами в оказании услуг у компании являются качество и кратчайшие сроки оформления, а также – круглосуточное сопровождение перевозчика на всех этапах доставки груза (от загрузки и подготовки документов до завершения процедуры транзита).

В государственных и частных организациях, осуществляющих свою деятельность в сфере оказания таможенных услуг, важным аспектом работы является связь с перевозчиками и водителями для решения различных возникших ситуаций. Поэтому появилась необходимость вести автоматизированный журнал вызовов, чтобы контролировать звонки на тот или иной офис.

Для выполнения автоматизации журнала вызовов нами по заказу ООО «Алеста-Транзит» разработан модуль, который позволяет:

- формировать журнал вызовов;
- вести поиск по журналу;
- отправлять СМС сообщение на номер телефона.

Входными данными для разработанного программного средства являются:

- IP адрес сервера Asterisk;
- порт сервера;
- логин и пароль сервера.

Выходными данными разработанного программного средства является автоматизированная база данных совершенных звонков.

Основным преимуществом данного модуля по сравнению с существующими аналогами является возможность его интеграции с основным автоматическим рабочим местом компании.

Разработанный нами модуль имеет функцию автообновления с сервера путем сверки версии программы на сервере и на рабочем месте. Это позволяет удаленно вносить изменения в программу, добавлять в модуль новые функции.

Программный модуль позволяет оператору рабочего места быстро определить с каким офисом связывался тот или иной контакт, переадресовать на нужный офис для решения возникших вопросов.

### Список использованных источников:

1. *Alesta: таможенные услуги [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.alesta.group/index.html>. – Дата доступа : 25.03.2020.*
2. *Мадсен, Л. Астериск – будущее телефонии / Л Мадсен, Дж. Меггелен, Дж Смит, – СПб. : Символ-плюс, 2008. – 656 с.*
3. *Осипов, Д. Базы данных и Delphi. Теория и практика / Д. Осипов – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 752 с.*
4. *Осипов, Д. Delphi. Программирование для Windows, OS X, iOS и Android / Д. Осипов – СПб. : БХВ-Петербург, 2014. – 464 с.*

## ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ БИЗНЕС-МЕССЕНДЖЕР

Куницкий П.В.

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

Малинина Т.А., Славинская О.В. – канд. пед. наук, доцент

В последние годы как малый, так и большой бизнес начинают развиваться, подстраиваться под новшества технологического прогресса. Тем самым появляется возможность привлечь к себе новых клиентов, поддерживать с ними прямую связь посредством бизнес-мессенджеров. Наша статья описывает разработанное веб-приложение бизнес-мессенджер для ООО «ТитанСофт».

В интернете сегодня представлены все виды бизнеса и категории потребителей.

Веб-приложения помогают готовить, покупать, поддерживать связь с клиентами, выбирать автомобили, растить детей, изучить иностранный язык и т.п. Новые технологии дают возможность разработчикам создавать продукт под любой спрос, вкус и финансовые возможности. За простотой и доступностью популярных мессенджеров таится большой потенциал для бизнеса. Несмотря на кажущуюся простоту и доступность мессенджеров, все больше примеров из мира бизнеса подтверждают их эффективность.

Мировые бренды доказывают, что сегодня можно подобрать не только соцсети для любого бизнеса, но и найти самый подходящий для своей компании мессенджер. Можно отметить несколько причин использования бизнес мессенджеров [2]: они охватывают большой процент аудитории, становятся эффективным инструментом продаж, многие из них позволяют пересылать разнообразный контент, совмещают в себе режим реального времени и возможность отложенного ответа, подразумевают максимально быстрое прочтение ответа и высокую скорость реакции за счет push-уведомлений, обеспечивают высокий уровень приватности.

Существует большое количество мессенджеров, например: Cleversite, Jivosite, RedHelper, Webconsult, Livetex, Streamwood, Siteheart, Битрикс24 и др. Но так или иначе они не все идеально подходят для бизнеса. У каждого мессенджера присутствуют как большие плюсы, так и минусы.

Бизнес-мессенджер для нашего заказчика – ООО «ТитанСофт» разрабатывается в соответствии с требованиями компании отдела продаж. UI разработка мессенджера представлена на рис. 1.

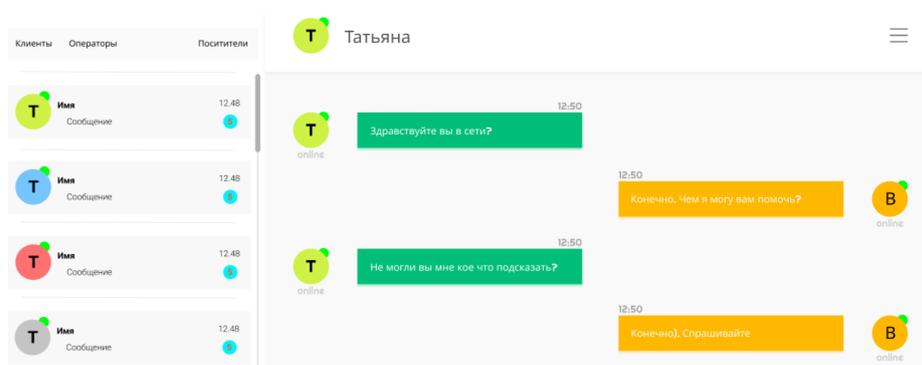


Рисунок 1 – Наглядная UI разработка веб-приложения

В мессенджере присутствует простой и понятный дизайн, источник перехода посетителей, сохранение истории переписки, переписка в реальном времени, отслеживание графиков эффективности работы менеджеров, отправка документов.

Входные данные: сообщение, мобильный телефон, имя. Выходные данные: история общения с клиентами, информация о посетителях, письма с ежедневной статистикой, отчеты о работе менеджеров.

Основным преимуществом данной разработки по сравнению с аналогами является упрощенный механизм взаимодействия компании с клиентом, отсутствие высоконагруженных частей программы, влияющих на загрузку веб-страницы, понятная и простая интеграция. В будущем возможна доработка дополнительных функций программы отделом продаж.

**Список использованных источников:**

1. Как работает веб-приложение // Semantica: Блог. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://semantica.in/blog/web-prilozhenie.html>.
2. Мессенджеры в бизнесе // CoSSa [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cossa.ru/276/175559/>.

# АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КАНАЛА СВЯЗИ ДЛЯ ЗАЩИЩЕННЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

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

Кутья А.С.

Дубровский В.В. – кандидат физико-математических наук, доцент

Тема работы: «Алгоритмы оптимизации пропускной способности канала связи для защищенных систем передачи информации».

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что важным элементом любого канала передачи данных, независимо от ее сложности и назначения, являются программные и программно-аппаратные средства кодирования.

Цель работы состоит в оценке пропускной способности канала связи для защищенных систем передачи информации. Необходимо решить проблему информационной безопасности инфокоммуникационной системы, функционирующей в условиях действия аддитивных и мультипликативных помех.

В связи с интенсивным развитием цифровых систем передачи и обработки информации актуальной задачей является обеспечение высокой ее достоверности или минимальной вероятности ошибочного приема. Эффективным способом решения этой задачи является применение помехоустойчивого или корректирующего кодирования информации. Следовательно, выбор помехоустойчивого кода, метода кодирования и алгоритма декодирования информации является актуальной задачей теории и практики помехоустойчивого кодирования.

Для передачи данных по моделируемому защищенному каналу используется модифицированный код Хэмминга. Параметры кодов Хэмминга:  $n = 2^m - 1$ ,  $m > 1$ ;  $k = n - m$ ;  $d = 3$ ; проверочная матрица  $H = (1, \alpha, \alpha^2, \dots, \alpha^{n-1})$ , где  $\alpha$  – примитивный элемент поля Галуа  $GF(2^m)$  [1].

Столбцы проверочной матрицы являются элементов поля  $GF(2^m)$ , то есть векторами из  $P_n$  в базе  $1, \alpha, \alpha^2, \dots, \alpha^n$  для примитивного элемента  $\alpha$  поля  $GF(2^m)$  [2].

Расстояние Хэмминга между двумя векторами  $\bar{x}, \bar{y} \in P_n$  – это число  $dist(\bar{x}, \bar{y})$  несовпадающих координат данных векторов. Весом  $wt(\bar{x})$  векторов из пространства  $\bar{x} \in P_n$  называют число ненулевых координат этих векторов [2].

Предлагаемый алгоритм обладает следующими свойствами:

- 1) Все одиночные битовые ошибки могут быть исправлены;
- 2) Все двойные битовые ошибки могут быть обнаружены;
- 3) Все соседние битовые двойные ошибки могут быть исправлена
- 4) Вероятность неверного исправления для несмежных двойных ошибок снижена.

Характеристики линейного блочного кода полностью определяется его H-матрицей. Для того, чтобы обнаружить все одиночные битовые ошибки, соответствующие синдромы ошибок должен быть уникальными. Следует учитывать, что синдром для однобитовой ошибки в бите с позицией  $p$  совпадает с  $p$ -й столбцом H-матрицы. Для того, чтобы однозначно идентифицировать все одиночные битовые ошибки, все столбцы H-матрицы должны быть уникальными [3].

Для того, чтобы обнаружить все двойные ошибки в битах, соответствующий синдромы должны отличаться от всех синдромов однобитовых ошибок.

Синдром для двойной битовой ошибки определяется операцией исключающее ИЛИ (XOR) соответствующих столбцов H-матрицы. Так что не может быть 3-цикла в H-матрицах.  $k$ -цикл относится к набору  $k$  линейно зависимых столбцов матрицы проверки на четность, то есть, когда проведены все операции XOR, в результате имеется полностью нулевой столбец. Для исправления всех смежных двойных битовых ошибок, синдромы близлежащих двойных битовых ошибок должны быть отличны друг от друга, а также отличается от синдромов всех однобитовых ошибок [4].

Определим условия, которым должны удовлетворять H-матрицы для предлагаемого кода:

- 1) Не все столбцы нулевые;
- 2) Все столбцы являются различными;
- 3) Отсутствует линейная зависимость, включающая 3 или меньше столбцов т.е. отсутствуют 2-циклы, 3 циклы допускаются [5].
- 4) Отсутствует линейная зависимость столбцов с участием  $C_i, C_j, C_k, C_m$ , где  $m > k > j > i$ , такие, что  $j = i + 1$  и  $m = k + 1$ .
- 5) Кроме того, код пытается минимизировать количество 4-циклов с участием  $C_i, C_j, C_k, C_m$ , где  $m > k > j > i$ , такие, что  $j = i + 1$  и  $m = k + 1$ .

Первый используемый набор данных - передача 120 МБ информации при нормальных условиях эксплуатации сети.

Выборка данных проводилась каждые 0,1 секунды, и было зарегистрировано 200 пропусков.

Данные были разделены на наборы данных обучения и тестирования. Из-за ограниченности имеющихся данных, одна седьмая данных была сохранена в качестве набора тестов, а остальные представлены для обучения.

Для эксперимента с данными была реализована нейронная сеть - генетический алгоритм (NN-GA) с использованием сети кодеров, обученной 4 скрытыми узлами в течение 200 тренировочных этапов [6].

Результаты тестирования (рисунок 1) показывают, что алгоритм не позволил сделать прогноз для столбца 1 в этом наборе данных. Причина состоит в том, что для данного метода, чтобы сделать прогноз, матрица прогнозирования должна быть положительной. Основной причиной этого является то, что одна переменная линейно зависит от другой переменной. Эта линейная зависимость может иногда существовать не между самими переменными, а между элементами моментов, такие как среднее, дисперсии, ковариации и корреляции. Другие причины этой проблемы включают ошибки при чтении данных, начальные значения и многое другое. Эта проблема может быть решена путем удаления переменных, которые линейно зависят друг от друга, или путем использования главных компонент для замены набора коллинеарных переменных на ортогональные компоненты. Для остальных наборов в других столбцах результаты показывают удовлетворительный уровень восстановления пропущенных данных.

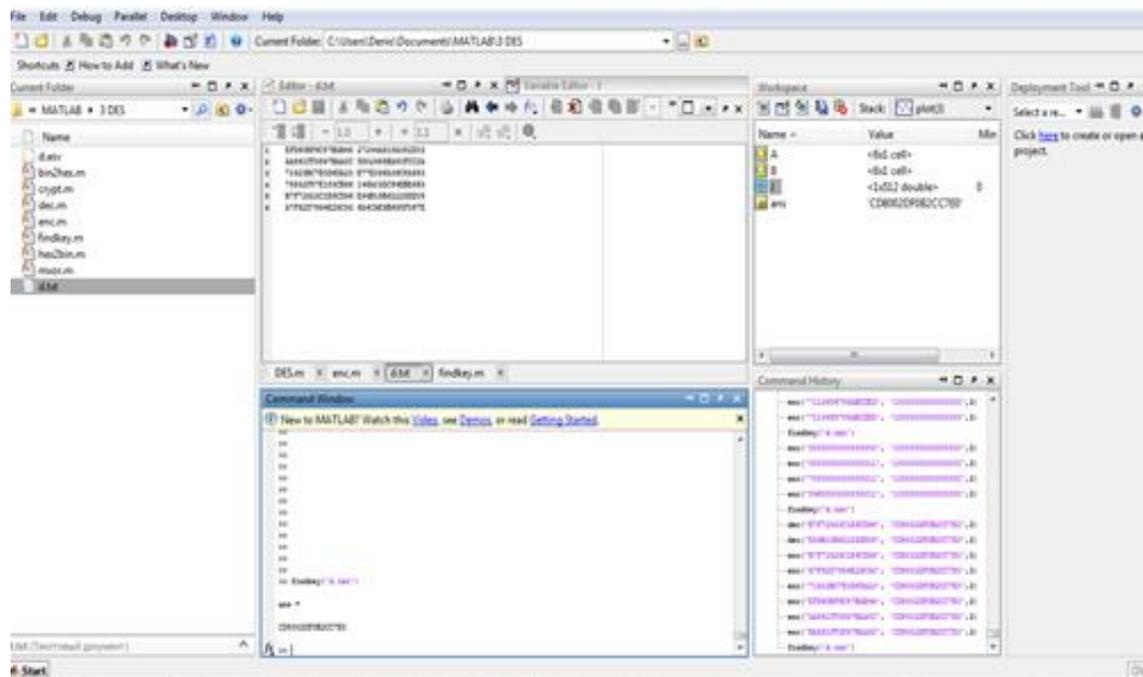


Рис. 1 – Результаты тестирования

Нейробайесовские модели являются концептуально естественным подходом для применения в IT-сфере. Современные вероятностные языковые среды программирования для байесовских вычислений еще больше упростили его применение, предоставив интерфейсы для определения потенциально очень сложных моделей даже для неспециалистов. В этом исследовании описаны базовые теоретические основы, необходимые для реализации байесовского моделирования с упором на приложения в информационной безопасности. Тем не менее, необходимы дальнейшие исследования улучшенных и более быстрых методов байесовских вычислений для больших данных. Байесовское моделирование требует значительного количества предположений о составлении порождающих моделей и уточнении исходных предположений.

Список использованных источников:

1. Gupta A., Lams M.S. Estimation Missings Value using Neural Network // J. of Operational Research Society. – 2016. – Vol. 48. – № 1. – С. 329–339.
2. Nelamondo F.V., Mohammed S., Marwalas T. Missing Datas: A comparisons of neural networks and expectation maximizations technique // Currents Science. – 2017. – Vol. 95. – № 12. – С.467–473.
3. Карлов И.А. Методы определения пропускной способности с использованием инструментария Data Minings // Вестник Сиб. гос. аэрокосмического ун-та им. Ак. М.Ф. Решетнев. – 2015. – № 7(41) – С.39–43.
4. Карлова И.А., Кашур В.Д. Подход к построению гибридных моделей для оценки значения пропущенного элемента в массиве данных //: Матер. XX Всеросс. семинара. – 2012. – С. 174–179.
5. Halkidi M., Batistakis Y., Vazirgiannis M. On Clustering Validation Techniques // J. of Intelligent Information Systems. – 2013. – № 17:2/3.– С.107–145.
6. An Introduction to computing with neural net, Richard P. Lipman, IEE ASP Magazines, April 2017, pages 2-22.
7. A Neural Networks Approaches Toward Intrusion Detections, Kevins L. Foxer, Rondal R. Hennings, Jonatan H. Reeds, Richard P. Sitonians, Harris Corporations, Government Informations System Divisions, P.O. Box 98000, Melbourne, FL 32902, July 2010.
8. Univariate Economic Time Series Forecasting by Connexionist Methods, A. Varfis and C. Versino, Proceedings of the International Neural Networks Conference, Paris, 2010, pages 342-345.

## АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБКИ СИГНАЛОВ QPSK И BPSK

Ку Х.Н.

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

Карпушкин Э.М. – К.т.н., Доцент

В статье представлены аддитивный белый гауссовский шум, отношение сигнал/шум и анализ влияния аддитивного белого гауссовского шума на сигнал BPSK и QPSK.

Аддитивный белый гауссовский шум (AWGN) происходит по следующим причинам:

– шум является аддитивным. Это означает, принятый сигнал равен передаваемому сигналу плюс некоторый шум, где шум не зависит от сигнала

$$r(t) = s_i(t, \varphi_i) + n(t), \quad (1)$$

где  $r(t)$  – входной сигнал приемника;  $s(t)$  – информационный сигнал с неизвестной начальной фазой,  $i = \overline{1, m}$ ;  $m$  – количество сигналов переносчиков;  $n(t)$  – белый шум;

– шум является белым, то есть спектральная плотность мощности белого шума является постоянной для всех частот в диапазоне от  $-\infty$  до  $+\infty$ . Поэтому автокорреляция шума во временной области равна нулю для любого ненулевого смещения времени;

– гауссово, это означает шума имеют гауссово распределение.

Отношение сигнал/шум – это соотношение мощности сигнала и мощности шума, как описано в математической форме

$$SNR = \frac{P_{\text{сигнал}}}{P_{\text{шум}}} = \frac{A_{\text{сигнал}}^2}{A_{\text{шум}}^2}. \quad (2)$$

Вероятность ошибки сигнала BPSK в процессе AWGN определяется по формуле

$$P(e) = Q\left(\sqrt{\frac{2E}{N_0}}\right), \quad (3)$$

где функция  $Q$  определяется как  $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left[-\frac{y^2}{2}\right] dy = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right)$ ,  $x > 0$ ;  $E$  – энергия сигнала;  $N_0$  – однополосная спектральная плотность шума.

Вероятность ошибки сигнала QPSK в процессе AWGN определяется по формуле

$$P(e) = 2Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right) - \left[Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right)\right]^2 = 2Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) - \left[Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)\right]^2, \quad (4)$$

где  $E_s$  – энергия символа,  $E_s = 2 \cdot E_b$ ;  $E_b$  – энергия бита.

При использовании кода Грея вероятность ошибки следующей:

$$P(b) \approx \frac{P(e)}{\log_2 M} \quad (\text{для } P(e) \ll 1), \quad (5)$$

где  $P(e)$  – вероятность символьной ошибки;  $P(b)$  – вероятность битовой ошибки;  $M$  – размер множества символов,  $M = 2$  (BPSK) и  $M = 4$  (QPSK).

Мы имеем:  $SNR_{\text{дб}} = 10 \log(SNR) \Leftrightarrow SNR = 10^{\frac{SNR_{\text{дб}}}{10}}$ ,  $SNR = E_b/N_0$ . Из данных построим график зависимости вероятности ошибки BPSK и QPSK от отношения энергии бита к спектральной плотности шума представлена на рисунке 2.

Мы моделируем влияние аддитивного белого гауссовского шума на сигнал BPSK и QPSK в среде SIMULINK. С параметром : длительность информационного бита:  $\tau_b = 0.0005$  с ; длительность информационного символа:  $\tau_c = 2 \cdot \tau_b = 0.001$  с . Схема моделирования BPSK и QPSK представлена на рисунке 1.

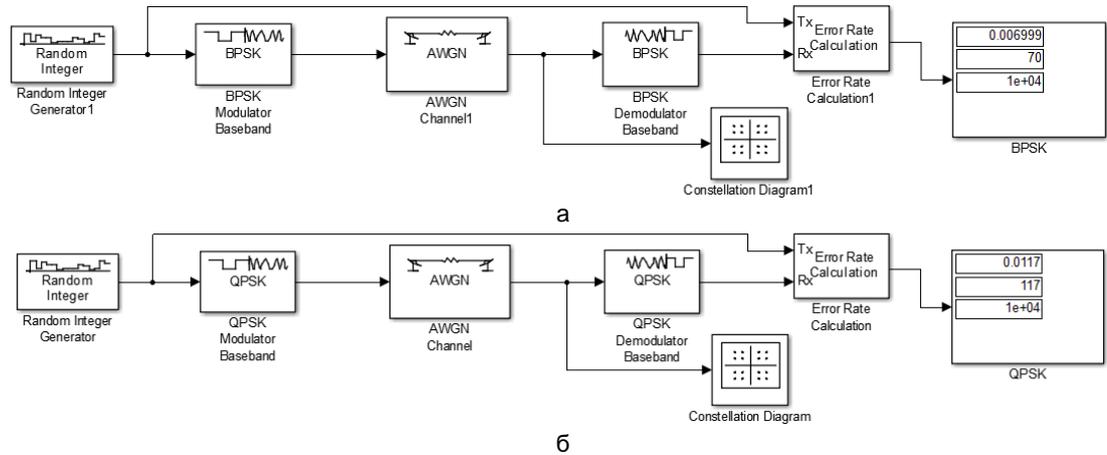


Рисунок 1 – Схема моделирования анализа вероятности ошибки сигналов BPSK и QPSK  
а – BPSK, б – QPSK

График зависимости вероятности ошибки QPSK и BPSK от отношения сигнал/шум моделируются программным обеспечением SIMULINK представлена на рисунке 2.

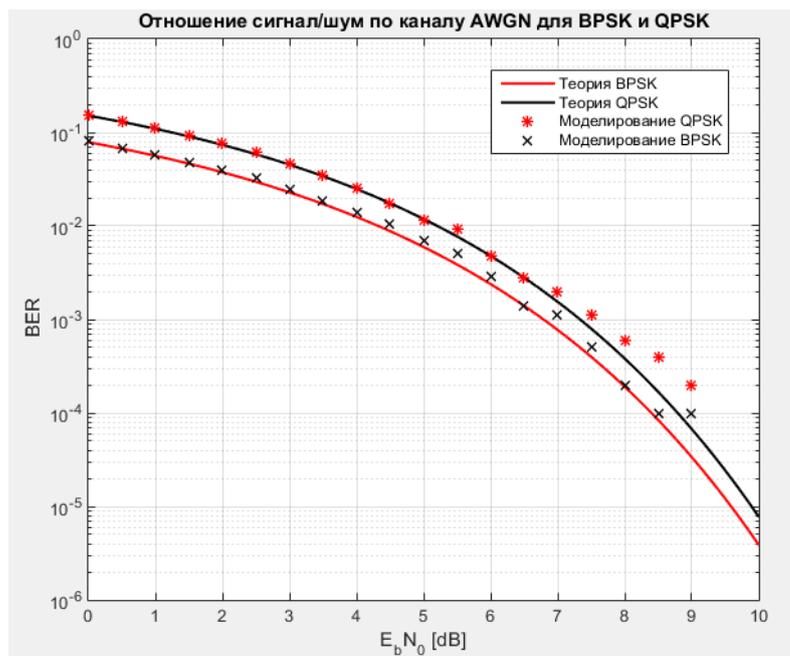


Рисунок 2 – Зависимость вероятности ошибки QPSK и BPSK от отношения сигнал/шум

Вывод:

- из формулы (4) и (5) можно сказать, что вероятность ошибки QPSK в два раза выше, чем вероятность ошибки BPSK и вероятность битовой ошибки сигнала QPSK равна сигналу BPSK;
- чем выше отношение сигнал/шум, тем ниже вероятность ошибки QPSK. BPSK имеет более низкую вероятность ошибки, даже с небольшой отношением сигнал/шум;
- вероятность ошибки появляются при моделировании SIMULINK приближается к ошибке расчета в теории.

**Список использованных источников:**

1. Бернадд Склар. Перевод с английского Грозы, Е.Г.; Марченко, В.В.; Назаренко, А.В. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Пер. С англ – М.: 2003. - 1106 с.
2. Oussama Damen. ECE 414 - Wireless Communications – University of Waterloo, 2012.

## ВЛИЯНИЕ АДДИТИВНОГО БЕЛОГО ГАУССОВСКОГО ШУМА НА СПЕКТРАЛЬНУЮ ПЛОТНОСТЬ QPSK

Ку Х.Н.

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

Карпушкин Э.М. – К.т.н., Доцент

В статье представлены распределение мощности по полосе частот аддитивного белого гауссовского шума, спектральная плотность мощности QPSK и моделирование спектральной плотности мощности QPSK.

Автокорреляционная функция белого шума равна дельта-функции, умноженной на некоторую постоянную величину  $N_0/2$  :

$$R_n(\tau) = \frac{N_0}{2} \delta(\tau), \quad (1)$$

где  $\delta(\tau)$  – дельта-функция равна нулю всюду, за исключением точки  $\tau = 0$ , при  $\delta(0) = \infty$ .

Спектральная плотность мощности белого гауссовского шума  $G_n(f)$  равномерна для всех частот, определяется на основании теоремы Винера–Хинчина следующим образом

$$G_n(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_n(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau = \frac{N_0}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau = \frac{N_0}{2} e^{-j2\pi f \cdot 0} = \frac{N_0}{2}, \quad (2)$$

как известно интеграл от дельта-функции  $\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(\tau) d\tau = 1$ .

Квадратурная фазовая манипуляция (QPSK) сигнала имеет вид:

$$s_{qpsk}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{k=0}^{\infty} C_k^I \cdot g_F(t - k\tau_c) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - C_k^Q \cdot g_F(t - k\tau_c) \sin(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (3)$$

где  $C_k^I = \pm 1$  и  $C_k^Q = \pm 1$  – синфазная и квадратурная последовательности, соответствующие передаваемым информационным символам «0» и «1» (обычно +1 соответствует «0», а –1 представляет «1»);  $g_F(t)$  – формирующий импульс;  $\tau_c = 2 \cdot \tau_b$  – длительность информационного символа (бита);  $k$  – индекс текущего шага модуляции.

Импульс  $g_F(t)$  определяются по формуле

$$g_F(t) = \begin{cases} \sqrt{2E_c/\tau_c}, & 0 \leq t \leq \tau_c, \\ 0, & t \leq 0 \text{ и } t \geq \tau_c. \end{cases} \quad (4)$$

где  $E_c = 2 \cdot E_b$  – энергия символа (бита).

Комплексная огибающая сигнала QPSK полностью определяется его квадратурной и синфазной компонентами и представляется следующими выражениями:

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{k=0}^{\infty} g_F(t - k\tau_c) (C_k^I + jC_k^Q). \quad (5)$$

Спектральная плотность мощности QPSK  $PSD_Q(f)$  определяется с формула

$$PSD_Q(f) = \frac{1}{\tau_c} |S_Q(f)|^2 = \frac{1}{\tau_c} \left| \int_0^{\tau_c} \sqrt{\frac{2E_c}{\tau_c}} e^{-j2\pi f t} dt \right|^2 = \frac{1}{\tau_c} \left| \sqrt{\frac{2E_c}{\tau_c}} \frac{\sin(\pi \tau_c f)}{\pi \tau_c f} \right|^2 = \frac{2E_c \sin^2(\pi \tau_c f)}{(\pi \tau_c f)^2}. \quad (6)$$

Мы моделируем влияние аддитивного белого гауссовского шума на спектральной плотности мощности QPSK. С параметром : длительность информационного символа:  $\tau_c = 2 \cdot \tau_g = 2 \cdot 10^{-5}$  с , энергия символа  $E_c = 2 \cdot E_g = 2 \cdot 10^{-5}$ , несущая частота  $f_0 = 2 \cdot 10^6$  Гц, частота дискретизации  $f_s = 10^7$  Гц и отношение сигнал/шум  $E_g/N_0 = 10$  дБ . Графики спектральной плотности QPSK и влияния аддитивного белого гауссовского шума на спектральной плотности QPSK представлена на рисунке 1.

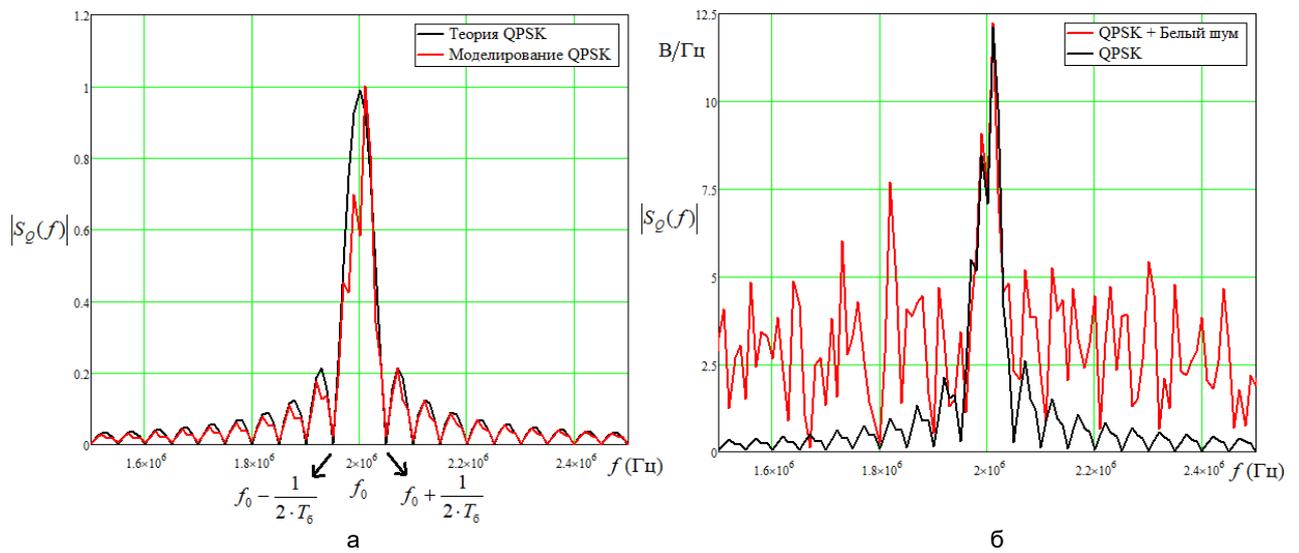


Рисунок 1 – Спектральная плотность QPSK  
а – QPSK и б – QPSK + белый шум

График спектральной плотности мощности QPSK моделируются представлена на рисунке 2.

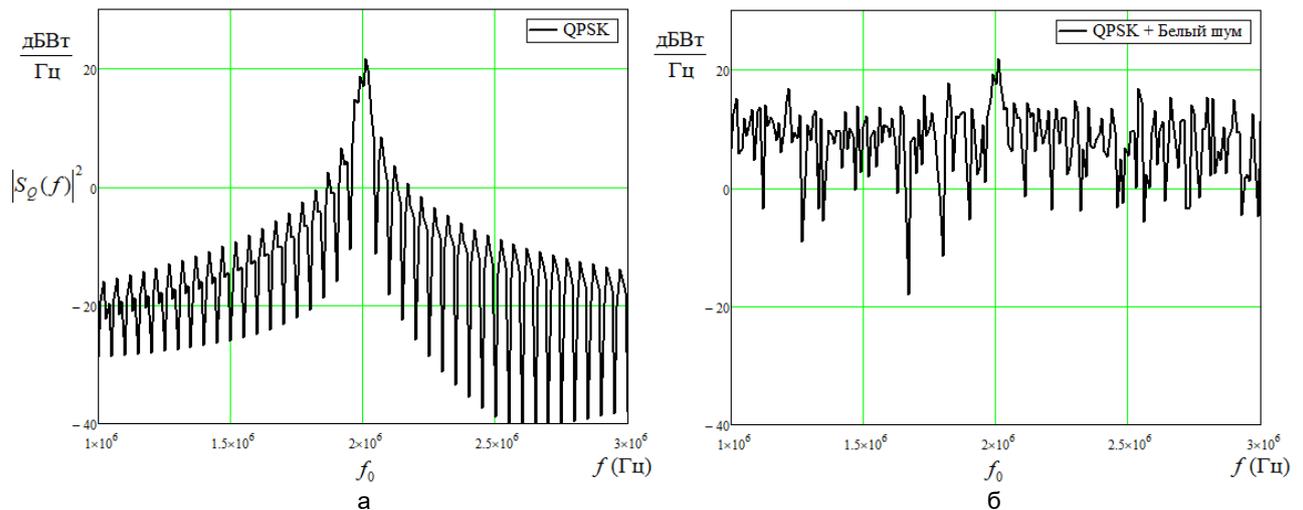


Рисунок 2 – Спектральная плотность мощности QPSK  
а – QPSK и б – QPSK + белый шум

Вывод:

- моделирование показывает, что спектральная плотность QPSK мало отличается от теоретической;
- моделирование показывает, что аддитивный белый гауссовский шум влияет на спектральной плотности QPSK. Боковой состоящий спектр спектральной плотности увеличил.

#### Список использованных источников:

1. Бернад Склад. Перевод с английского Грозы, Е.Г.; Марченко, В.В.; Назаренко, А.В. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Пер. с англ – М.: 2003. - 1106 с.
2. Галкин, В.А.; Козырев, В.Б; Давыдова, Н.С. Мобильные системы радиосвязи. Часть 1 – М.: МИЭТ, 2003. - 300 с.
3. Листопад, Н. И.; Козел, В. М.; Дубровский, В. В.; Горбачев, К. Л.; Ковалев, К. А. Теоретические основы цифровой радиосвязи – Минск: БГУИР, 2012. – 331с.



# ЭМУЛЯТОР ПРЯМОГО КАНАЛА RFID СИСТЕМЫ УВЧ ДИАПАЗОНА

Лагодин А.А.

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

Кирильчук В.Б. – канд. тех. наук, доцент каф ИРТ

В зависимости от направления информационного обмена в пассивной RFID-системе можно выделить два канала: прямой – от считывателя к метке и обратный канал – от метки к считывателю.

Численно эти каналы можно охарактеризовать с помощью максимальных расстояний  $R_1$  и  $R_2$ , на которых система способна решать поставленные задачи с заданным качеством:

$$R1 = \frac{\lambda}{4\pi} \left( \frac{(1 - \Gamma/2) \cdot P_C \cdot G_C \cdot G_M \cdot |F_E|^2 \cdot \chi^2}{P_{II}} \right)^{1/2}; \quad (1.1)$$

$$R2 = \frac{\lambda}{4\pi} \left( \frac{\Gamma \xi G_M^2 G_C^2 \cdot E[S(t)]}{2 \cdot \sigma \cdot K_{TP} \cdot E[\theta(t)] \cdot |F_E|^2 \cdot \chi^2} \right)^{1/4}, \quad (1.2)$$

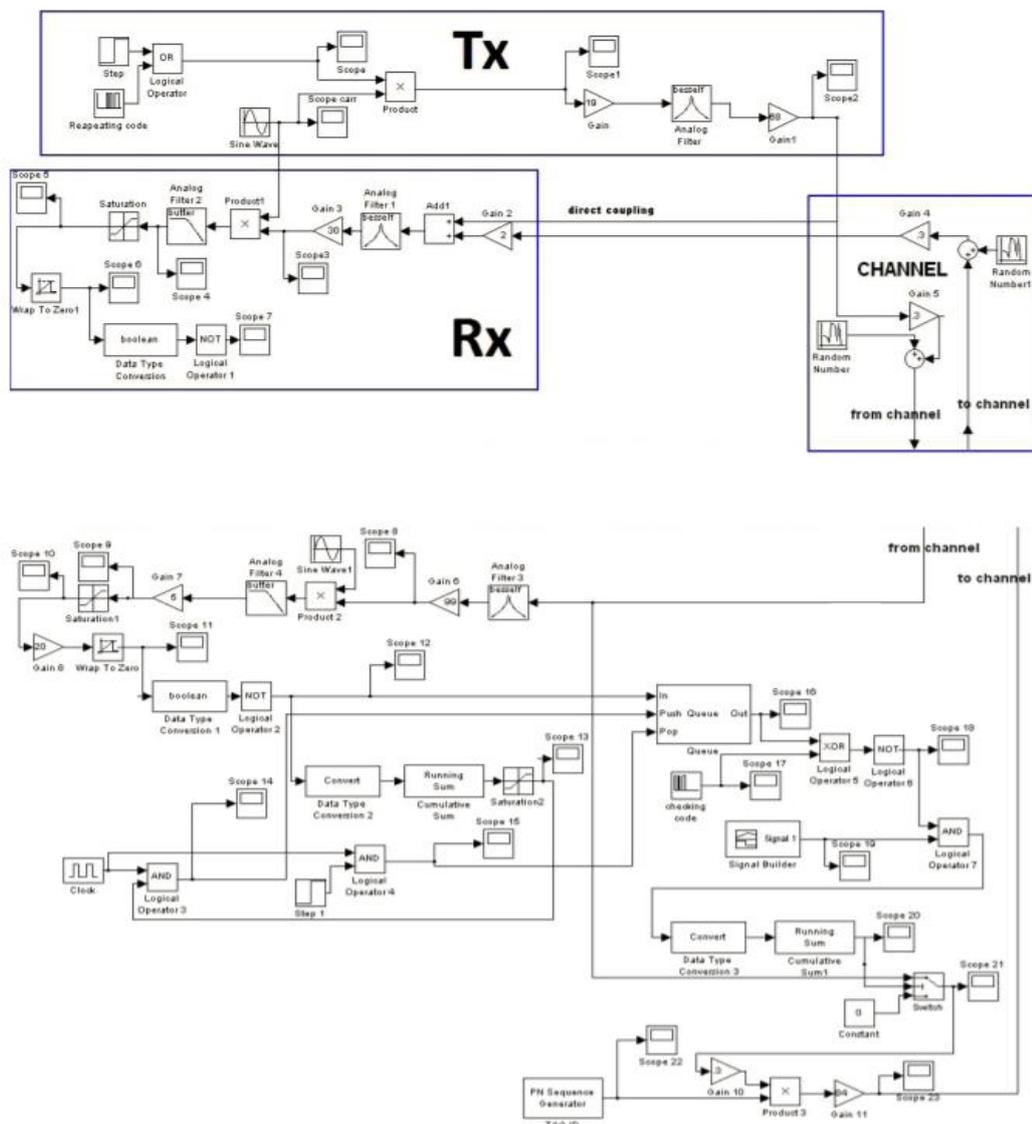


Рисунок 1 – Модель прямого и обратного канала RFID системы в программе Simulink

В данной работе смоделирована версия RFID-системы представлена на рис. 1. В моем случае рассматривается прямой канал от считывателя к метке. Считыватель передает и принимает сигналы для установления связи с метками, где в свою очередь метка отправляет уникальный серийный номер (ID), который декодируется считывателем. Прямой канал и обратный канал системы, которая включает в себя считыватель, а также метку и процессор обработки данных смоделировано с помощью MATLAB и Simulink.

Канал-это беспроводной носитель информации между считывателем и меткой. При включении метки передается модулированный сигнал, шум канала включен в сигнал и, следовательно, ухудшает качество сигнала. Может быть множество факторов в канале, ухудшающих сигнал, - Гауссов шум, многолучевое затухание и т. д. Аддитивный гауссовский шум моделируется блоком случайной генерацией. Мощность шума может быть изменена путем изменения дисперсии из блока случайных чисел. Поскольку шум является аддитивным, то он добавляется с сигналом на суммирующем блоке. Мощность сигнала также ослабляет во время своей передачи от читателя к метке и наоборот.

Считыватель получает прямой сигнал от передатчика и отраженный от окружающей среды. Однако сила сигнала, отраженного от окружающей среды, слаба, и поэтому его можно пренебречь. Важно иметь высокую изоляцию между передающей и приемной антенной считывателя. Схема приемника должна быть иметь большой динамический диапазон для того, чтобы отрегулировать относительно большое значение прямого сигнала и обнаружить слабые отраженных сигналов от метки.

Метки *RFID* – устройства, способные сохранять и передавать записанные в нее идентификационные данные. Метка должна сперва определить код переданный считывателем и сопоставить код с его собственным кодом, хранящимся в памяти. Если происходит сопоставление, метка будет включена и обратное рассеяние продолжит модулировать несущую с идентификатором метки путем изменения коэффициента отражения антенны метки. Обнаружение кода сделано либо пиковым детектором, либо демодулятором с сгенерированный несущей.

*RFID* - это гибкая технология беспроводной связи, которая является удобной, простой в использовании и хорошо подходит для автоматического управления процессами. Широкое внедрение и облуживание систем на основе *RFID*-технологий предполагает подготовку квалифицированных инженерных кадров, способных проектировать, изготавливать и эксплуатировать такие системы. Для повышения эффективности практической подготовки инженерно-технического персонала в сфере *RFID*-технологий необходимо соответствующее технологическое оборудование, реализация которого предполагается в виде разрабатываемого программного модуля.

**Список использованных источников:**

1. Y. Han, Q. Li, H. Min, "System modeling and simulation of RFID", Auto-ID Labs Research Workshop, Fudan University, Shanghai, 2004.
2. EPC Radio-Frequency Identity Protocols Generation 2 UHF RFID Tag (Class 1): Protocol for Communications at 860 MHz – 960 MHz – USA, 2013.
3. Lehpamer, H. *RFID Design principles* / H. Lehpamer – ARTECH HOUSE, INC, 2008.

# АДАПТИВНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ ЦЕЛИ В РАДИОЛОКАЦИОННОМ ИЗМЕРИТЕЛЕ С МНОГОКАНАЛЬНОЙ ПРИЕМНОЙ СИСТЕМОЙ

Ле Ван Кыонг

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

Козлов С.В. – д.т.н., доцент

Приведены модификации алгоритмов оценивания азимута и угла места цели в радиолокационном измерителе на базе многоканальной антенной системы, предусматривающие вычисление значений функции правдоподобия (ФП) в узлах азимутально-угломестной сетки в пределах главного лепестка (ГЛ) диаграммы направленности (ДН) антенны передающего канала, поиск максимума, построение матрицы вторых производных в окрестности максимума по девяти значениям ФП в узлах сетки и оценку угловых координат (УК) цели по отраженному сигналу (ОС). Показано, что оценки УК подчиняются закону Стюдента с двумя степенями свободы и получены аппроксимирующие соотношения, связывающие параметр крутизны распределения с размером ячейки сетки по угловым координатам, числом отсчетов при формировании выборочной корреляционной матрицы (КМ) процессов на выходах приемных каналов и нижней границей Рао-Крамера для дисперсии измерения УК.

В работах [1, 2] приведены алгоритмы обработки сигналов для измерителя обзорной радиолокационной станции при сканирующей антенной системе, пачки зондирующих и флуктуирующего ОС. Применительно к несканирующей антенной системе алгоритмы [1, 2] могут быть использованы при очевидных модификациях. Однако для всех рассмотренных алгоритмов при двумерном пеленговании требуется измерение и запоминание производных от ДН приемных каналов либо реализация процедуры поиска максимума ФП градиентным или прямым методом, что оказывается весьма затратным в вычислительном плане. Очевидным путем сокращения вычислительных затрат является поиск решения при использовании сеточной аппроксимации ФП, что предполагает обоснование параметров такой аппроксимации и исследование статистических характеристик получаемых оценок угловых координат.

Целью настоящей работы является обоснование путей алгоритмической реализации и исследование свойств оценки угловых координат ОС в радиолокационном измерителе на базе несканирующей многоканальной приемной системы.

Рассматривается измеритель УК (азимута и угла места) в составе импульсной радиолокационной станции обнаружения-сопровождения воздушных объектов с  $n = \overline{1, N}$  канальной несканирующей в пределах длительности наблюдения ОС антенной системой. Пачка зондирующих сигналов (ЗС) включает  $i = \overline{1, I}$  импульсов, при  $I = 1 \dots 7$ . Интервал  $\tau_c$  корреляции флуктуаций ОС  $\tau_c \gg T_r I$ , где  $T_r$  – период повторения импульсов ЗС, поэтому ОС можно считать нефлуктуирующим. Векторы сигналов  $\mathbf{y}_{i,q}$  на входе измерителя представляют собой отчеты комплексных значений принимаемой реализации (на выходе согласованного фильтра для одиночного сигнала) в  $q = \overline{1, Q}$  элементах разрешения, один из которых, с номером  $q_c$ , является сигнальным, а остальные используются для оценивания корреляционных матриц (КМ) суммы внутренних шумов и внешних помех в каждом периоде повторения

$\hat{\Phi}_i = \frac{1}{Q-1} \sum_{q \neq q_c} \mathbf{y}_{i,q} \mathbf{y}_{i,q}^+$ . Используя [1, 2] для функции правдоподобия  $\Psi(\alpha, \beta)$  получим

$$\Psi(\alpha, \beta) = \left( \sum_{i=1}^I \hat{P}_{\text{п+ш}}(\alpha, \beta) \right)^{-1} \left| \sum_{i=1}^I \boldsymbol{\omega}_i^+(\alpha, \beta) \mathbf{y}_{i,q_c} \right|^2, \quad (1)$$

где  $\boldsymbol{\omega}_i(\alpha, \beta) = \hat{\Phi}_i \mathbf{f}(\alpha, \beta)$  – оптимальный (по критерию максимума отношения сигнал/помеха+шум) вектор весовых коэффициентов приемных каналов;  $\hat{P}_{\text{п+ш}}(\alpha, \beta) = \boldsymbol{\omega}_i^+(\alpha, \beta) \hat{\Phi}_i \boldsymbol{\omega}_i(\alpha, \beta) = \mathbf{f}^+(\alpha, \beta) \hat{\Phi}_i^{-1} \mathbf{f}(\alpha, \beta)$  – оценка мощности остатков внешних помех и взвешенных внутренних шумов при приеме ОС с углового направления  $(\alpha, \beta)$ ;  $\mathbf{f}(\alpha, \beta)$  – вектор значений ДН приемных каналов в направлении  $(\alpha, \beta)$ . Получение максимально-правдоподобной оценки:

$$\hat{\alpha}, \hat{\beta} = \underset{\alpha, \beta}{\operatorname{argmax}} \Psi(\alpha, \beta) \quad (2)$$

предполагает поиск экстремума функции двух переменных и является достаточно сложным в вычислительном плане.

Вычислим значения  $\Psi_{k,m} = \Psi(\alpha_k, \beta_m)$  ФП в узлах сетки и найдем максимальное значение  $\Psi_{\max} = \max \Psi_{k,m}$  и его индексы  $k_m, m_m = \operatorname{argmax}_{k,m} \Psi_{k,m}$ , которые дают грубую оценку угловых координат ОС в

виде  $\hat{\alpha} = \alpha_{k_m}$ ;  $\hat{\beta} = \beta_{m_m}$ . Для способа наименьших квадратов (НМК) аппроксимируем ФП в окрестности максимума параболоидом  $\Psi_{ан}(\alpha, \beta, \mathbf{y}) = (\alpha^2, \beta^2, \alpha\beta, \alpha, \beta, 1)\mathbf{y}$ , где вектор  $\mathbf{y} = (a, b, c, d, e, g)^T$  коэффициентов является решением системы линейных уравнений:

$$\sum_{i_1=-1}^1 \sum_{i_2=-1}^1 (\Psi_{k_m+i_1, m_m+i_2} - \Psi_{ан}(\alpha_{k_m+i_1}, \beta_{m_m+i_2}, \mathbf{y})) \frac{\partial}{\partial y_\ell} \Psi_{ан}(\alpha_{k_m+i_1}, \beta_{m_m+i_2}, \mathbf{y}) = 0; \ell = \overline{1, 6}, \text{ что приводит к оценке вида}$$

$$\hat{\alpha}_c^{МНК} = \frac{2bd - ce}{c^2 - 4ab}; \hat{\beta}_c^{МНК} = \frac{2ae - cd}{c^2 - 4ab}. \quad (3)$$

Для способа на основе матрицы вторых производных (МВП) вычислим вектор первых и матрицу вторых производных в численном виде:

$$\mathbf{f} = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \end{pmatrix}; F_1 = \frac{\Psi_{k_m+1, m_m} - \Psi_{k_m-1, m_m}}{2\Delta\alpha}; F_2 = \frac{\Psi_{k_m, m_m+1} - \Psi_{k_m, m_m-1}}{2\Delta\beta}; \mathbf{F} = \begin{pmatrix} F_{11} & F_{12} \\ F_{21} & F_{22} \end{pmatrix};$$

$$F_{11} = \frac{\Psi_{k_m+1, m_m} - 2\Psi_{k_m, m_m} + \Psi_{k_m-1, m_m}}{\Delta\alpha^2}; F_{22} = \frac{\Psi_{k_m, m_m+1} - 2\Psi_{k_m, m_m} + \Psi_{k_m, m_m-1}}{\Delta\beta^2}; F_{12(21)} = \frac{\Psi_{k_m+1, m_m+1} - \Psi_{k_m-1, m_m+1} - \Psi_{k_m+1, m_m-1} + \Psi_{k_m-1, m_m-1}}{4\Delta\alpha\Delta\beta},$$

что приводит к оценке вида  $\begin{pmatrix} \hat{\alpha}_c^H \\ \hat{\beta}_c^H \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{k_m} \\ \beta_{m_m} \end{pmatrix} - \mathbf{F}^{-1}\mathbf{f}. \quad (4)$

Алгоритмы (3) и (4), реализуемые на основе (1) исследовались для случая измерителя на базе прямоугольной антенной решетки из 16 ненаправленных элементов (размер 4x4) с расстоянием между элементами в половину длины волны ( $\Delta\alpha_{0,5} = \Delta\beta_{0,5} \approx 25^\circ$ ).

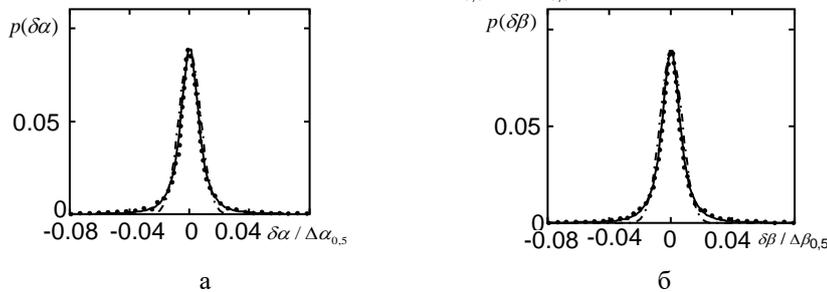


Рисунок 1 – Выборочные (круглые точки) и теоретические (сплошные кривые – Стюдента, штрих-пунктирные – гауссовы) плотности вероятности ошибок оценки азимута (а) и угла места (б)

Показано, что выборочная плотность вероятности оценок УК с высокой точностью совпадает с распределением Стюдента с двумя степенями свободы (рисунок 1). Оценки являются несмещенными. Параметр  $\xi$  распределения Стюдента обратно пропорционален среднеквадратическому отклонению ошибки в соответствии с границей Рао-Крамера с коэффициентом  $\gamma_\xi$ , определяемым размером ячейки сетки и числом отсчетов при формировании выборочной КМ. Точность оценивания угловых координат практически не зависит от числа отсчетов при  $Q \geq 10N$ . При уменьшении числа отсчетов точность уменьшается.

Если помеха воздействует из области наблюдения, то при больших размерах ячейки сетки выборочные плотности вероятности могут деформироваться в сравнении с распределением Стюдента ввиду неверного определения (пропуска истинного) максимума ФП. Уменьшение размера ячейки сетки приводит к восстановлению единственного экстремума при нулевом смещении оценки. Если в пределах области наблюдения источники помех отсутствуют, то размер ячейки сетки может составлять  $\Delta\alpha(\beta) = (0, 2 \dots 0, 25)\Delta\alpha(\beta)_{0,5}$  при общем числе узлов сетки 20...25. Если в область наблюдения попадает хотя бы один источник помех, то число узлов сетки 250...400. При близком положении источника помех и цели коэффициент  $r_{\alpha\beta}$  корреляции ошибок оценок по азимуту и углу места составляет 0,7...0,9, то есть ошибки сильно коррелированы. Удаление источника помех от ОС приводит к уменьшению коэффициента корреляции ошибок. При  $\alpha(\beta)_n / \Delta\alpha(\beta)_{0,5} \geq 1$  оценки независимы.

Полученные результаты позволяют обоснованно выбирать параметры реализации адаптивных алгоритмов функционирования радиолокационных измерителей угловых координат цели на базе многоканальных приемных систем. Установленный факт распределения ошибок оценивания угловых координат по закону Стюдента с двумя степенями свободы необходимо учитывать при интерпретации результатов компьютерного моделирования и экспериментальных исследований измерителей угловых координат и при обосновании алгоритмов углового стробирования результатов измерений на этапе сопровождения цели.

**Список использованных источников:**

1. Козлов, С. В. Оценивание угловых координат в радиолокационных станциях с подсистемами пространственной компенсации помех / С. В. Козлов, Т. Х. Ву // Доклады БГУИР. – 2019. – № 4. – С. 48 – 56.

## ОБНАРУЖЕНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ НЕКОГЕРЕНТНОМ НАКОПЛЕНИИ ОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА ПО РАДИОЛОКАЦИОННОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ

Ле Ван Кыонг

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

Козлов С.В. – д.т.н., доцент

Приведены простые алгоритмы некогерентного накопления пачки импульсов с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) и фазокодовой манипуляцией (ФКМ) при обнаружении высокоскоростной цели, движущейся с неизвестной скоростью при наличии миграции по дальности. Алгоритмы основаны на анализе радиолокационного изображения (РЛИ), получаемого при согласованной фильтрации (СФ) каждого ЛЧМ-импульса без учета радиальной скорости цели и совокупности РЛИ при согласованной фильтрации каждого ФКМ-импульса при многоканальной обработке с учетом радиальной скорости цели. Проведено математическое моделирование и получены характеристики обнаружения цели.

В настоящее время актуальным является обеспечение обнаружения и точного сопровождения радиолокационных целей с малым значением эффективной площади рассеяния (ЭПР), находящихся на больших (сотни-тысячи км) дальностях и движущихся с большими (единицы км/с) скоростями. К числу таких целей относятся искусственные спутники Земли и высокоскоростные воздушно-космические летательные аппараты (ВВКЛА). Одним из возможных вариантов организации обработки заключается в использовании более простого некогерентного накопления отраженного сигнала. Обработку в этом случае можно разделить на два этапа. Первый этап заключается в реализации некогерентного накопления, в результате чего может быть грубо определена дальность и радиальная скорость цели (без ускорения). На втором этапе реализуется когерентное накопление при существенно меньшем числе каналов обработки.

Целью настоящей работы является обоснование и анализ простых алгоритмов обнаружения высокоскоростных целей по яркостному радиолокационному изображению сцены.

**Характеристики радиолокационных изображений.** Под элементом (пикселем)  $R_{i,m}$  РЛИ сцены будем понимать квадрат модуля комплексной амплитуды на выходе согласованного фильтра одиночного импульса для  $i$ -го импульса пачки в моменты времени  $t_m = iT_r + t_{оп} + m/F_s$ ,  $i = \overline{0, I-1}$ , где  $I$  - число импульсов в пачке;  $t_{оп}$  - общий для всех периодов повторения опорный момент времени;  $T_r$  - период повторения импульсов пачки;  $F_s$  - частота дискретизации. Для получения РЛИ используем согласованную фильтрацию. Для сигналов большой длительности СФ удобно выполнять путем выполнения БПФ над участками принимаемой реализации, умножения полученных спектральных отсчетов на комплексную частотную характеристику СФ и обратного БПФ.

**Линейночастотномодулированный импульс.** На рис. 1 приведены типовые РЛИ сцены при большом и малом отношении сигнал/шум (ОСШ) по каждому импульсу  $q_0^2 = 2E/N_0 = 20$  и 0 дБ, соответственно при радиальной скорости цели 2 км/с и 4 км/с. При большом ОСШ по одиночному сигналу на РЛИ имеется четко выраженная линия, начало которой на оси временных задержек соответствует дальности до цели со смещением на величину, определяемую радиальной скоростью цели и знаком внутриимпульсной частотной модуляции. Угол наклона линии определяется расстоянием, пройденным за время радиолокационного наблюдения, то есть соответствует радиальной скорости цели.

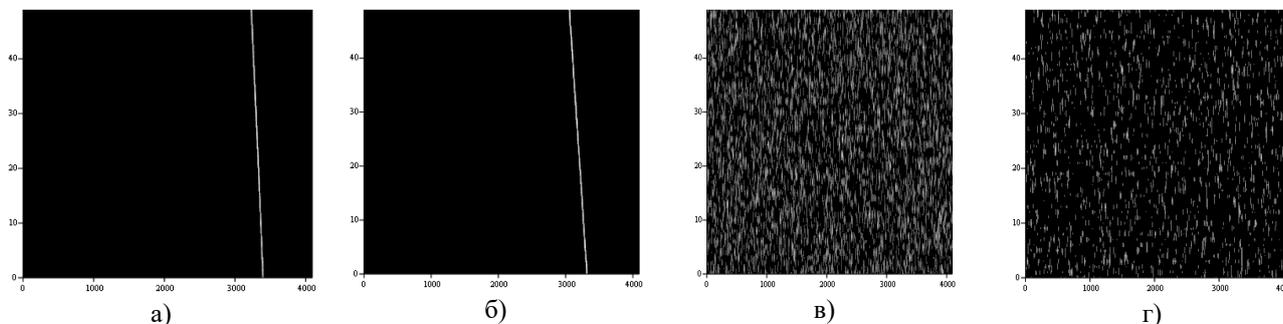


Рисунок 1 – Вид РЛИ при ЛЧМ-сигнале и скорости цели 2 км/с (а, в) и 4 км/с (б, г) ОСШ по одиночному сигналу 10 дБ (а, б), и 0 дБ (в, г).

При малых ОСШ линия визуально не обнаруживается, и для обнаружения цели при некогерентном накоплении необходимо использовать соответствующую обработку. Под термином «обнаружение цели при некогерентном накоплении» далее будем понимать визуальное или алгоритмическое принятие решения о наличии линии на РЛИ, обусловленной приемом отраженного сигнала, с определением номера отсчета по дальности, соответствующего началу линии и угла наклона этой линии. Окончательное обнаружение объекта с выбором соответствующего порога по критерию Неймана-Пирсона проводится по результатам когерентного накопления. Для обнаружения цели на РЛИ при некогерентном накоплении введем  $g=1, G$  гипотез об угле  $\alpha_g = \alpha_{\max} + 2\alpha_{\max}g/G$  наклона линии и преобразуем РЛИ следующим образом:

$$NN_{g,m} = \sum_{i=0}^{I-1} \left( (1 - \{i + m \cdot \text{tg}(\alpha_g)\}) R_{\lfloor i + m \cdot \text{tg}(\alpha_g) \rfloor, m} + \{i + m \cdot \text{tg}(\alpha_g)\} R_{\lfloor i + m \cdot \text{tg}(\alpha_g) \rfloor + 1, m} \right), \quad (1),$$

где  $\{x\}, \lfloor x \rfloor$  - операции взятия дробной части числа и округления до наименьшего целого, соответственно.

Операция (1) соответствует некогерентному накоплению отсчетов РЛИ вдоль линии  $i = -m \cdot \text{tg}(\alpha_g)$ , то есть согласованию участков НК с радиальной скоростью цели. Обнаружение цели сводится к нахождению максимального значения  $\max_{g,m}(NN_{g,m})$  преобразованного РЛИ с одновременной оценкой радиальной скорости  $\hat{v}_r$  и дальности до цели:

$$\hat{v}_r = \frac{\text{tg}(\alpha_{g_{\max}})c}{2F_s T_r}; \quad \hat{r} = \frac{IT_r \text{tg}(\alpha_{g_{\max}})c}{2F_s}, \quad (2),$$

где  $\alpha_{g_{\max}}$  - угол наклона линии;  $\{\alpha_{g_{\max}}, m_{\max}\} = \text{argmax}_{g,m}(NN_{g,m})$  - индексы, соответствующие максимальному значению пикселей преобразованного РЛИ. Вид преобразованного РЛИ (в трехмерной форме) для тех же реализаций, что и на рис. 1б, г приведен на рис. 2.

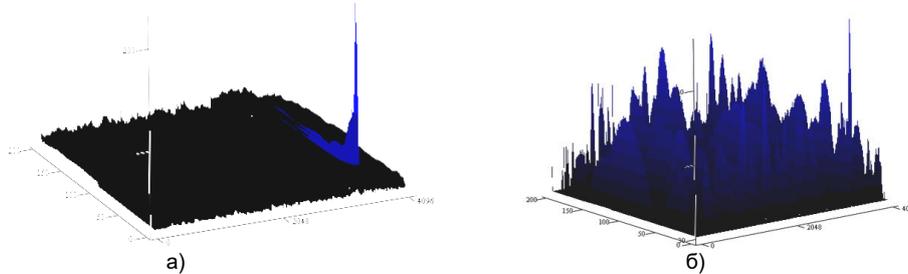


Рисунок 2 – Трехмерный вид преобразованного РЛИ для ОСШ 10 дБ (а) и 0 дБ (б)

Как видно из рис. 2, на преобразованном РЛИ для значений времени задержки и скорости цели формируется пик. При достаточном ОСШ пик будет явно выражен, а его амплитуда будет существенно превышать побочные максимумы.

**Фазокодоманипулированный сигнала на базе M-последовательности.** Обработка ФКМ-сигнала, в целом, аналогична обработке ЛЧМ, однако для построения исходного и преобразованного РЛИ должно проводиться для возможного диапазона доплеровских скоростей цели с дискретностью, определяемой шириной главного лепестка функции рассогласования одиночного импульса по скорости.

**Характеристики обнаружения.** Характеристики обнаружения получены для случая зондирующего сигнала в виде пачки ЛЧМ-сигналов при числе импульсов в пачке  $l = 50$  при частоте повторения  $T_r = 10$  мс. При обработке принималась частота дискретизации  $F_s = 4$  МГц, число отсчетов БПФ  $M = 1024$ . Для определения максимума с вероятностью не менее 0,8 при использовании пачки сигналов из 50 импульсов требуется отношение сигнал/шум по пачке порядка 17...18 дБ, по одному импульсу пачки 0...1 дБ.

Весьма перспективным для реализации предлагаемого алгоритма является использование сверточных нейронных сетей и высокопроизводительных графических процессоров.

**Список использованных источников:**

1. Маркович, И. И., Завтур Е. Е. Методы цифровой обработки сигналов, отраженных от вы-сокоманевренных воздушных целей. // Вестник воздушно-космической обороны, 2016, Вып. 3 (11). - С. 17-23.
2. Чепкасов, А. В., Сухоплюев А. В. Радиолокационный прием пачки импульсов большой длительности при обнаружении движущихся целей. // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей», 2019, № 1. - С. 30-34.

# ОСОБЕННОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Ле Ван Кыонг

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

Козлов С.В. – д.т.н., доцент

Приведен анализ факторов, определяющих сложность проблемы радиолокационного обнаружения высокоскоростных воздушно-космических летательных аппаратов (ВВКЛА).

Обнаружение и сопровождение ВВКЛА, способных осуществлять полет как в космическом пространстве, так и в атмосфере со скоростью, в пять и более раз превышающей скорость звука, являются актуальной задачей. Несмотря на наличие к настоящему времени достаточно большого числа работ [3-8], комплексное решение данной задачи весьма далеко от завершения. Это определило цель работы, заключающейся в анализе проблемных вопросов обнаружения и сопровождения ВВКЛА как объектов радиолокационного наблюдения.

Особые характеристики ВВКЛА, затрудняющие их радиолокационное обнаружение [1-2], состоят в следующем: полет на ранее не используемых высотах от 30 до 120 км от поверхности Земли; способность ВВКЛА летать на ранее недостижимых скоростях для летательных аппаратов (от 5 до 30 Махов) как в атмосфере, так и за ее пределами в околоземном космическом пространстве; высокая вероятность использования ВВКЛА на трансконтинентальных маршрутах с последовательными переходами из воздушного пространства в космическое и обратно; возможность использования непредсказуемых смешанных траекторий полета к цели (аэродинамика - в начале полета, эллипс - при полете во внеземном пространстве, баллистика – на конечном участке полета); небольшая (доли-единицы кв.м) эффективная площадь рассеяния при больших (желательно, не менее 700...800 км) требуемых дальностях обнаружения. На рис.1. представлен пространственные возможности наземной РЛС по обнаружению ВВКЛА. Дальность обнаружения радиолокационных станций, работающих в метровом и дециметровом диапазоне, ограничена дальностью прямой видимости  $D_n$ , которая определяется как:

$$D_n [\text{км}] = 4,12(\sqrt{H(\text{м})} + \sqrt{h(\text{м})}). \quad (1)$$

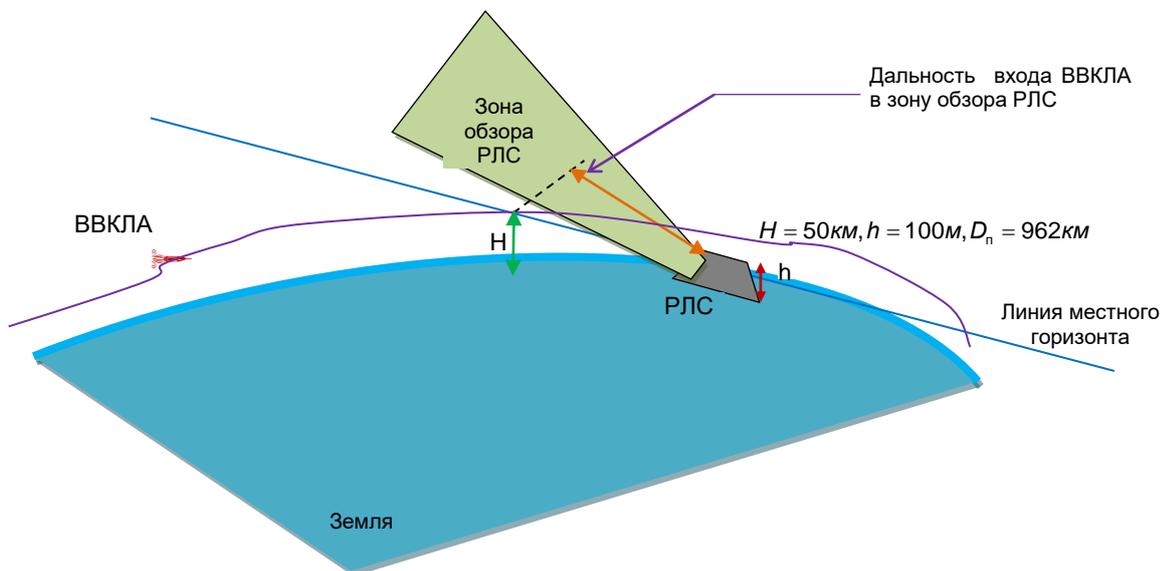


Рисунок 1 – Пространственные возможности РЛС по обнаружению ВВКЛА

К наиболее проблемному относится вопрос обеспечения длительного (единицы секунд) когерентного накопления отраженного сигнала при большой скорости цели. Отметим, что для увеличения точности измерения дальности до цели и помехоустойчивости по отношению к внешним активным помехам необходимо использовать зондирующий сигнал с большой (единицы-десятки МГц) шириной спектра при длительности одиночного сигнала 0,5...1 мс. Но такой сигнал очень трудно когерентно накапливать, так как сжатый в каждом периоде повторения одиночный сигнал оказывается при междупериодной обработке в разных элементах разрешения по дальности. Так, например, при радиальной скорости цели 1500 м/с, периоде повторения  $T_r = 10$  мс, времени наблюдения  $T_n = 1$  с и ширине спектра зондирующего сигнала  $\Delta f_0 = 10$  МГц отраженный сигнал будет находиться в 100

различных (в данном случае – последовательных) элементах разрешения по дальности. Кроме того, даже если цель на определенных участках движется прямолинейно и равномерно, то при наблюдении в системе координат РЛС и вычислении радиальной скорости и ускорения, цель, в первом приближении, движется равноускоренно. Величина этого ускорения во всех случаях такова, что это требует обязательного учета в алгоритме когерентного накопления. Аналогичная проблема, но преимущественно на малых (100...200 км) дальностях будет характерна и для измерения угловых координат. Так, если цель движется с тангенциальной скоростью 500 м/с, то при дальности до нее 100 км изменение угла наблюдения составит примерно  $0,29^\circ$ , что с учетом высоких требований к точности измерения координат и параметров движения ВВКЛА необходимо обязательно учитывать в алгоритмах обработки. Кроме того, проходящий через ионосферу широкополосный сигнал может испытывать существенные искажения (приобретать дополнительную задержку, сдвиг частоты, флуктуации направления распространения и поляризации), что приводит к ошибкам измерения целевых параметров.

В [4] выполнена оценка времени когерентного накопления для некоторых типов ВВКЛА и установлено, что алгоритм когерентного накопления целесообразно использовать для пачек с числом импульсов не более 15, что при периоде повторения  $T = 20$  мс соответствует интервалу в 300 мс. Дальнейшее накопление импульсов приводит к потерям на выходе приемника. В работах [3,7–8] показано, что высокие скорость и ускорение цели не являются препятствием для эффективного когерентного накопления. Так когерентное накопление пачки импульсов, отраженных от искусственного спутника Земли на дальности 600...2000 км при радиальном ускорении  $0...100$  м/с<sup>2</sup> оказалось возможным в пределах  $0,4...0,5$  с (длина волны - 24 см). Когерентный накопитель (КН) был многоканальным по скорости и ускорению. Однако построение многоканальных по скорости и ускорению КН оказывается трудно реализуемым [5]. Для обеспечения обнаружения цели при КН минимальное число каналов обработки приемника по скорости и ускорению составляет  $2NIP$  и для типичной пачки из  $N=16$  импульсов, числе каналов по ускорению  $P=64$ , числе каналов по скорости  $I=183$ , получим  $2NIP=374784$ . С учетом необходимости построения многоканальной системы для оценки угловых координат [9], общее число каналов может достигать нескольких миллионов или даже десятки миллионов. Отметим, что попытки автора и других исследователей по построению алгоритмов обработки, основанных на предварительном оценивании неизвестных параметров (скорости и ускорения) отраженного сигнала для снижения числа каналов обработки не привели к конструктивному решению из-за малого отношения сигнал/шум по одному импульсу пачки и нерегулярности оценивания неизвестных параметров по части импульсов пачки. Сложность такого алгоритма не уступает сложности многоканального когерентного накопителя.

Наряду с проблемными вопросами обнаружения и измерения координат на этапе первичной обработки, недостаточно исследованными являются вопросы вторичной обработки информации по ВВКЛА. Во-первых, адекватная модель (аналогичная модели Зингера и ее модификациям для аэродинамических летательных аппаратов) движения ВВКЛА отсутствует, причем для ВВКЛА эта модель, очевидно, должна иметь различные структуру и параметры для движения на атмосферном и внеатмосферном участках полета. Во-вторых, требуется синтез алгоритмов сопровождения ВВКЛА, учитывающих указанную выше модель движения с учетом существенно большего (дополнительно измеряемые радиальная и тангенциальная скорость, радиальное ускорение) объема измерений на этапе первичной обработки, чем для аэродинамической цели.

Таким образом, основные проблемные вопросы обнаружения и сопровождения ВВКЛА как объектов радиолокационного наблюдения заключаются в синтезе практически реализуемых алгоритмов обнаружения и измерения координат ВВКЛА при длительном когерентном накоплении отраженного сигнала и обосновании модели движения и алгоритмов сопровождения ВВКЛА с учетом сильной взаимосвязи первичной и вторичной обработки информации.

**Список использованных источников:**

1. Пророк В.Я., Шаймухаметов Ш.И. Математическая модель движения гиперзвукового летательного аппарата // *Научные технологии в космических исследованиях Земли*, № 2, 2016. С. 17-21.
2. Купцов И.М. Борьба с гиперзвуковыми летательными аппаратами: новая задача и требования к системе воздушно-космической обороны // *Военная мысль*, № 1, 2011. С. 71 - 76.
3. Kibbler G. O. T. H.A radar pulse train optimum processor for accelerating targets // *IEEE Transactions*. 1967. September AES 3. No. 5. Pp. 808–818.
4. Чепкасов А. В. Определение интервалов когерентного накопления пачки длинных импульсов при обнаружении высокоскоростной цели радиолокационной станцией с АФАР на твердотельных приборах // *Радиопромышленность*, № 1, 2016. С. 14-17.
5. Порсеев В. И., Николаев А. П., Кривоножко И. С. Многоканальное накопление радиолокационных сигналов, отраженных от высокоскоростных целей, движущихся с ускорением // *Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей»*, № 1, 2018. С. 23-34
6. Логвинов М. А., Буров А. С., Барцевич С. Н. Алгоритм сопровождения маневрирующих целей с учетом данных первичной обработки сигнала // *Наука и образование: Электронное научное издание*, № 1, 2012. С. 1-15.
7. Кузьменков В. Ю., Логвинов В. М. Способы и устройства совместного измерения радиальной скорости и радиального ускорения // *Радиотехника и электроника*. 1997. Т. 42. № 12.-С. 1465-1475.
8. Маркович И. И., Завтур Е. Е. Методы цифровой обработки сигналов, отраженных от высокоманевренных воздушных целей. // *Вестник воздушно-космической обороны*, №3, 2016. С. 17–23.
9. Ле Ван Кыонг. Адаптивное оценивание угловых координат цели в радиолокационном измерителе с многоканальной приемной системой. В настоящем сборнике.

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ ПОСТАНОВЩИКОВ АКТИВНЫХ ПОМЕХ В БАЗОВО-КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПАССИВНОЙ ЛОКАЦИИ

Лощинин И. В., Архипенков Д. В.

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

Гринкевич А. В. – к.т.н., доцент

В работе рассматриваются основные методы определения пространственных координат постановщиков активных шумовых помех в базово-корреляционных системах пассивной локации (БКС ПЛ). Анализируются достоинства, недостатки и особенности их использования в пассивных базово-корреляционных системах.

В радиолокации для определения местоположения цели (объекта) чаще всего применяют позиционные методы, основанный на использовании поверхностей или линий положения для определения места объекта в пространстве или на поверхности Земли. Поверхность положения представляет собой геометрическое место точек в пространстве, отвечающих условию постоянства параметра (измеряемой координаты относительно опорного пункта (дальности, угла и т.п.)). Местоположение ЛА в пространстве находится как точка пересечения трех поверхностей положения (ПП). Пересечение двух поверхностей положения дает линию положения (ЛП), которая является геометрическим местом точек с постоянными значениями двух параметров. Чтобы определить точку в пространстве, требуется пересечение трех поверхностей положения или линии и поверхности положения.

Известны три метода определения координат источников радиоизлучения: угломерный [1], разностно-дальномерный [1, 2], угломерно-разностно-дальномерный [2]. Наибольшее распространение получили разностно-дальномерный и угломерно-разностно-дальномерный методы. Системы пассивной локации с разностно-дальномерными и методами измерения координат, использующие для определения разности расстояний корреляционный метод обработки, называют корреляционно-базовыми. Особенностью устройств корреляционно-базовой локации является обзор по временному запаздыванию  $\tau$ , который осуществляется с помощью корреляторов.

Угломерный метод основан на измерении угловых направлений на объект минимум в двух приемных пунктах, разнесенных на некоторое расстояние, называемое базой. Для определения пространственных координат постановщика активных помех достаточно измерить значения азимутальных углов  $\beta_1$  и  $\beta_2$  в двух пунктах и угол места  $\varepsilon_1$  (рис. 1) дополнительно в одном из пунктов.

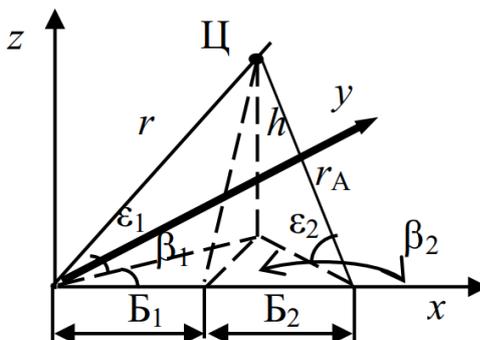


Рис. 1 – Угломерный метод определения местоположения объектов

Достоинством угломерного метода заключается в простоте его технической реализации, возможность независимого обзора в каждом из пунктов, однако неодновременность пеленгации может привести к дополнительным ошибкам измерения координат движущейся цели. Существенным недостатком метода является наличие большого количества ложных обнаружений несуществующих источников при большом количестве излучающих объектов в зоне действия пеленгатора, низкая точность измерения координат, метод работает по непрерывному излучению [1, 3].

Разностно-дальномерный метод основан на измерении разности хода сигналов до приемных позиций. Этот метод позволяет работать как по импульсным, так и по непрерывным сигналам, в том числе по шумовым и шумоподобным [4]. Особенно эффективен в случаях, когда для вычисления разности хода применяется базово-корреляционная обработка, при которой вид принимаемых сигналов не имеет значения. Принципиальное отличие разностно-дальномерного метода от угломерного заключается в синхронном приеме сигналов от излучающего источника на разнесенных позициях [5]. Определение координат источника осуществляется по разности прихода сигналов на каждую из позиций, а сама разность прихода сигнала к одной позиции

относительно другой определяется из положения максимума взаимно-корреляционной функции сигналов от этих позиций или разности прихода импульса до приемных пунктов (рис. 2, а).

Для нахождения координат источника излучения требуется наличие на плоскости двух пар опорных пунктов  $O_1, O_2$  и  $O_2, O_3$ . Один из них обычно общий ( $O_2$ ). Каждая пара станций используется для получения ЛП в виде гипербол с фокусами в опорных пунктах. Эти линии строятся как геометрические места точек с постоянной разностью расстояний:  $D_1 - D_2 = \text{const}$  от  $O_1$  и  $O_2$ ;  $D_3 - D_2 = \text{const}$  от  $O_2$  и  $O_3$ . Точка пересечения гипербол совпадает с целью  $M$  [6].

Точность определения местоположения источника излучения данным методом достаточно высока, ошибки составляют около десятков метров. Рассматриваемый метод применяется в пассивных импульсных (временных) и корреляционно-базовых системах определения источников радиоизлучения [7, 8]. Рассмотренному методу присущ недостаток, аналогичный недостатку угломерного метода, обнаружение ложных несуществующих источников радиоизлучения в тех случаях, когда источник излучает периодические сигналы с малым периодом следования (с малой скважностью). В результате система измеряет большое количество разностей дальностей и определяет соответственно большое количество гиперболических поверхностей [8].

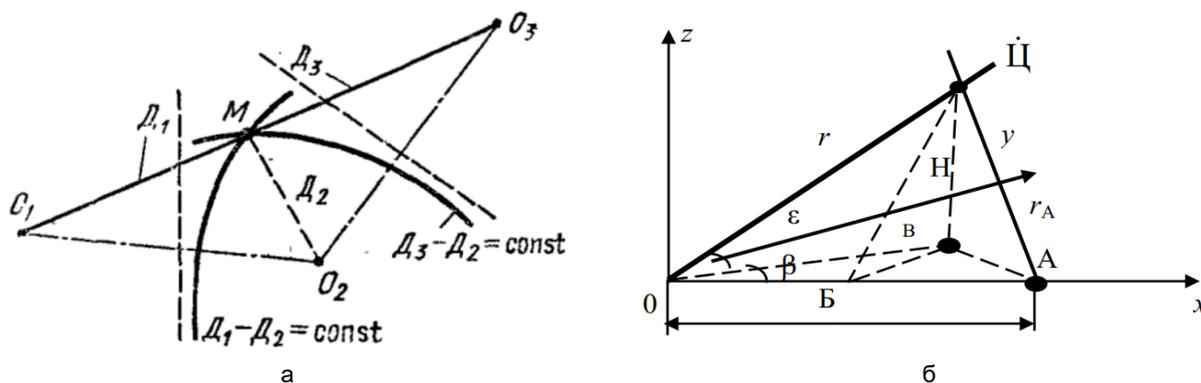


Рис.2 – Методы определения местоположения объектов:

а – Разностно-дальномерный; б – угломерно-разностно-дальномерный

Наиболее перспективным для БКС ПЛ является угломерно-разностно-дальномерный (рис. 2, б), не имеющий недостатков двух предыдущих методов. Угломерно-разностно-дальномерный метод основан на измерении угловых направлений на источник излучения и разности расстояний от него до приемных пунктов.

Угломерно-разностно-дальномерный метод основан на измерении угловых направлений на источник излучения и разности расстояний от него до приемных пунктов. В простейшем случае достаточно иметь два приемных пункта. Для определения плоскостных координат следует измерить азимут  $\beta$ , угол места цели и разность расстояний

$R = r - r_A$  от пунктов приема до цели (рис. 2, б). Местоположение цели определяется точкой пересечения прямой и гиперболы [1, 2].

Таким образом, рассмотренные методы позволяют определять пространственные координаты постановщиков активных шумовых помех по их собственным излучениям. Требования к количеству и характеристикам постов пассивного комплекса определяются требованиями к качеству радиолокационной информации. Наиболее перспективным является угломерно-разностно-дальномерный метод. Базово-корреляционные угломерно-разностно-дальномерные системы дают более высокую точность определения координат постановщиков помех. Это достигается за счет использования широкополосных приемников, в результате чего сужается пик корреляционной функции и повышается точность измерения разности хода  $R$ .

Список использованных источников:

1. В. П. Бердышев, Е. Н. Гарин, А. Н. Фомин Радиолокационные системы: учеб. / В. П. Бердышев, Е. Н. Гарин, А. Н. Фомин [и др.] / Под общ. ред. В.П. Бердышева. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. – 400 с.
2. В.Н. Тяпкин, А.Н. Фомин, Е.Н. Гарин Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск: учебник / В.Н. Тяпкин, А.Н. Фомин, Е.Н. Гарин [и др.] / Под общ. ред. В.Н. Тяпкина. – 2-е изд., перераб. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т. – 2016. – 536 с.
3. Аверьянов В. Я. Разнесенные радиолокационные станции и системы. – Минск: Наука и техника, – 1978.
4. Д. О. Фигуровский Совершенствовании системы наблюдения за воздушным пространством в НАТО / Фигуровский Д. О. / Зарубеж. воен. обозрение. – 1988. № 8
5. Павлов В., Гришулин С. Радиолокационные станции, использующие принцип разнесенного приёма / Павлов В., Гришулин С. / Зарубеж. воен. обозрение. – 1988. № 8.
6. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: Учебник для вузов. – М.: Радиотехника, – 2004.
7. Фиолентов А. Новые технические системы разведки воздушных целей / Фиолентов А. / Зарубеж. воен. обозрение. – 2000. № 4.
8. Скольник Р. М. Справочник по радиолокации. В 4-х т.: Пер. с англ. М.: Сов. Радио, – 1976.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ УСКОРЯЮЩИХ РЕЗОНАТОРОВ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ ПРОТОНОВ

Лукьянчиков Е.А.

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

Рак А.О. – канд. физ.-мат. наук, доцент

В работе приведены результаты численного моделирования и оптимизации ускоряющих резонаторов: коаксиального четвертьволнового и тороидального четвертьволнового.

Для ускорителей со скоростями частиц в диапазоне от 0,01 до 0,2 относительно скорости света, благодаря простоте и экономичности, используются ускоряющие структуры в виде коаксиальных четвертьволновых резонаторов. Однако они имеют ряд недостатков: отклоняющее магнитное поле, невысокая концентрация ускоряющего электрического поля. Данные проблемы отсутствуют в тороидальных резонаторах [1].

В данной работе будут приведены результаты численного моделирования и оптимизации коаксиального четвертьволнового и тороидального четвертьволнового ускоряющего резонатора, для более наглядной демонстрации их преимуществ и недостатков.

На рисунке 1 представлен внешний вид коаксиального четвертьволнового резонатора. Добротность –  $8.7 \times 10^3$ .

Распределение электрического и магнитного поля в коаксиальном четвертьволновом резонаторе представлены на рисунках 2 и 3, соответственно.

Тороидальный четвертьволновой ускоряющий резонатор представляет собой соосно соединенные половины тороидального резонатора с продольным размером  $h \leq 0,2\lambda_p$  и разомкнутый четвертьволновой коаксиальный резонатор с длиной внутреннего проводника  $0,2\lambda_p \leq l \leq 0,24\lambda_p$ , где  $\lambda_p$  – рабочая длина волны. Добротность –  $2.7 \times 10^4$  [2].

Внешний вид тороидального четвертьволнового резонатора представлен на рисунке 4.

Распределение электрического и магнитного поля в тороидальном четвертьволновом резонаторе представлены на рисунках 5 и 6, соответственно.

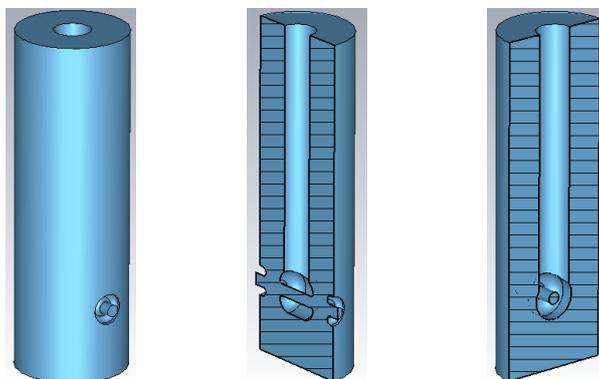


Рисунок 1 – Внешний вид коаксиального четвертьволнового резонатора

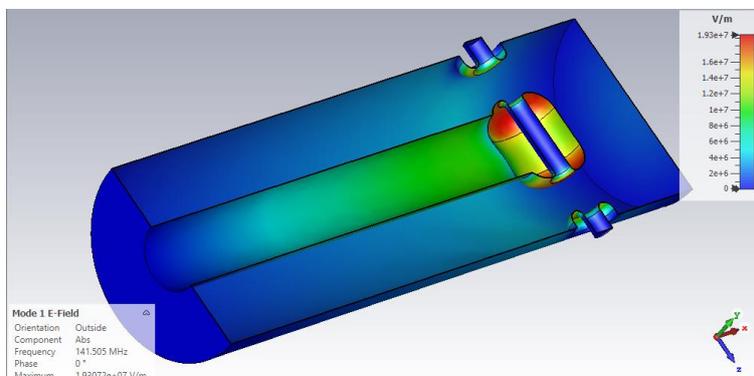


Рисунок 2 – Распределение электрического поля в коаксиальном четвертьволновом резонаторе

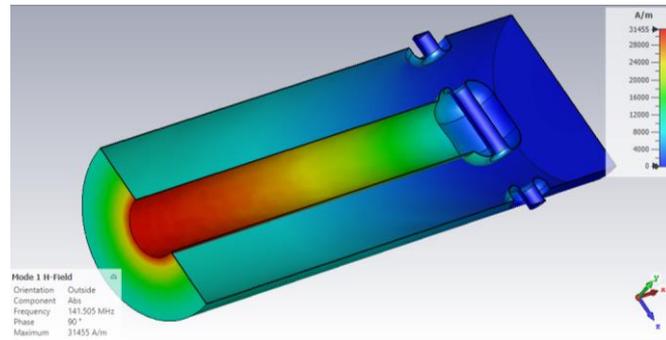


Рисунок 3 – Распределение магнитного поля в коаксиальном четвертьволновом резонаторе

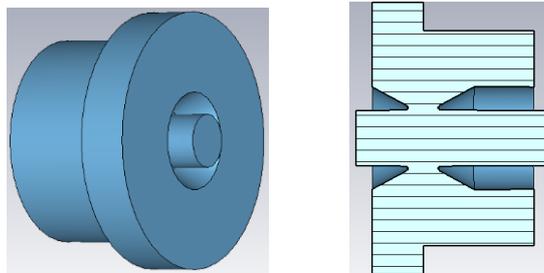


Рисунок 4 – Внешний вид тороидального четвертьволнового резонатора

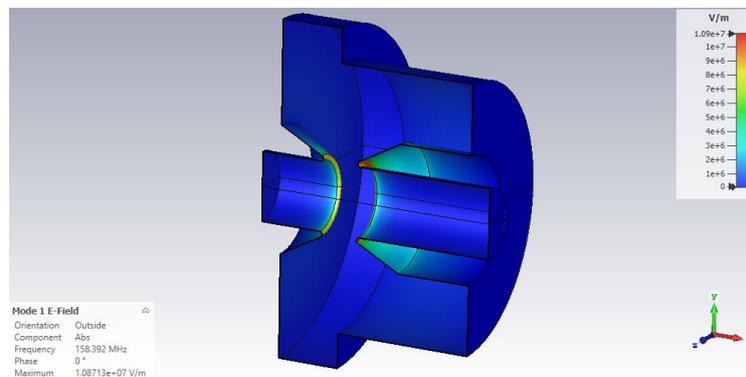


Рисунок 5 – Распределение электрического поля в тороидальном четвертьволновом резонаторе

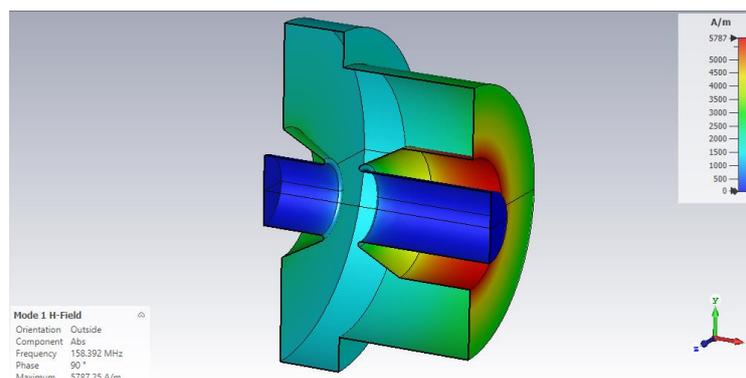


Рисунок 6 – Распределение магнитного поля в тороидальном четвертьволновом резонаторе

Полученные варианты тороидального четвертьволнового резонатора по своим параметрам и свойствам превосходят коаксиальный четвертьволновой резонатор.

**Список использованных источников:**

1. Диденко, А.Н., Северюкова, Л.М., Ятис, А.А. *Сверхпроводящие ускоряющие СВЧ-структуры*. М.: Энергоиздат, 1981. С. 208.
2. Курушин А.А. *Моделирование мощных СВЧ приборов с помощью программы CST Particle Studio* // А.А. Курушин – Москва 2018, 34с.

# БЕСПОИСКОВЫЙ ПРИЕМНИК ПСЕДОСЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ

Лэ Д.Б.Т.

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

Карлушкин Э.М. – к.т.н., доцент

Беспоисковый приемник псевдослучайных сигналов - одно из применений псевдослучайных (ПС) сигналов в системе передачи цифровой информации. Автокорреляционный прием ПС - сигналов с дискретной фазовой модуляцией (ДФМ) с информационной модуляцией по задержке. Достоинства, недостатки и рекомендации к применению.

В колебании  $x(t) = S(t, \tau) + n(t)$ ,  $0 \leq t \leq T$ , полезный сигнал  $S(t, \tau) = S_0(t - \tau) \cos(\omega_0 t + \varphi)$  является функцией от временного положения  $\tau$ .

Псевдослучайных сигналы с дискретной фазовой модуляцией:

$$S_i(t) \rightarrow U_i(t) = \left\{ \begin{array}{l} U_1(t) \rightarrow "1" \\ U_2(t) = -U_1(t - t_3) \rightarrow "0" \end{array} \right\}, \text{ где } t_3 = (2n-1) \frac{\tau_0}{2}, n = 1, 2, \dots,$$

$\tau_0$  - длительность элементарного символа ПСП.

$N\tau_0 = T_c$  - длительность ПСП.

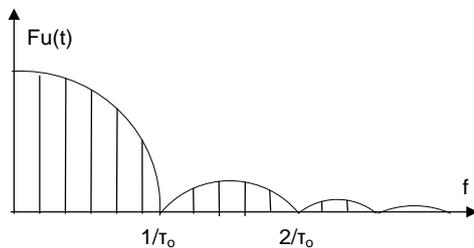


Рисунок 1

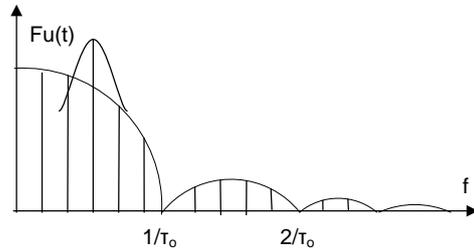


Рисунок 2

$\frac{1}{\tau_0} = f_m$  - тактовая частота ПСП. В ПСП составляющая на  $f_m$  равна нулю. Здесь составляющая

на  $f_m$  не равна нулю. При  $U = U(t - t_3)$  получим  $U_{zc} = -\frac{A_0^2}{\pi} \cos(\omega_m t)$ .

Фаза на тактовой частоте на выходе модулятора по задержке изменяется на по закону информационного сигнала (ПСП).

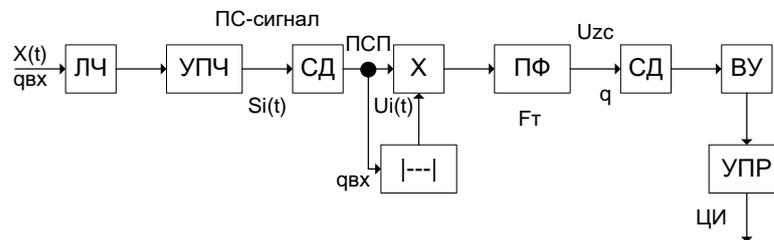


Рисунок 3: Структура автокорреляционного приемника

ЛЧ – линейная часть, УПЧ – усилитель промежуточной частоты, СД – синхронный детектор, ВУ – видеусилитель, УПР – устройство принятия решения

Определим эффективность такого приемника (найдем вероятность ошибки):  $P_{ош} = f(q_{ex})$ .

$$\text{Значит, } q = \frac{P_{Fm}}{P_{zfm}} = \left| P_{fm} = \frac{A_0^4}{\pi^2} \right| = \frac{A_0^4}{\pi^2 (N_0 A^2 + \frac{N_0^2}{4\tau_0}) \Delta F_U} = \left| \frac{A_0^2}{N_0 \frac{1}{\tau_0}} = q_{ex} \right| = \frac{4}{\pi^2} \frac{q_{ex}^2}{1 + 2q_{ex}} B,$$

$$\text{Следовательно, } P_{ошак} = 1 - \Phi(\sqrt{2q}) = 1 - \Phi\left(\sqrt{\frac{8}{\pi^2} \frac{q_{ex}^2}{1 + 2q_{ex}} B}\right). \text{ И значит } 1 - \Phi(x) \cong \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2}.$$

По сравнению с пошаговым поиском по временному положению:

Пусть  $T_{cp}$  - среднее время поиска, т.е.  $T_{cp} = \frac{N}{2} \cdot T_a$ , где  $N$  - значность последовательности (ПСП),  $T_a$  - время анализа.

$$\text{Получит: } T_{cp} = \frac{2N\tau_0}{q} \ln \left[ \frac{N}{P_{ошпп} \cdot \sqrt{2\pi}} \right] \text{ и } P_{ошпп} = 1 - \Phi(\sqrt{q_{ex} \cdot B}), \text{ где } B = F_{эфф} \cdot T_c = \frac{1}{\tau_0} \cdot T_{cp}.$$

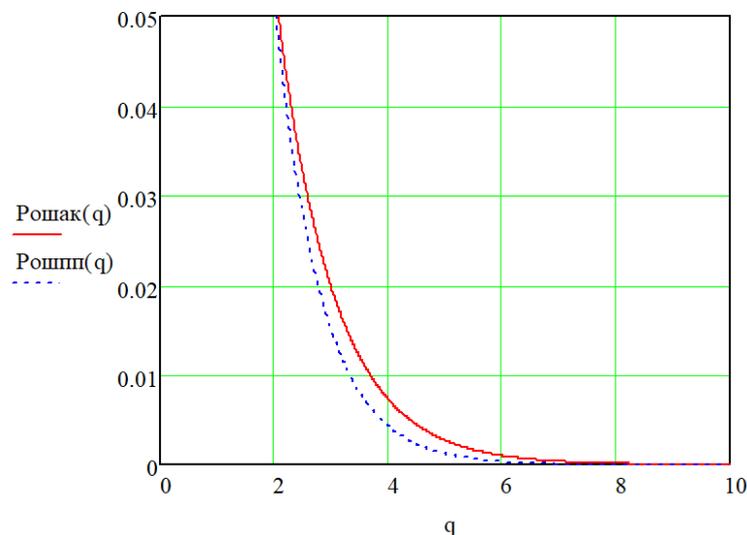


Рисунок 4: Зависимость вероятности ошибки ( $P_{ошак}$  и  $P_{ошпп}$ ) оценки временного положения от отношения сигнал/шум ( $q_{вх}$ , дБ)

На основании приведенного выше графика, вероятности ошибки  $P_{ошак} > P_{ошпп}$  в том же значении  $q_{вх}$ . Расчеты показывают, что для  $P_{ошак} \approx 0,001$  автокорреляционный прием проигрывает когерентному приему ПС - сигнала 7 дБ.

Достоинства метода:

1. Простота реализации приемника.
2. Не требуется времени поиска для определения начала приходящего ПС – сигнала, нет потери информации.
3. Можно беспоисковый приемник использовать для синхронизации поискового.

Недостатки метода: по сравнению с когерентным оптимальным приемником таких ПС - сигналов, существует проигрыш в помехоустойчивости.

Рекомендации к применению:

1. Целесообразно использовать такой приемник для радиолиний со средней энергетикой.
2. Приемник может быть использован как синхронизирующее устройство для когерентной оптимальной системы приема ПС – сигнала.

**Список использованных источников:**

1. Исследование широкополосной радиосистемы передачи цифровой информации: метод. указания к лаб. работе по дисциплине «Радиосистемы передачи информации» для студ. специальности «Радиоэлектронные системы» / сост. Э. М. Карпушкин. – Минск : БГУИР, 2012.
2. Основы теории радиотехнических систем, учебно-методическое пособие для студентов радиотехнических специальностей в 2-х частях : оптимальный прием радиосигналов. сост. Э. М. Карпушкин. – Минск : БГУИР, 2012.

## ОЦЕНКА ВРЕМЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ РАДИОСИГНАЛА, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА МОДЕЛИ

Лэ Д.Б.Т.

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

Карпушкин Э.М. – к.т.н., доцент

Оптимальная оценка параметров радиосигнала заключается в синтезе структуры, наилучшим образом выделяющей информационный параметр (или несколько параметров), и количественной характеристике качества работы синтезированной структуры. Одна из них - оценка временного положения радиосигнала.

В колебании  $x(t) = S(t, \tau) + n(t)$ ,  $0 \leq t \leq T$ , полезный сигнал  $S(t, \tau) = S_0(t - \tau) \cos(\omega_0 t + \varphi)$  является функцией от временного положения  $\tau$ . Так как огибающая сигнала – медленно изменяющаяся функция по сравнению с несущей частотой  $\omega_0$ , то оценку временного положения сигнала можно проводить, анализируя сигнальную функцию огибающих сигналов.

Точность оценки временного положения сигнала тем выше, чем шире полоса частот сигнала и больше отношение сигнал/шум на входе приемника.

Структурная схема, оптимально оценивает временную задержку ( $\lambda_i = \tau_i$ ).

Временное смещение  $\Delta$  выбирается равным или длительности элементарного дискрета, или его половине, если сигнал цифровой.

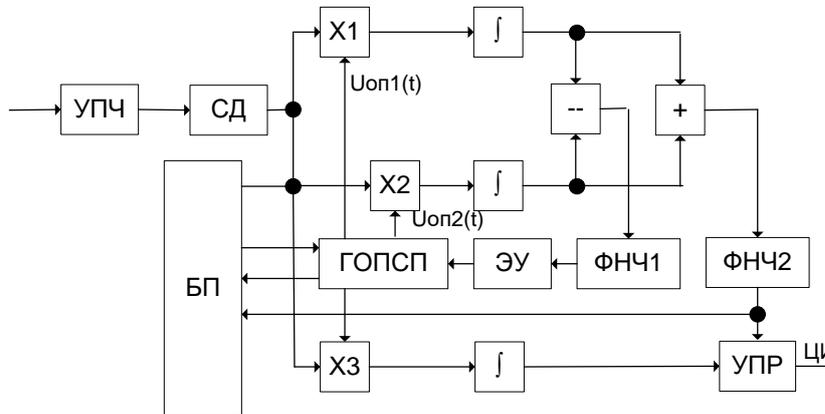


Рисунок 1 – Структура следящего измерителя временного положения сигнала.

УПЧ – усилитель промежуточной частоты; СД – синхронный детектор, БП – блок быстрого поиска; ГОПСР – генератор опорной ПСП; ЭУ – элемент управления, ФНЧ – фильтр нижних частот; УПР – устройство принятия решения.

Элемент управления (ЭУ) преобразует напряжение рассогласования во временную задержку опорных колебаний. Синтезированные структуры и оценочная характеристика временной задержки составляют основу при проектировании синхронизирующих устройств в системах обработки информационных сигналов.

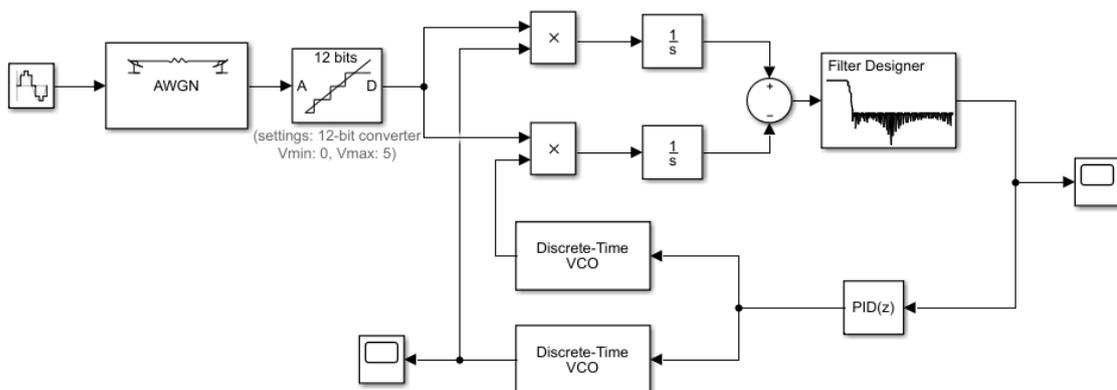


Рисунок 2 - Моделирование в среде Simulink

Аддитивный белый гауссовский шум (АБГШ, англ. AWGN) — вид мешающего воздействия в канале передачи информации. Характеризуется равномерной, то есть одинаковой на всех частотах, спектральной плотностью мощности, нормально распределёнными временными значениями и аддитивным способом воздействия на сигнал.

Мы умножаем сигнал с несущей колебанием, генерируемся блоком *Sine wave*. Полученным результатом является полезный сигнал. Для создания опорных колебаний мы используем блок *Delay*. Также в состав схемы входят сумматор *Sum*, блок передаточной функций *Filter Designer* (ФНЧ), блок умножения *Product*, блок разности *Subtract*.

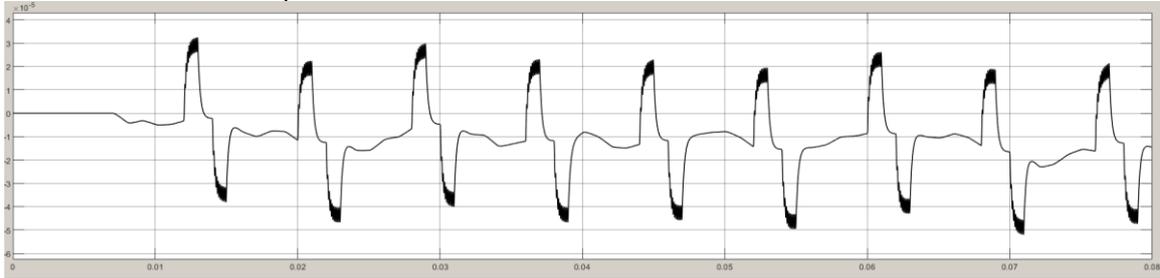


Рисунок 3 - Временная диаграмма оценки временного положения

Дисперсия оценки временного положения:

$$\sigma_{\hat{\tau}}^2 = \frac{1}{\frac{2E}{N_0} \cdot F_{\text{эк}}^2}$$

$E$  - энергия огибающей сигнала,

$N_0$  - спектральная плотность белого шума,

$F_{\text{эк}}$  - эквивалентная полоса частот занимаемой огибающей радиосигнала.

Величина эквивалентной полосы частот сигнала мало чем отличается от эффективной полосы частот, занимаемой сигналом, поэтому на практике обычно принимают  $F_{\text{эк}} = F_{\text{эф}} = 1000 \text{ Гц}$ .

Белый шум выбирается с спектральными плотностями мощности.

Флюктуационная точность измерения временной задержки  $\sigma_{\hat{\tau}}$ .

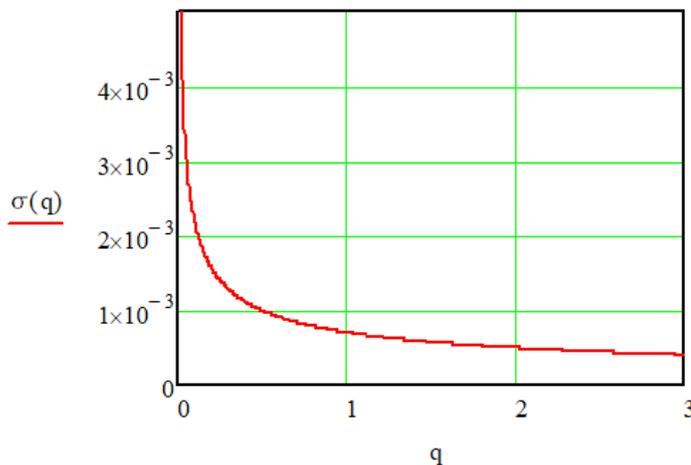


Рисунок 4 - Зависимость дисперсии оценки временного положения от отношения сигнал/шум

В исследовании были получены оценка временного положения, ее дисперсия и флюктуационная точность измерения временного задержки. Смотри на рисунок 4, значения флюктуационной точности довольно мало ( $<10^{-3}$ ) при отношении сигнал/шум ( $E/N_0$ ) более 0,5.

**Список использованных источников:**

Исследование широкополосной радиосистемы передачи цифровой информации : метод. указания к лаб. работе по дисциплине «Радиосистемы передачи информации» для студ. специальности «Радиоэлектронные системы» / сост. Э. М. Карпушкин. – Минск : БГУИР, 2012.

## ЗАГРУЗЧИК ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ МОДУЛЕЙ

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

Ляшук Ю.А, Соколовский Д.В.

Корневский С.А. – к.т.н., доцент

В работе проведен анализ проблем, возникающих в процессе разработки и эксплуатации современного радиоэлектронного оборудования, в частности программно-определяемых систем, а также показана одна из реализаций универсального программного загрузчика для программно-определяемых модулей.

На сегодняшний день современным подходом к построению сложных радиоэлектронных систем является использование в составе их блоков программно-определяемых модулей, позволяющих с помощью программного обеспечения устанавливать или изменять рабочие параметры, включая, диапазон частот, тип модуляции, выходную мощность, тип цифровой обработки и т.п [1,2,3]. В состав модулей может входить микроконтроллер, цифровой сигнальный процессор, программируемая логическая интегральная схема. Отладка блоков на стадии разработки, аппаратная калибровка или нормировка [4], а также последующая модернизация систем, в состав которых входит программно-определяемый модуль, может обеспечиваться путем обновления программного обеспечения с помощью разработанного программного загрузчика.

Загрузчик представляет собой программное обеспечение передающей и приемной части. Передающая часть формирует из файла прошивки согласно протоколу обмена пакеты и обеспечивает их доставку. Приемная часть обеспечивает прием и проверку целостности принятых пакетов, архивирование актуальной прошивки на случай сбоя процесса прошивки, а также проверку целостности актуальной прошивки блока при запуске блока.

Загрузчик построен на основе многоуровневой модели подобной модели OSI (рисунок 1).

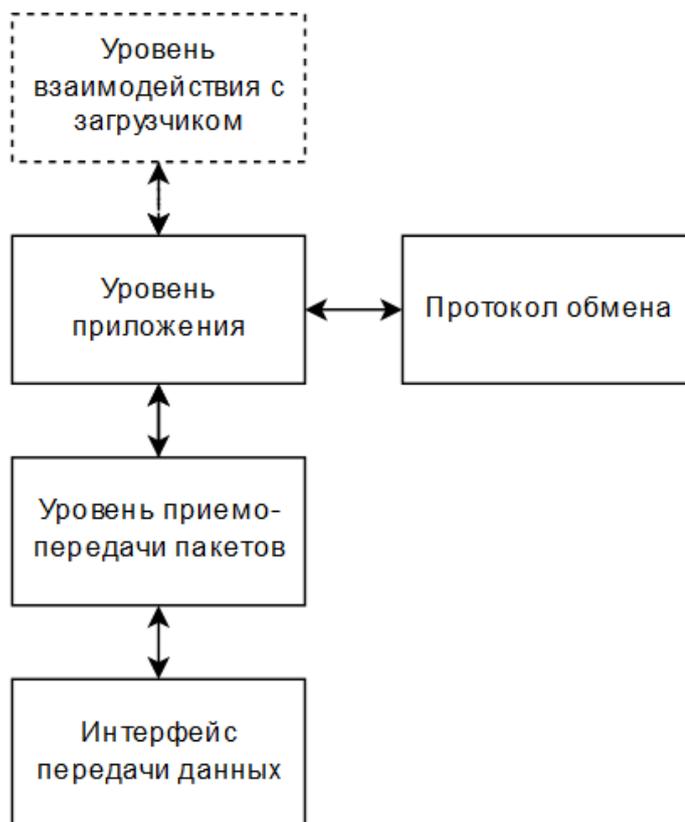


Рисунок 1 – Многоуровневая модель загрузчика программно-определяемых модулей

Каждый уровень загрузчика решает свою частную задачу по подготовке данных, передаче и приеме пакетов прошивки. На уровне взаимодействия с загрузчиком происходит управление процессом загрузки, в частности передачей прошивки для загрузки и выбором модуля для прошивки. Уровень приложения занимается разбиением прошивки на части, подготовкой служебных данных согласно протоколу обмена для последующей упаковки этих данных в пакеты на приемной стороне и приеме прошивки с последующим размещением этих данных в энергонезависимой памяти программно-определяемых модулей на приемной стороне. Уровень приемо-передачи пакетов занимается формированием и проверкой целостности пакетов с последующей передачей этих данных в интерфейс передачи данных.

Загрузчик позволяет изменять интерфейс передачи данных, а также протокол или алгоритм перепрошивки, что делает загрузчик универсальным, как для микроконтроллера, так и для памяти ПЛИС.

Список использованных источников:

1. СВЧ тракт приемопередающего модуля АФАР для космического радиолокатора X-диапазона / Р.А. Богданов, Д.В. Соколовский, О.С. Мальцев. // Инженерия для освоения космоса : сб. научн. Тр. VI Международного молодежного форума / Томский политехнический университет. – Томск, 2018. – 78 с.А. А. Быков, Ю. А Сидоркина, А. А Ковальчук. Применение сигма-дельта модуляторов в дробных синтезаторах частоты, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011.
2. Соколовский, Д. В. Широкополосный генератор радиочастот с малым уровнем побочных излучений / Д. В. Соколовский // Информационные радиотехнологии : материалы 55-й юбилейной конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Минск, 2019 года). – Минск : БГУИР, 2019. – С. 139.
3. Ляшук, Ю. А. Программно-управляемый широкополосный генератор СВЧ / Ю. А. Ляшук // Радиотехника и электроника: 55-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22-26 апреля 2019 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2019. – С. 104 – 105.
4. М. В. Давыдов. Методика оценки и программной коррекции неравномерности АЧХ ВЧ-тракта генератора для широкополосного перестраиваемого акустооптического фильтра / М. В. Давыдов, Д.В. Соколовский и др. // Информационные технологии и системы 2018 (ИТС 2018): материалы международной научной конференции, Минск, / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2018. – С. 48 - 49.

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА С ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ПО КОРОТКОЙ ЦИФРОВОЙ ВЫБОРКЕ

Манюкевич Е.А., Поболь А.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Гринкевич А.В. - канд. техн. наук, доц.

Обоснованы алгоритмы определения начального значения и скорости изменения частоты сигнала с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) при цифровой обработке короткой выборки его квадратурных компонент. Алгоритмы основаны на развертке полной фазы принимаемой реализации и ее аппроксимации параболической зависимостью по трем точкам, коэффициенты которой функционально связаны с оценками начальных фаз, частоты и скорости изменения частоты сигнала.

В ряде практических приложений (радиомониторинг, формирование помех из копий зондирующего сигнала и др.) существует практическая потребность определения начальной частоты и скорости изменения частоты ЛЧМ-сигнала при жестких ограничениях на время проведения указанных оценок. Известные алгоритмы оценки, основанные на методе максимального правдоподобия, в этом случае оказываются не реализуемыми. В [1] предложены алгоритмы оценки частоты гармонического сигнала при цифровой обработке квадратурной выборки. Цель работы – модификация алгоритмов указанных алгоритмов и получение оценок точности измерения параметров ЛЧМ-сигнала.

Будем полагать, что наблюдению доступны  $i = \overline{0, I}$ , где  $I = [TF_d]$ ;  $F_d$  - частота дискретизации;  $T$  - длительность интервала наблюдения, отсчетов квадратурных компонент смеси сигнала и шума вида

$$\dot{Y}_i = \dot{S}(t_i) + \dot{N}(t_i),$$

где  $\dot{S}(t) = Ae^{j(2\pi ft + bt^2 + \varphi_0)}$  - ЛЧМ-сигнал с начальными фазой  $\varphi_0$ , частотой  $f$  и скоростью изменения частоты  $V_f = b / \pi$ ;  $t_i = i / F_d$ ;  $\dot{N}(t_i)$  - комплексный гауссовский шум с корреляционной функцией  $\overline{\dot{N}(t_m)N^*(t_n)} = \delta_{mn}\sigma_{ш}^2$ . Фазы отсчетов:

$$\theta_i = \arg(\text{Re}(\dot{Y}_i), \text{Im}(\dot{Y}_i)), \theta_i \in [0, 2\pi).$$

Развертку полной фазы  $\psi$  по результатам наблюдений выполним по алгоритму

$$\psi_0 = \theta_0; \psi_k = \psi_{k-1} + \Delta'_k, \Delta'_k = \begin{cases} \Delta_k, & |\Delta_k| < \pi; \\ \Delta_k - 2\pi \cdot \text{sign}(\Delta_k), & |\Delta_k| > \pi; \end{cases}$$

$$\Delta_k = \theta_k - \theta_{k-1}; k = \overline{1, I},$$

для которого предполагалось, что набег фаз между отсчетами для любой частоты и скорости изменения меньше, чем  $\pi$ .

Аппроксимация полной фазы запишется в виде

$$\psi(t) = \varphi_0 + \omega t + bt^2,$$

где неизвестные параметры сигнала  $\varphi_0$ ;  $\omega = 2\pi f$ ;  $b$  могут быть найдены методом наименьших квадратов с использованием всех или части отсчетов фазы. При наиболее экономичной аппроксимации по трем точкам  $\psi_1, \psi_{N/2}, \psi_N$  получим оценки вида:

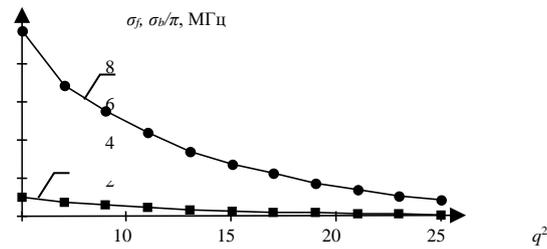
$$\hat{\varphi}_0 = \psi_0; 2\pi \hat{f} = (-3\psi_0 + 4\psi_{N/2} - \psi_N) / T;$$

$$\hat{b} = (2\psi_0 + 4\psi_{N/2} + 2\psi_N) / T^2.$$

Математические ожидания ошибок оценки параметров  $\hat{f}$  и  $\hat{b}$  при отсутствии аномальных ошибок измерения фазы будут равны нулю, при этом оценки указанных величин будут коррелированы.

Эффективность предлагаемого алгоритма исследовалась методом имитационного

моделирования. Рассматривался квадратурный приемник сигналов с полосой пропускания квадратурных компонент 250 МГц при частоте дискретизации 500 МГц при отношении сигнал/шум 10...30 дБ. На рис. 1 для примера приведены результаты расчетов зависимости среднеквадратических ошибок оценивания параметров ЛЧМ-сигнала ( $f = 50$  МГц,  $b/\pi = -10$  МГц/с) от отношения сигнал/шум при  $T = 0,2$  мкс.



Предлагаемый вариант оценки частотных параметров ЛЧМ-сигнала обеспечивает получение несмещенных оценок, является асимптотически эффективным и предельно простым в реализации.

#### Список литературы

- 1] М. В. Ронкин, А. А. Калмыков, Е. И. Хрестина. Оценка частоты сигнала по короткой реализации в локационных системах с непрерывным излучением на основе обработки квадратурных составляющих // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. т. 1. С. 48-52.

## ЛОГИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ 8В/10В

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

Марчук Т.М.

Матюшков А.Л. – к.т.н., доцент

В докладе рассматривается логическое избыточное кодирование 8В/10В и его реализация в Matlab/Simulink.

Некоторые методы цифрового кодирования очень чувствительны к характеру передаваемых данных. Например, при передаче длинных последовательностей логических нулей посредством потенциального кода типа NRZ или AMI сигнал на линии долгое время не изменяется, и приемник может ошибиться с моментом считывания очередного бита. Для кода NRZ подобные проблемы возникают и при передаче длинных последовательностей логических единиц. Логическое кодирование (которому может подвергаться исходная последовательность данных) должно внедрять в длинные последовательности бит, биты с противоположным значением, или вообще заменять их другими последовательностями. Кроме исключения «проблемных» битовых последовательностей, логическое кодирование позволяет также увеличить кодовое расстояние между символами (для упрощения декодирования), улучшить спектральные характеристики сигнала и передавать в общем потоке служебные сигналы. В основном для логического кодирования применяются три группы методов: вставка бит, избыточное кодирование и скремблирование. Рассмотрим логическое избыточное кодирование 8В/10В.

Буква «В» в названии кода означает, что элементарный сигнал имеет 2 состояния (binary – двоичный), а цифры указывают, какое количество бит содержится в одной последовательности исходного и результирующего кода соответственно [1].

Метод 8В/10В означает, что каждые 8 бит в исходном коде заменяются 10-ю битами в результирующем коде. Для этого часто используется таблица перекодировки, устанавливающая соответствие между исходными восьмибитовыми и результирующими десятибитовыми последовательностями. В результате такой замены количество результирующих кодовых последовательностей больше количества исходных. В коде 8В/10В результирующих последовательностей  $2^{10} = 1024$ , в то время как исходных  $2^8 = 256$ . В этих 1024 случаях допустимы только  $(256 + 12) \times 2 = 536$  случаев. Появление запрещенных символов означает ошибку в передаваемых данных.

На рисунке 1 показано, как происходит преобразование 8В/10В. Некодированная информация (кодовая группа) разбивается на блоки по 8 бит: А, В, С, D, E, F, G, H. Восьмибитный блок разбивается на две части: 3-битный блок H, G, F, который кодируется в 4-битный f, g, h, j, и 5-битный блок E, D, C, B, A, который кодируется в 6-битный a, b, c, d, e, i. Потом 6-битный и 4-битный блоки объединяются в так называемый передаваемый символ из 10 бит: a, b, c, d, e, i, f, g, h, j. Некодированная информация может принимать значение D в случае обычных символов данных (D-типа) или K в случае специальных символов (K-типа). Каждый имеющий смысл передаваемый символ имеет свое обозначение D<sub>x.y</sub> или K<sub>x.y</sub> в соответствии со следующим соглашением: x — десятичное значение двоичного числа, составленного из битов E, D, C, B и A, а y — десятичное значение двоичного числа, составленного из битов H, G, F. Так, например, передаваемый символ для специального (т. е. K-типа) байта 10111100 обозначается как K28.5. Иногда он называется также запятой (comma).

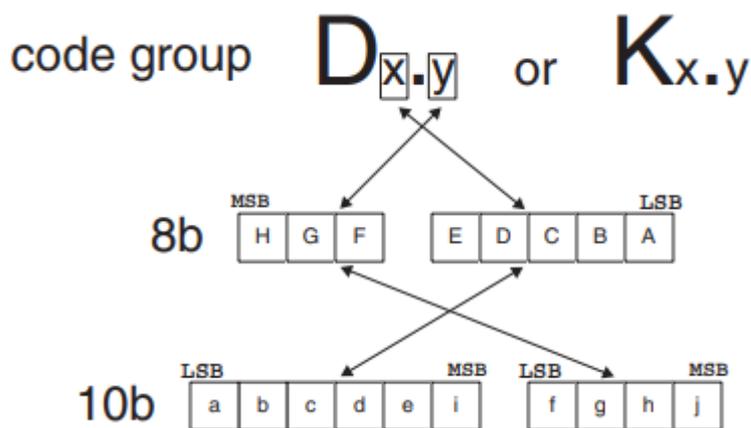


Рис. 1 – Преобразование 8В/10В.

Каждый байт данных или специальный символ имеет два (возможно, одинаковых) передаваемых кода, т. е. каждый передаваемый символ имеет два представления, в частности K28.5 может быть представлен и как десятибитовая последовательность 0011111010, и как 1100000101. Какое из двух возможных представлений будет выбрано для передачи, зависит от значения «текущего дисбаланса» (Running Disparity, RD). Двоичный параметр RD вычисляется на основании баланса 0 и 1 в подблоках передаваемого символа. 1 соответствует сигналу с большей оптической мощностью (для оптических каналов) или сигналу с большим напряжением на контакте +, чем на контакте - (в случае медных линий). Текущий дисбаланс вычисляется после первых шести битов каждого передаваемого символа и затем после последних четырех его битов. Дисбаланс может быть

положительным (больше единиц, чем нулей) или отрицательным (больше нулей, чем единиц). Такая схема призвана обеспечить равенство нулей и единиц с течением времени.

Всевозможных 10-битовых комбинаций больше, чем реально используется для представления 256 обычных символов. Таким образом, при получении 10-битовой последовательности битов, не соответствующей ни D-типу, ни K-типу, получатель сигнализирует об ошибке кодирования. Кроме того, как отправитель, так и получатель вычисляют новое значение текущего дисбаланса. Если полученный символ имеет отличное от ожидаемого значение дисбаланса (которое получатель определяет на основании предыдущего значения), то получатель сигнализирует об ошибке дисбаланса. Такой подход позволяет реализовать контроль ошибок. Вообще же, вероятность возникновения ошибки при передаче данных составляет ничтожную величину  $10^{-12}$ .

Моделирование работы кодера и декодера 8B/10B было выполнено в Matlab/Simulink. Схема реализованной модели представлена на рисунке 2. Результаты моделирования представлены на рисунке 3.

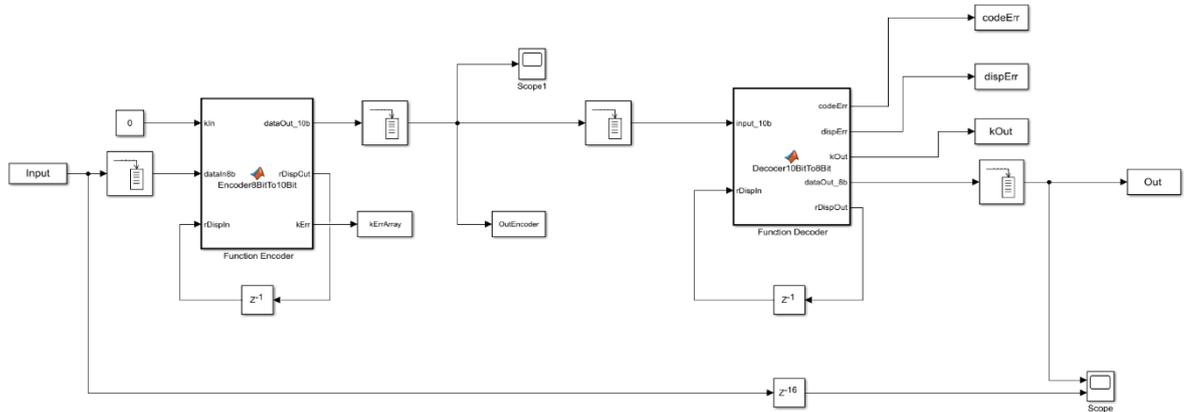


Рис. 2 – Модель кодера и декодера 8B/10B в Matlab/Simulink

На вход кодера была подана последовательность из 400 нулей и 400 единиц. В результате работы кодера исчезают длинные последовательности нулей и единиц. Декодированные данные полностью соответствуют входным.

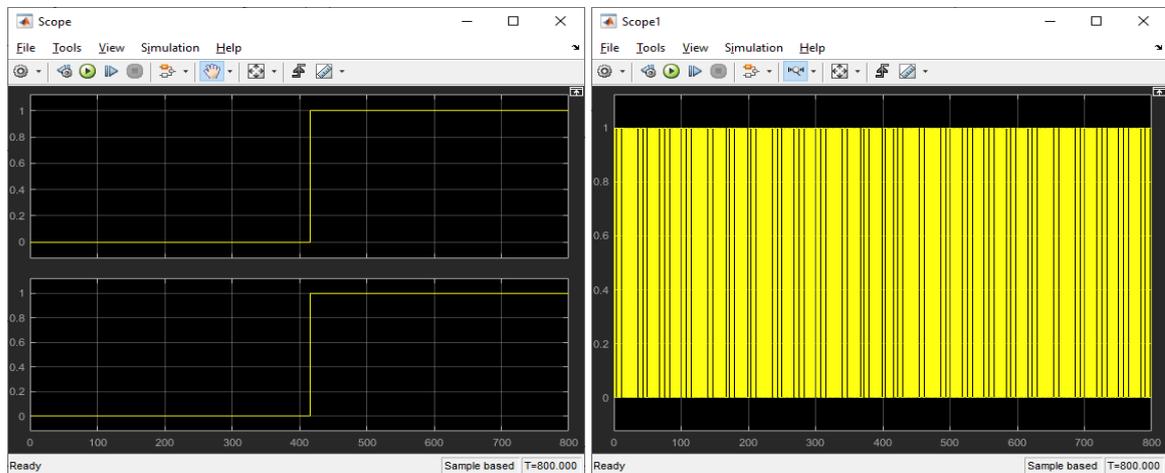


Рис. 3 – Результаты моделирования кодера и декодера 8B/10B в Matlab/Simulink

Таким образом, в работе рассмотрено логическое избыточное кодирование 8B/10B и его реализация в Matlab/Simulink.

Список использованных источников:

1. Алиев, Т. И. Компьютерные сети и телекоммуникации: задания и тесты / Т. И. Алиев, В. В. Соснин, Д. Н. Шинкарук. – СПб: Университет ИТМО, 2018. – 112 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО УЗКОПОЛОСНОГО ПРЕСЕЛЕКТОРА ДИАПАЗОНА ОВЧ

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

Меледин К.И.

Лопатченко А.С. – ассистент

В работе рассматриваются вопросы моделирования и оптимизации технического решения электронно-перестраиваемого узкополосного преселектора для приемного тракта радиостанции диапазона ОВЧ.

Сложная электромагнитная обстановка, характерная для работы радиоприемных трактов современных систем связи диапазона ОВЧ, определяет задачу частотной защиты тракта от мощных помех.

Важную роль в обеспечении помехозащищенности радиоприемного тракта от интенсивных помех, создаваемых отдельными радиоэлектронными средствами, выполняет узкополосный преселектор (УП), который реализует предварительную частотную фильтрацию полезного сигнала на фоне помех и подавление побочных каналов приема [1, 2].

Как правило, УП радиоприемных трактов ОВЧ диапазона представляет структуру с распределенной избирательностью, состоящей из однокаскадной и двухкаскадной частотно-селективных цепей, связанных маломощным усилителем (МШУ), который необходим для компенсации ощутимых потерь, имеющих место в узкополосных схемах [2-4] (рис.1).

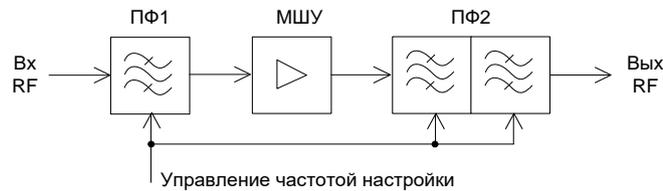


Рис.1

Резонансные цепи структуры сопряжено перестраиваются в заданном (146...174 МГц) диапазоне частот, обеспечивая узкую (4...5 МГц) полосу пропускания и селективность не менее 20 дБ на 10% отстройках от резонансной частоты. Теория и методы проектирования таких цепей всесторонне разработаны в [3-7], поэтому далее рассмотрим только вопросы моделирования и оптимизации их характеристик.

На рис.2 представлена модель УП, построенная в САПР ADS. Входная и выходная частотно-селективные цепи выполнены с согласованными присоединительными импедансами сечений (рис.3, а, б), в качестве МШУ использован интегральный усилитель с коэффициентом усиления 22 дБ.

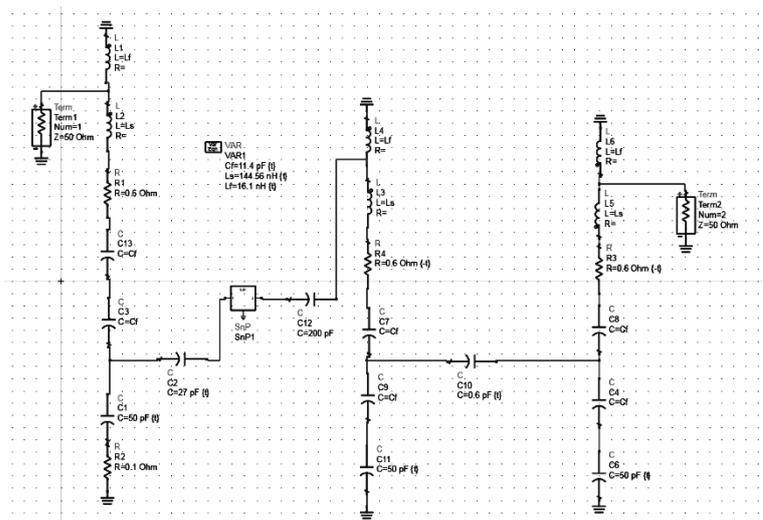


Рис. 2

Результаты моделирования УП для крайних частот диапазона представлены на рис.3,в.

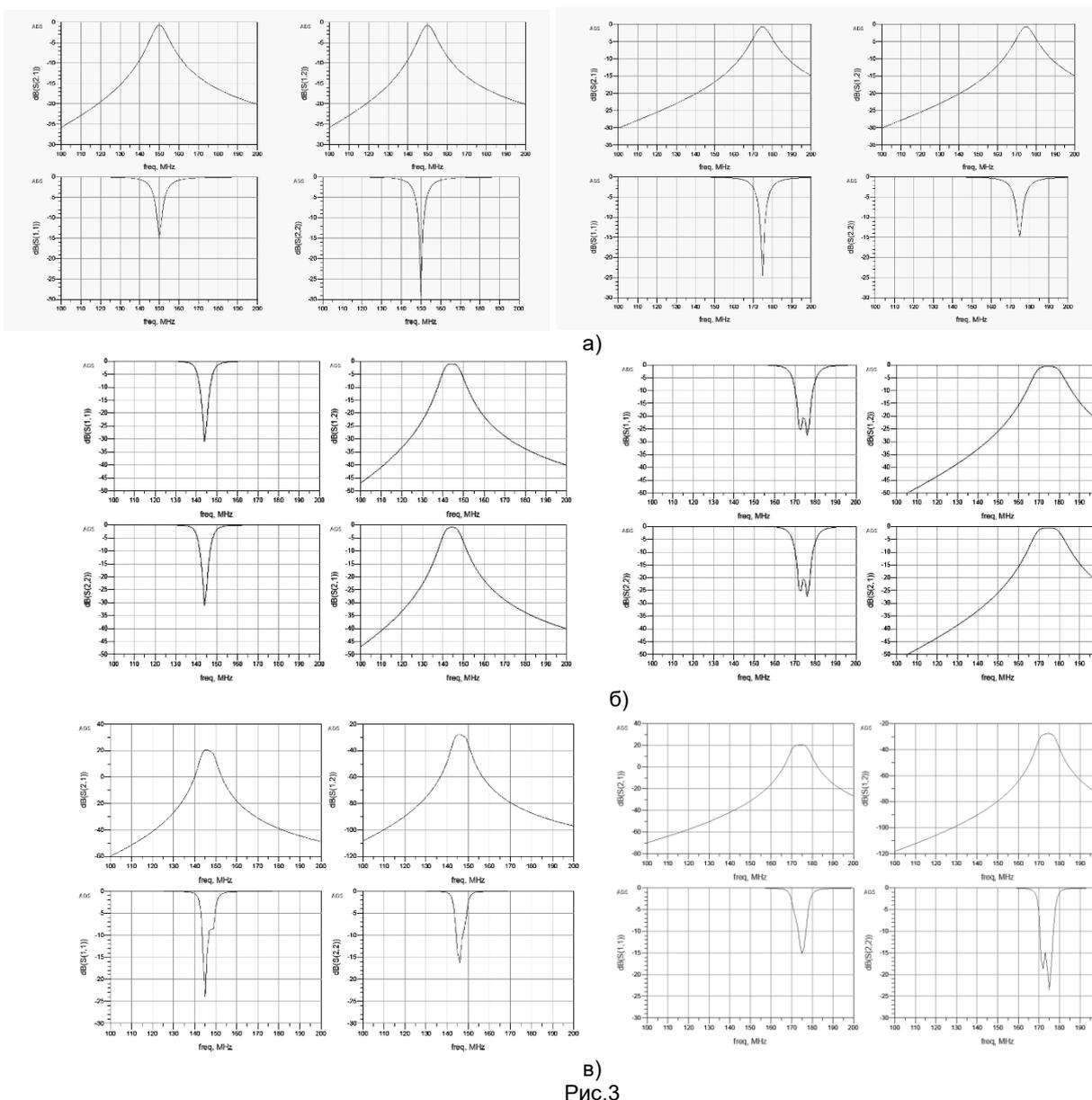


Рис.3

Видно, что преселектор обеспечивает в диапазоне частот 146...174 МГц коэффициент передачи 20 дБ с КСВН по входу не хуже 1,37 и КСВН по выводу не хуже 1,43. Полоса пропускания по уровню -1 дБ на нижней рабочей частоте диапазона составляет 4,5 МГц, на верхней – 5 МГц. Селективность преселектора на 10% отстройках от резонансной частоты составляет не менее 36 дБ.

Таким образом, представлены результаты практического опыта моделирования и оптимизации перестраиваемого узкополосного преселектора диапазона ОВЧ с использованием программного пакета Advanced Design System.

Список использованных источников:

1. **Малевич И. Ю.** Радиоприемные устройства. - Мозырь: Издательский Дом "Белый Ветер", 2000. - 204 с.
2. Чердынцев, В.А., Малевич, И.Ю., Курочкин, А.Е. Методы и устройства приема и обработки радиосигналов. – Минск: БГУИР, 2010. - 288 с.
3. **Проектирование радиоприемных устройств.** Под ред. А.П. Сиверса. – М.:Сов. Радио, 1976. – 488 с.
4. **Знаменский А.Е., Попов Е.С.** Перестраиваемые электрические фильтры. – М.: Связь, 1979. – 128 с.
5. **Rohde U.L., Newkirk D.P.** RF/Microwave circuit design for wireless applications. – John Wiley & Sons, Inc., 2000. – 972 p.
6. **Фалько А.И.** Расчет преселекторов радиоприемных устройств. – Новосибирск: СибГУТИ, 2009. -144 с.
7. Малевич И.Ю., Лопатченко А.С., Меледин К.И., Шукевич Т.В. Перестраиваемый преселектор МВ диапазона // Материалы XXIV МНТК «Современные средства связи». –Минск, 2019. С.58-59.

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЛЯ РАДАРА НЕПРЕРЫВНОГО ЛЧМ ИЗЛУЧЕНИЯ

Мицкевич А. С.

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

Давыденко И. Н. – канд. тех.-мат. наук, доцент

Главной целью первичной обработки РЛИ является обнаружение полезного сигнала в шумах и определение координат цели, т. е. выделение полезной информации и приведение её к необходимому виду для обработки на последующих этапах.

Радары непрерывного излучения (НИ) с частотной модуляцией зондирующего сигнала широко используются для решения различных задач в ближней зоне действия [1].

Один из наиболее популярных видов зондирующего сигнала для радара НИ – сигнал с возрастающей линейно-частотной модуляцией. При данной модуляции дальность до цели можно определить по одному периоду зондирующего сигнала, а скорость – по нескольким периодам. В результате цифровой обработки получается матрица дальность-скорость (МДС), каждый элемент которой однозначно определяет дальность и скорость цели (рисунок 1).

Особенности радаров с непрерывным ЛЧМ излучением: возможность изменения очень малых расстояний до цели (сопоставимых с длиной излучаемой волны); высокая точность измерения дальности; обработка сигналов после смесителя выполняется в диапазоне низких частот, что существенно упрощает реализация схем обработки; лучшая безопасность из-за отсутствия импульсного излучения с большой импульсной мощностью.

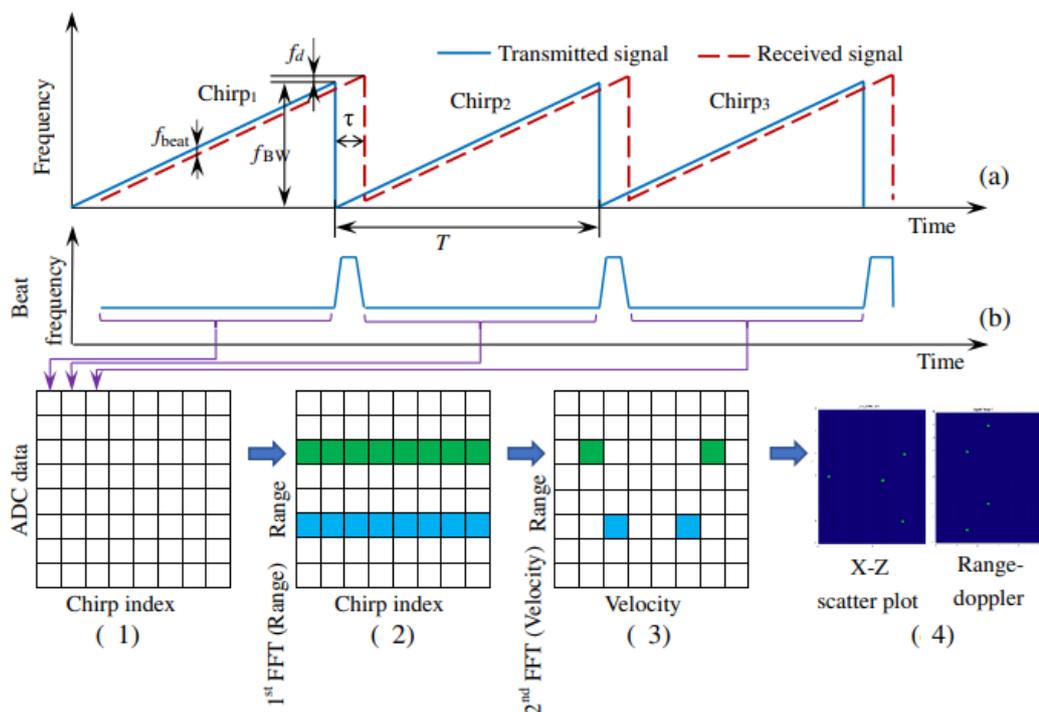


Рисунок 1 – Схема цифровой обработки возрастающего ЛЧМ

Современные решения для радара НИ включают в себя цифровую обработку сигнала, в связи с чем возникает необходимость в создании новых, более эффективных алгоритмов с низкой вычислительной сложностью. Учитывая, что обнаружение сигнала цели на фоне меняющейся радиолокационной обстановки (шума, в присутствии множества целей, помех и т. д.), а также наличие артефактов, возникающих вследствие различных ошибок округления, проникающих помех, конструктивных особенностей и т. п., синтез оптимальных алгоритмов является актуальной задачей.

В настоящее время для решения задачи обнаружения сигнала используются алгоритмы стабилизации ложной тревоги (СУЛТ) [2]. Суть алгоритма СУЛТ заключается в использовании соседних к оцениваемому разрешений по заданной координате для вычисления порогового уровня, при превышении которого сигнал считается сигналом от цели с заданной вероятностью ложной тревоги. При этом вероятность ложной тревоги не зависит от уровня шума.

Классификация наиболее популярных («классических») алгоритмов обнаружения делит их на категории, представленные в таблице 1.

Таблица 1- Общая классификация «классических» алгоритмов обнаружения [3].

Название (англ.)	Принцип работы	Применение
CA CFAR	Использует среднюю мощность шума в окружающих исследуемый отсчётах	Однородный шум, отсутствие мощных маскирующих помех и целей, протяжённых мешающих отражений.
OS CRAF	Использует статистические методы и ранжирование для вычисления мощности шума.	Наличие группы близкорасположенных целей и протяженных помех.
TM CFAR	Использует сумму выбранных ранжированных отсчётов.	Наличие групповых целей и протяженных помех.
GO CFAR	Выбирает большее значение мощности из опорных окон для вычисления порога	Наличие протяженных помех. При импульсных помехах значительно возрастает вероятность ложной тревоги.
SO CFAR	Выбирает меньшее значение мощности из опорных окон для вычисления порога	Наличие протяженных помех, двух близкорасположенных целей.
Нейронные сети	Используются для адаптивной оценки уровня шума для последующего выбора наилучшего алгоритма.	Наличие сложной и/или меняющейся помеховой обстановки.
Свёрточные фильтры	Используются для выделения особенностей МДС (к примеру, краёв изображения).	Используются в обработке изображений, служат для первичной обработки данных для последующего анализа.
Вариативные и адаптивные CFAR	Используют дополнительные функциональные зависимости от текущих наборов отсчётов.	Наличие протяженных помех и импульсных групповых целей.

Тем не менее, алгоритм СУЛТ, применяемый после обработки, представленной на рисунке 1, в силу ее двумерности является более ресурсоёмким. Поэтому разработчику необходимо выбирать между наиболее эффективностью, ресурсозатратностью и вычислительной сложностью алгоритма. В зависимости от сигналов, он представляет собой комбинацию одномерных алгоритмов (гибридный) или двумерных классических алгоритмов. Современные решения также включают в себя нейронные сети и методы, применяемые для обработки изображений (вроде фильтра Собеля).

Таким образом, недостаточно использовать только алгоритм СУЛТ, следует ещё учитывать особенности конструкторских решений, что приводит к следующим этапам разработки наиболее эффективного алгоритма обнаружения:

1. Определение радиолокационного фона;
2. Определение сигнала цели;
3. Определение случаев, которые могут встретиться (например, мешающие отражения, импульсные помехи и т.д.);
4. Определение особенностей алгоритма, исходя из пунктов 1-3;
5. Определение задачи, которую должен выполнять алгоритм, разбиение её на этапы;
6. Определение существующих алгоритмов для проверки;
7. Создание математических моделей алгоритмов и сигналов (фона, целей, помех, эффектов и других);
8. Составление плана тестирования работоспособности алгоритма для различных комбинаций сигнала цели и общего радиолокационного фона;
9. Тестирование математических моделей;
10. Сравнение результатов.

**Список использованных источников:**

1. M. L. Skolink, *Introduction to RADAR Systems*, 3rd ed. Mc Graw Hill, New York 2001.
2. H. M. Finn and R. S. Jonhson, "Adaptive detection mode with threshold control as a function of spatially sampled clutter-level estimates," *RCA Review*, no. 29, pp. 414–464, Sep 1968
3. J. R. P. Andrade, *Hfrdware Frchitecture for Order Statistic CFAR Algorithms*, a dissertation, Instituto Nacional de Astrofisica, Óptica y Electrónica October 2008 Tonantzintla, Puebla

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ИТ КОМПАНИИ

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

Мусский А.И.

Парафиянович Т.А. – к.пед.н., доцент

Аннотация: В представленной статье рассматривается проблема принятия управленческих решений менеджером, необходимых для эффективного выполнения поставленной задачи. Рассматриваются трудности в процессе принятия управленческих решений, пути их разрешения. В качестве ИТ-компании выступает Playtika Minsk Studio, занимающаяся разработкой игрового программного обеспечения.

В статье рассматриваются этапы принятия управленческих решений в ИТ-компании в процессе разработки программного обеспечения. Целью работы является исследование особенностей принятия управленческих решений, а также поиск путей повышения эффективности принимаемого управленческого решения. В качестве примера ИТ-компании выступает Playtika Minsk Studio, разрабатывающая игровое программное обеспечение.

В условиях современного рынка, когда компании, занимающиеся разработкой программного обеспечения, имеют схожий набор технологий большое значение в конкуренции и достижении поставленных целей играет высокоэффективное принятие своевременных и рациональных управленческих решений.

Управленческое решение — это обдуманый вывод о необходимости осуществления каких-либо действий для достижения целей организации, либо, наоборот, отказа от этих действий [1, с. 119].

Процесс управления подразумевает наличие управляемого объекта и субъекта, который выступает как управляющий орган. В качестве субъекта управления в компании выступает менеджер, а в качестве управляемого объекта может выступать как специалист, занимающийся определенной технической работой, так и другой субъект, принимающий управленческие решения.

Менеджер – это наемный работник, занятый профессиональной организаторской деятельностью в органах управления, наделенный субъектом собственности определенными полномочиями [1, с. 8].

В данной работе рассматриваются управленческие решения, принимаемые на уровне команды.

Команда – совокупность людей, разрабатывающая отдельный компонент программного обеспечения.

В процессе принятия управленческого решения задействованы следующие специалисты: product owner, team lead, разработчики и тестировщики программного обеспечения.

Product owner (PO) – специалист, формирующий конечное видение продукта.

Team leader (TL) – это локальный менеджер, занимающийся координированием работы команды.

Главной проблемой, возникающей в процессе принятия управленческого решения, является слабая информационная база, вследствие недостаточного анализа вариантов решения поставленной задачи.

Данная проблема возникает как результат слабой коммуникации между специалистами разных направлений, ограниченных объемом знаний в своей профессиональной сфере.

Эффективным вариантом для решения данной проблемы является организация процесса управления по следующему алгоритму разработки и принятия решения [2, с. 142].

1. Обнаружение и постановка проблемы. На данном этапе происходит обсуждение того, какой результат ожидает РО. Обсуждение проходит между РО и конечным исполнителем во главе с TL.

2. Сбор и анализ информации о проблеме, по которой следует принимать решение.

3. Разработка критериев оценки эффективности решения. Основным критерием оценки эффективности решения является критерий «эффективности затрат». [2, с. 137].

4. Анализ возможных вариантов решений и выбор наиболее эффективного. После сбора необходимых данных проводится подробный анализ каждого из решений в целях обнаружения наиболее подходящего.

5. Реализация принятого решения т.е. внедрение решения в действие.

Исходя из вышеописанного алгоритма принятия управленческого решения, можно сделать вывод, что управленческое решение должно приниматься после анализа проблемной ситуации и исследования альтернатив. От качества принятого решения зависит конкурентоспособность компании.

В работе рассмотрены проблемы, с которыми сталкивается менеджер в процессе принятия управленческого решения в IT-компании. Был рассмотрен один из алгоритмов принятия управленческих решений, используемый в Playtika Minsk Studio, который позволяет минимизировать риски и повысить качество конечного программного продукта.

Список литературы

- [1] Удалов Ф.Е. Основы менеджмента / Ф.Е. Удалов, О.Ф. Алехин, О.С. Гапонова. — Новгород: ННГУ, 2013 — 340 с.
- [2] Михненко П.А. Теория менеджмента. 2-е издание / П.А. Михненко. — Москва: Синергия, 2018 — 520 с.
- [3] Парафиянович, Т. А. Управление процессом личностного и профессионального развития будущих педагогов-программистов / Т. А. Парафиянович - Минск : БГУИР, 201.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 25 апреля 2019 г. – С. 112 – 116, <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/35219>.

## АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ СХЕМА УСТРОЙСТВА АДАПТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИНЯТОГО СИГНАЛА В ПОДПОВЕРХНОСТНОМ РАДИОЛОКАТОРЕ

Науен В.З.

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

Гринкевич А.В. – к.т.н., доцент

В докладе рассматриваются классический и адаптивные алгоритмы оценки спектральной плотности мощности (СПМ) принятого сигнала в подповерхностных радиолокаторах.

Классический алгоритм оценки СПМ принятого сигнала записывается в матричном виде [1]:

$$\hat{\mathbf{P}}_{кл}(r) = \mathbf{S}^*(r) \cdot \hat{\Phi} \cdot \mathbf{S}(r) \quad (1)$$

где  $\hat{\mathbf{P}}_{кл}(f)$  – оценка мощности спектральных составляющих для классического алгоритма;  
 $\mathbf{S}(r)$  – вектор обзора по глубине.

$\hat{\Phi} = \hat{\Phi}_c + \hat{\Phi}_п$  – оценка корреляционной матрицы аддитивной смеси сигнала и помех.

$\hat{\Phi}_c = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \mathbf{U}_c \cdot \mathbf{U}_c^*$  – оценка корреляционной матрицы входного сигнала

$K$  – количество временных выборок;

$\mathbf{U}_c$  – вектор-столбец сигнала  $u(t)$ ;

Алгоритм получения МД-оценки СПМ принятого сигнала имеет вид [1, 2]:

$$\hat{\mathbf{P}}_{МД}(r) = \frac{1}{\mathbf{S}^*(r) \cdot \hat{\Phi}^{-1} \cdot \mathbf{S}(r)} = \left[ \mathbf{S}^*(r) \cdot \hat{\Phi}^{-1} \cdot \mathbf{S}(r) \right]^{-1} \quad (2)$$

Для упрощения вычислительных процедур, сокращения количества вычислительных действий на практике переходят к непосредственному оцениванию весового вектора  $\mathbf{R}$  [2]:

$$\hat{\mathbf{R}} = \hat{\Phi}^{-1} \cdot \mathbf{S} \quad (3)$$

С учетом (3) выражение для ММП (2) можно представить в виде:

$$\hat{\mathbf{P}}_{нов}(r) = \frac{1}{\hat{\mathbf{R}}^*(r) \cdot \hat{\mathbf{R}}(r)} = \left[ \hat{\mathbf{R}}^*(r) \cdot \hat{\mathbf{R}}(r) \right]^{-1} \quad (4)$$

Возможен вариант получения оценок мощности спектральных составляющих при совместном использовании алгоритма, реализующего МД-оценку, и алгоритма при непосредственном оценивании весового вектора [2, 3].

$$\hat{\mathbf{P}}_{мод}(r) = \left\{ \left[ \hat{\mathbf{R}}^*(r) \cdot \hat{\Phi} \cdot \hat{\mathbf{R}}(r) \right] \cdot \left[ \hat{\mathbf{R}}^*(r) \cdot \hat{\mathbf{R}}(r) \right] \right\}^{-1} \quad (5)$$

Варианты формирования оценки СПМ при использовании алгоритмов (1), (2), (4), (5), приведены на рисунке 1.

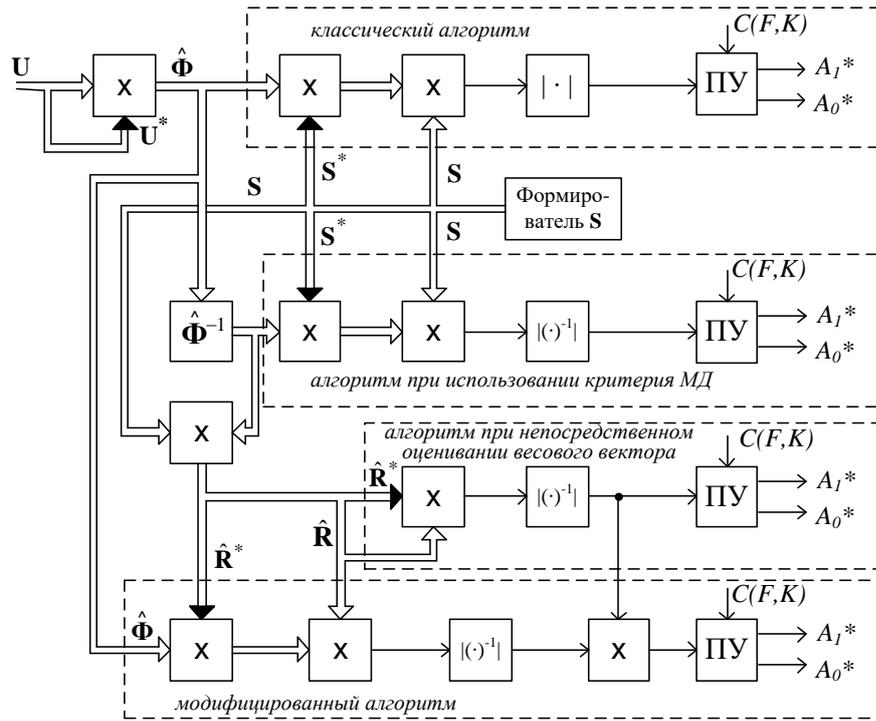


Рисунок 1 – Алгоритмическая схема устройства адаптивной обработки

**Список использованных источников:**

1. Гринкевич А.В. Применение высокоразрешающих адаптивных методов спектрального анализа для получения глубинного портрета зондируемого участка поверхности [Тест] / А.В. Гринкевич // Доклады БГУИР. – 2006. – № 3 (15). – С. 117-123.
2. Марпл.-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. -584 с.
3. Григорян Д.С. Суперразрешение по частоте при обработке радиолокационных сигналов когерентными методами линейного предсказания вперед-назад с прореживанием данных / Д.С. Григорян // Радиотехника и электроника. – 2011. – №7.

## Сравнительный анализ эффективности алгоритмов обработки принятого сигнала в подповерхностных радиолокаторах

Науен В.З.

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

Гринкевич А.В. – к.т.н., доцент

В докладе рассматривается алгоритм классического дискретного преобразования Фурье (ДФФ) и алгоритмы адаптивной спектральной оценки на основе минимума дисперсии (МД) оценки.

### Математическое описание исследуемых методов

Классический алгоритм оценки спектральной плотности мощности (СПМ) принятого сигнала записывается в матричном виде [1, 2]:

$$\hat{\mathbf{P}}_{\text{кл}}(f) = \mathbf{S}^* \cdot \hat{\mathbf{\Phi}} \cdot \mathbf{S} \quad (1)$$

где  $\hat{\mathbf{P}}_{\text{кл}}(f)$  – оценка мощности спектральных составляющих для классического алгоритма;

$\mathbf{S}$  – вектор обзора по частоте, определяющий частоту наблюдения;

$\hat{\mathbf{\Phi}} = \hat{\mathbf{\Phi}}_{\text{с}} + \hat{\mathbf{\Phi}}_{\text{п}}$  – оценка корреляционной матрицы аддитивной смеси сигнала и помех.

$\hat{\mathbf{\Phi}}_{\text{с}} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \mathbf{U}_{\text{с}} \cdot \mathbf{U}_{\text{с}}^*$  – оценка корреляционной матрицы входного сигнала

$K$  – количество временных выборок;

$\mathbf{U}_{\text{с}}$  – вектор-столбец сигнала  $u(t)$ ;

Пересчет частоты в координаты глубины  $r$  осуществляется с использованием выражения:

$$r = \frac{\tilde{f} \cdot c \cdot T_0}{2\Delta f}$$

(2)

где  $\tilde{f}$  – разностная частота;

$c$  – скорость распространения электромагнитной волны в вакууме;

$t_0$  – длительность зондирующего сигнала;

$\Delta f$  – диапазон перестройки частоты (ширина спектра сигнала).

С учетом (1) выражение (2) в координатах глубины примет вид:

$$\hat{\mathbf{P}}_{\text{кл}}(r) = \mathbf{S}^*(r) \cdot \hat{\mathbf{\Phi}} \cdot \mathbf{S}(r) \quad (3)$$

Для получения высокого разрешения по сравнению с (3) возможно использование адаптивных методов спектрального оценивания (метода максимального правдоподобия, метода минимума дисперсии шума).

Алгоритм получения МД-оценки СПМ принятого сигнала имеет вид [1-3]:

$$\hat{\mathbf{P}}_{\text{МД}}(f) = \frac{1}{\mathbf{S}^* \cdot \hat{\mathbf{\Phi}}^{-1} \cdot \mathbf{S}} \quad (4)$$

где  $\hat{\mathbf{P}}_{\text{МД}}(f)$  – оценка мощности спектральных составляющих по критерию МД;

$\mathbf{S}$  – вектор обзора по частоте, определяющий частоту наблюдения;

$\hat{\mathbf{\Phi}}$  – оценка корреляционной матрицы смеси сигнала и шума.

С учетом (2) записан выражение (4):

$$\hat{\mathbf{P}}_{МД}(r) = \frac{1}{\mathbf{S}^*(r) \cdot \hat{\Phi}^{-1} \cdot \mathbf{S}(r)} = \left[ \mathbf{S}^*(r) \cdot \hat{\Phi}^{-1} \cdot \mathbf{S}(r) \right]^{-1} \quad (5)$$

### Результаты математического моделирования

На рис. 1 представлены результаты моделирования частотного радиолокационного глубинного портрета для двух различных заглубленных объектов. Объекта с толщиной 0,1 м, радиусом 0,15 м установленного на глубину 0,05 и 0,1 м в сухой земле.

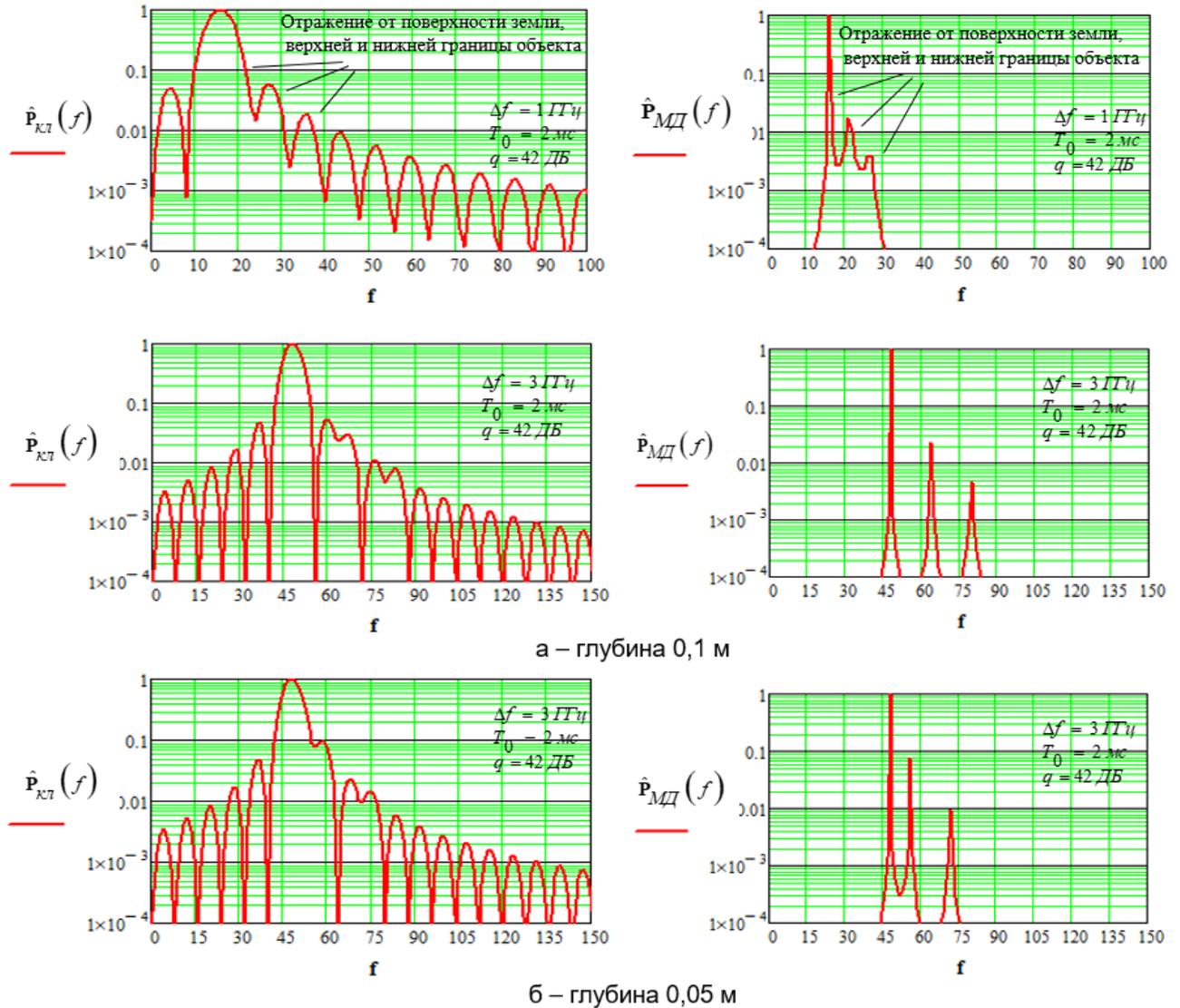


Рисунок 1 – Результаты моделирования классического ( $\hat{P}_{кл}(f)$ ) и адаптивного ( $\hat{P}_{МД}(f)$ ) алгоритмов для различных заглубленных объектов а и б.

### Выводы

Результаты моделирования показывают, что метод МД оценки дает лучшее разрешение по сравнению с ДПФ в заданном диапазоне частот. Что позволяет обнаруживать и идентифицировать малые объекты, расположенные близко к поверхности земли.

#### Список использованных источников:

1. Вопросы подповерхностной радиолокации. Коллективная монография / Под ред. А.Ю. Гринёва. – М.: Радиотехника, 2005. – 416 с.: ил (Сер. «Радиолокация»).
2. Марпл.-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / Пер. С англ. – М.: Мир, 1990. -584 с.
3. ФИНКЕЛЬШТЕЙН М.И., КАРПУХИН В.И., КУТЕЕВ В.А., МЕТЕЛКИН В.Н. ПОДПОВЕРХНОСТНАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ.

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА VOIP ТЕЛЕФОНИИ

Вершицкий К. А.

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

Половения С. И. – к.т.н., доцент

В работе рассматриваются основные принципы и подходы к реализации программного комплекса VoIP телефонии.

В современном мире передача информации посредством голоса и видео имеет важное значение. Рассмотрим следующие случаи из практики:

- передача информации между пользователями определенного приложения;
- общение между оператором и клиентом (заказ продукции, консультация пользователей).

Конкретными примерами использования комплекса могут являться: электронный консьерж, сервис по предоставлению медицинской помощи, служба технической поддержки, приложение для внутренней связи между предприятием.

Для качественного предоставления сервиса пользователям программный комплекс должен соответствовать следующим требованиям:

- масштабируемость (способность работать с большей нагрузкой при улучшении параметров дополнительных ресурсов);
- защищенность (сохранение конфиденциальных данных от третьего лица);
- возможность работы комплекса без привлечения 3-их сторон (серверное оборудование с данными пользователей может располагаться на собственных ресурсах);
- работа на широком диапазоне существующих устройств;
- модульность и возможность переиспользования решения (способность предоставления одного общего решения для нескольких заказчиков);
- расширяемость (возможность предоставления API (внешний интерфейс) для реализации бизнес-логики заказчика и возможности ее расширения);
- возможность подключения к телефонной сети общего пользования и другим сетям.

Архитектура программного комплекса представлена на рисунке 1.

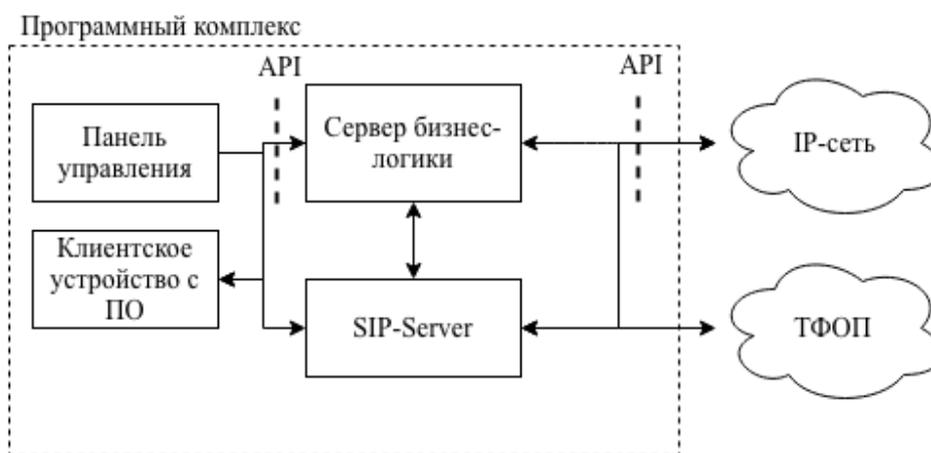


Рисунок 1 – Принципиальная схема программного комплекса

Клиентское устройство с ПО – мобильное устройство на операционной системе Android. В будущем планируется реализация для Web и IOS. ПО представляет собой приложение заказчика, которое использует функционал реализованной библиотеки.

Основной функционал библиотеки:

- низкоуровневое взаимодействие с микрофоном, динамиком, камерой;
- кодирование/декодирование данных;
- шифрование;
- представление информации (звучание звука, отображение видео);
- реализация транспортной функции на основе SIP-протокола [1].

Таким образом библиотека решает проблемы модульности и может быть максимально переиспользована для различных требований заказчика.

SIP-Server осуществляет следующие функции:

- выполнение проксирования и регистрации клиентов;
- настройка и управление соединением между двумя и более клиентами;

- согласование параметров и спецификаций для соединения каждой конечной точки;
- взаимодействие с внешними провайдерами для подключения к ТФОП.

Сервер бизнес-логики выполняет следующие функции:

- регистрация, авторизация пользователей на SIP-сервере;
- ограничение доступа пользователей, функционирование ролей;
- расчет основных характеристик и истории для каждого пользователя, создание отчетов;
- биллинг (расчёт длительности, стоимости звонков, отключение связи);
- предоставление программного интерфейса (API) для взаимодействия с внешними программными комплексами.

Панель управления – Web-приложение, предназначенное для управления функционалом сервера бизнес-логики и сервером SIP, мониторинга нагрузки, выгрузки отчетов, конфигурирование сервера.

Анализируя требования и архитектурное решение были выбраны технологии для каждого элемента комплекса.

1. Клиентское устройство – мобильное устройство на операционной системе Android. Покрывает 88% мобильных устройств. Язык разработки – Kotlin. Основная библиотека для работы с SIP- протоколом, кодирование/декодирования данных – PJSIP [2], шифрование – SSL, библиотека для шифрования – OpenSSL.

2. Сервер бизнес логики. Написан на платформе NodeJS на языке JavaScript. В качестве хранилища данных – нереляционная база данных MongoDB. Данный стек технологий выбран из-за простоты и высокой скорости разработки, при этом соответствуя всем рекомендациям по быстродействию. В качестве архитектурного стиля для API выбран REST, являющийся стандартом для распределенных систем. API необходимо для панели управления, клиентского ПО, а также предоставляется внешним системам заказчика.

3. SIP-Server. Используется Asterisk [3] – свободное решение компьютерной телефонии с открытым исходным кодом. Приложение работает на операционной системе Linux. Обладает всеми возможностями классической АТС, поддерживает множество VoIP-протоколов и предоставляет

4. Панель управление – Web-приложение, взаимодействующее с сервером бизнес- логики посредством REST-API. Основной фреймворк для написания панели – ReactJS.

**Список использованных источников:**

1. SIP-протокол [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Протокол\\_установления\\_сеанса](https://ru.wikipedia.org/wiki/Протокол_установления_сеанса) – Дата доступа: 11.03.2020.
2. PJSIP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pjsip.org> – Дата доступа: 10.09.2018.
3. Asterisk [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.asterisk.org> – Дата доступа: 11.03.2020.

## **ВЕБ-СЕРВИС ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОТДЕЛА МАГИСТРАТУРЫ УЧРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. МАКСИМА ТАНКА»**

*Новик О.В.*

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

*Каленкович Е.Н. – ассистент кафедры ИРТ*

Веб-сервис – клиент-серверное приложение, в котором клиент взаимодействует с веб-сервером при помощи браузера. Логика веб-сервиса распределена между сервером и клиентом, хранение данных осуществляется, преимущественно, на сервере, обмен информацией происходит по сети. Одним из преимуществ такого подхода является тот факт, что клиенты не зависят от конкретной операционной системы пользователя, поэтому веб-сервисы являются межплатформенными службами.

В настоящее время продолжается процесс информатизации образования, все больше учебных заведений используют электронные средства обучения (ЭСО), электронные журналы и дневники, осуществляют электронный документооборот. Чтобы представить учебное заведение, основную информацию о нем, а также разместить ЭСО, электронные журналы и дневники, нормативные материалы и документы необходимо создать веб-сервис, который поможет пользователю быстро и просто получить необходимую информацию.

В числе главных достоинств веб-сервисов выделяют их компактность, а также возможность быстрого обновления (добавления и изменения информации), использование аудио- и видеоматериалов, гипертекстовой технологии и другие.

Актуальность разработки веб-сервиса обусловлена тем, что современные информационно-коммуникационные технологии становятся неотъемлемой частью жизни людей, включая сферу образования. Пользователи сети Интернет могут получать информацию не только для учреждения образования в целом, но и для его структурных подразделений, одним из которых является магистратура. При этом пользователи могут получить необходимую им информацию в любое время и где бы они не находились.

Использование веб-сервиса позволяет отделу магистратуры наиболее эффективно организовывать свою работу, контролировать учебный процесс, оперативно размещать новости отдела, а также новейшие нормативные документы и приказы. В результате использование веб-сервиса студенты могут видеть работу отдела, взаимодействовать с сотрудниками отдела, приобретать навыки поиска информации и работы с нормативными документами, эффективно организовывать свою учебу с помощью электронного расписания.

Входными данными для разрабатываемого программного средства являются учетные данные пользователей работников и студентов, структура отдела магистратуры, нормативные документы.

Выходными данными разрабатываемого веб-сервиса является веб-сервис для организации деятельности отдела магистратуры «Белорусского государственного педагогического университета им. Максима Танка».

Для понимания процесса использования веб-сервиса используется диаграмма вариантов использования, представленная на рис.1.

Вход осуществляется посредством авторизации под существующей учетной записью, или вход происходит в качестве «гостя». Во втором случае вся информация на сервисе доступна только для чтения.

Разработанный веб-сервис позволяет решить следующие задачи:

- повысить интерес пользователей к работе с сервисом;
- уменьшить затраты времени на поиск информации по деятельности отдела;
- упростить администрирование учетных данных пользователей, а также сервиса в целом.

Данный веб-сервис реализован посредством использования языка PHP и базы MySQL. Выбор языка программирования обусловлен тем, что PHP – язык программирования с открытым доступом, т.е. не нужно оплачивать лицензию. Также, PHP – частично объектно-ориентированный язык программирования, который позволяет разрабатывать веб-сервисы намного быстрее за счет использования различных фреймворков: Symfony, CodeIgniter, Laravel, Joomla, WordPress. Основным преимуществом использования языка PHP является то, что он поддерживает большинство серверов и баз данных, в том числе, используемую в проекте базу данных MySQL.

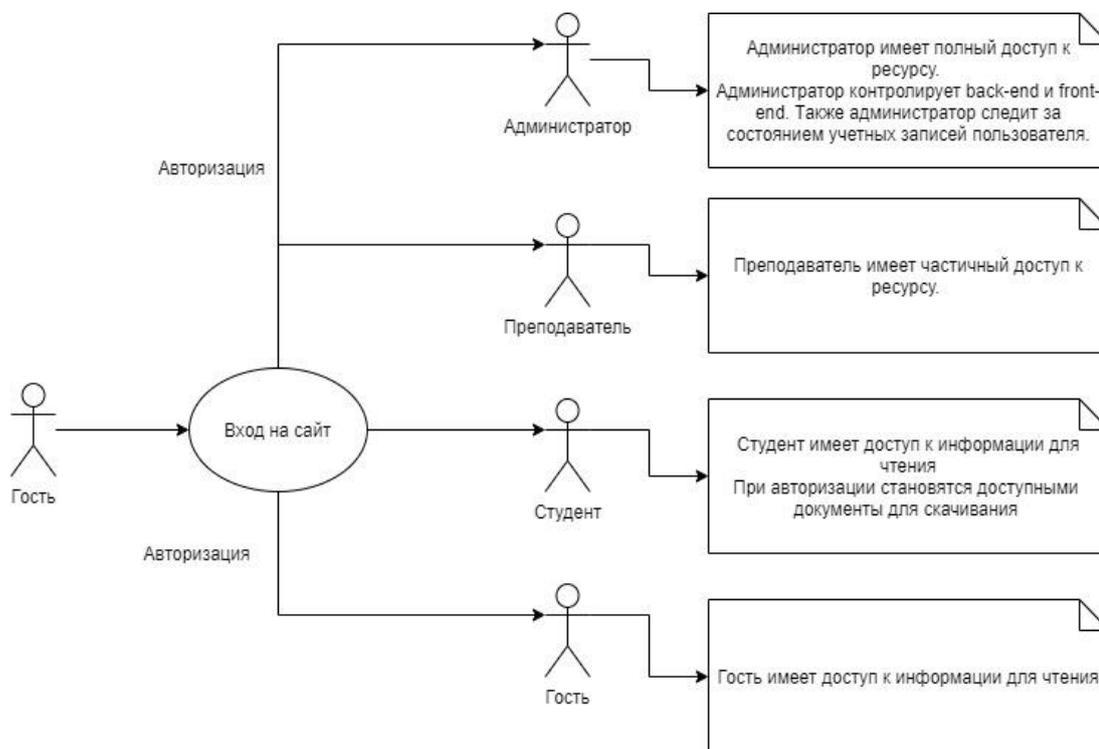


Рис. 1 – Диаграмма вариантов использования веб-сервиса

Основным назначением разработанного веб-сервиса является предоставление пользователям информации о деятельности отдела магистратуры «Белорусского государственного педагогического университета им. Максима Танка».

При создании веб-сервиса были использованы следующие средства разработки:

- интегрированная среда разработки PHPStorm;
- язык программирования PHP;
- язык разметки HTML;
- формальный язык CSS;
- язык управления реляционными базами данных SQL.

Разработанное веб-приложение дает преимущества как пользователям, так и отделу магистратуры.

С точки зрения пользователей веб-сервис достаточно прост в использовании и информативен.

Отделу магистратуры данный веб-сервис принесет пользу, т.к. повысится число пользователей сайта, что должно повысить спрос на специальности магистратуры.

**Список использованных источников:**

1. UML – диаграмма вариантов использования? // Хабр [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://habr.com/ru/post/47940/>

2. 7 причин, по которым PHP хорош для разработки бизнес-проектов // stfalcon [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://stfalcon.com/ru/blog/post/PHP-advantages-for-business>.

# ИМИТАЦИЯ СИГНАЛА СИСТЕМ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ

Новикова А.А.

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

Козел В.М. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. Не достаточная гибкость регулировки параметров сигналов, излучаемых считывателями систем радиочастотной идентификации, не позволяет в полной мере произвести экспериментальные исследования степени их помехового влияния на сторонние радиоэлектронные средства. В связи с этим существует необходимость имитации сигналов систем радиочастотной идентификации универсальным измерительным оборудованием. В статье приведены результаты имитации сигналов считывателя в программной среде MATLAB.

Параметры сигналов, излучаемых системами радиочастотной идентификации, жестко регламентированы международными стандартами. В связи с этим возникают трудности при проведении экспериментальных исследований на электромагнитную совместимость систем радиочастотной идентификации с другими радиоэлектронными средствами. Другими словами, существует необходимость в имитации сигналов систем радиочастотной идентификации универсальным измерительным оборудованием.

В соответствии со стандартами серии ISO 18000 [1, 2] в диапазоне частот 860-960 МГц для кодирования данных устройством опроса считывателем) систем радиочастотной идентификации применяется время-импульсное кодирование (PIE) или манчестерское двухуровневое кодирование в зависимости от типа RFID системы. В этом же диапазоне модуляция поднесущей радиочастотной метки осуществляется по Миллеру с соответствующей скоростью передачи данных, кодирование с задержкой импульсов (PPE) или двухуровневое кодирование с переходом на нуле (FM0). Формирование модулирующих символов иллюстрируется на рисунке 1 и 2.

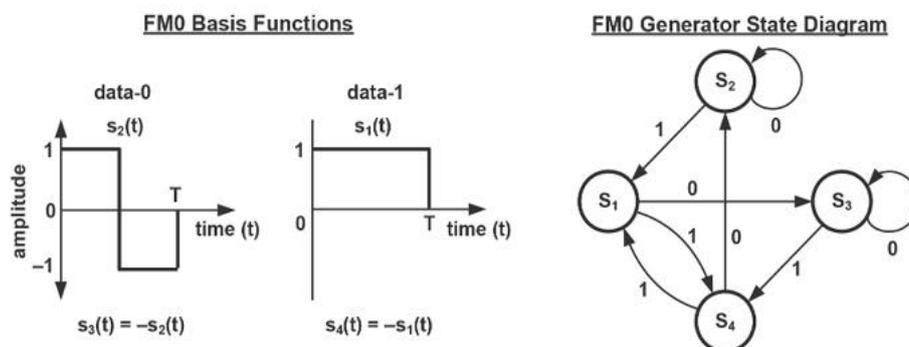


Рисунок 1 – Формирование модулирующих символов с кодированием по методу FM0

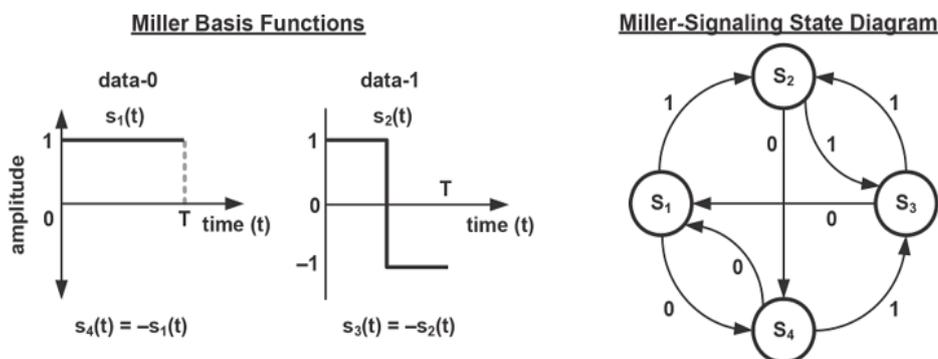


Рисунок 2 – Формирование модулирующих символов с кодированием по Миллеру

При формировании модулирующих символов нормируются следующие параметры:

- Длительность модулирующих символов может составлять 6.25; 12.5 и 25 мкс;

- Длительность фронта и спада модулирующего символа должна лежать в интервале от 0.1 до 0.3 длительности самого импульса.

Наложение модулирующих символов на несущее гармоническое колебание осуществляется методом амплитудной манипуляции (ASK) с глубиной модуляции от 80 до 100% либо методом амплитудной модуляции с инверсией фазы (PR-ASK).

Имитация сигнала считывателя была произведена с помощью программной среды MATLAB. Для имитации сигнала была сгенерирована последовательность из 3366 временных отсчетов (50 отсчетов на один модулирующий символ) квадратурных компонент модулирующего сигнала, кодированного по методу Манчестер с длительностью фронта и спада модулирующего символа равного 0.3 длительности символа (6.25 мкс, частота дискретизации 8 МГц). Временная диаграмма комплексной огибающей сгенерированного модулирующего сигнала представлена на рисунке 3.

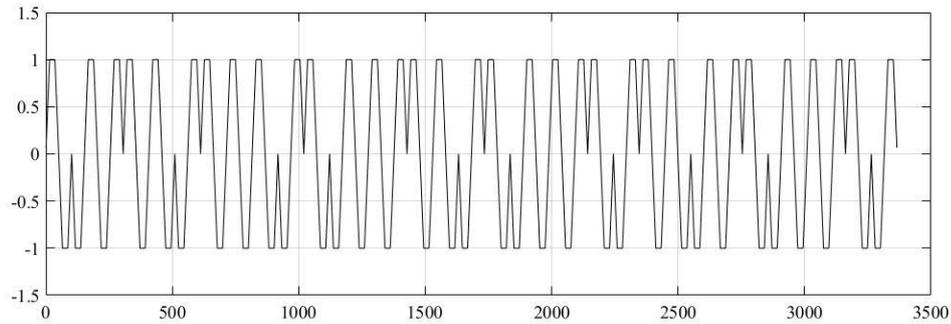


Рисунок 3– Комплексная огибающая модулирующего сигнала (синфазная компонента)

На рисунке 4 представлен спектр имитирующего сигнала с ASK, соответственно.

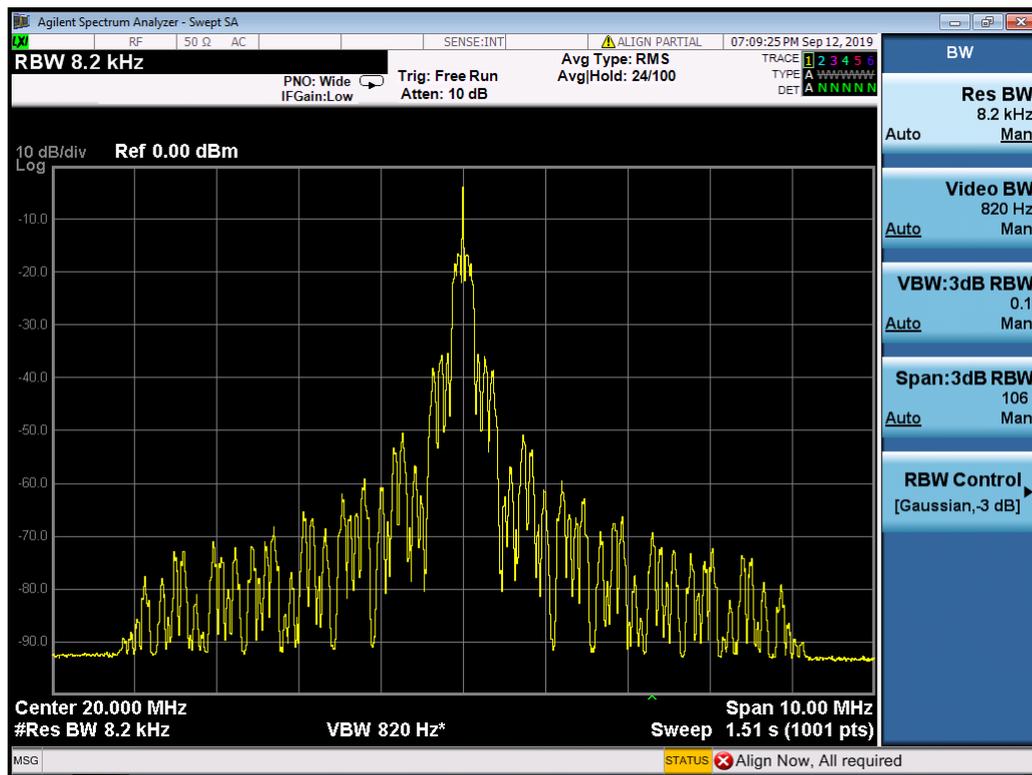


Рисунок 4 – Спектр имитирующего сигнала с ASK

**Список использованных источников:**

1. ISO/IEC 1800-6:2013 Information technology – ratio frequency identification for item management. Part 6: Parameters for air interface communication at 860 MHz to 960 MHz. General.
2. ISO/IEC 1800-63:2015 Information technology – ratio frequency identification for item management. Part 63: Parameters for air interface communication at 860 MHz to 960 MHz. Type C

## ПЕРСОНАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДУЛЬНОГО ПОДХОДА

Новоселов Н.А.

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

Парафиянович Т.А. – к.п.н., доцент каф. ИРТ

Аннотация: В тезисах представлен вариант реализации эффективного использования персонализированного обучения путём тестирования студентов автоматизированными системами на предмет задатков, способностей личности и уровня знаний по теме.

Система образования сегодня не может существовать вне изменений, вызванных цифровой трансформацией общества. Современный подход к подготовке будущих педагогов-программистов, и в целом к решению проблемы кадрового обеспечения инновационной экономики, подразумевает комплексное развитие человеческого капитала [1]. В настоящее время системы обучения на основе веб-сервисов с записанными занятиями и последующей проверкой знаний – не новы и уже достаточно распространены (Coursera.org, Stepik.org, внутренние проекты учебных заведений различного уровня), однако они не организуют процесс образования действительно персонализировано, так как не проверяют начальный уровень, преобладающий канал получения и передачи информации, склонности и интересы обучающегося. Систему персонализированного обучения, которая в полной мере обеспечивала бы модульный подход к обучению и персонализацию с учётом задатков обучающегося мы хотели бы предложить. Система персонализированного обучения могла бы быть в относительно короткие сроки реализована на основе веб-сервиса с удобным интерфейсом, для обеспечения комфортного доступа к учебным материалам с любого устройства, имеющего доступ к сети Интернет.

Особенности предлагаемой системы:

- 1) входное тестирование на определение у обучающегося преобладающего канала восприятия информации (VARK);
- 2) тестирование обучающегося для определения склонностей и интересов личности (в случае заранее разработанной программы обучения может не проводиться, например, в университете);
- 3) модули как основная единица обучения с обязательным зачётом при окончании;
- 4) автоматизированные тесты на основе изученного материала в ходе модуля для контроля знаний;
- 5) материалы в модулях подстраиваются под обучающегося на основе тестирования на преобладающий канал восприятия;
- 6) сертификация по окончании модуля, либо специальности (набора модулей);

Материалы для обучающей системы необходимо подготовить заранее, путём записи на видео, аудио, в виде электронных документов обучающих материалов квалифицированными педагогами. Промежуточные тесты внутри модулей могут как создаваться вручную педагогами, так и генерироваться автоматически на основе загруженных для обучения данных.

Предполагается создание системы, способной автоматизировать подготовку материалов педагогами, с помощью модулей распознавания текста с изображений, заимствования звуковых дорожек из видео лекций, генерации текста на основе видео и аудиоматериала. Такие расширенные возможности дадут возможность педагогу выбрать приоритетный, наиболее удобный для себя канал передачи данных, например, видеозапись и загрузив лишь его получить полный перечень различных материалов необходимых для передачи обучающимся. Алгоритм следующий – педагог загружает видео с лекцией в систему, система извлекает из видео аудиодорожку, распознает текст, создает письменный конспект, прикрепляет материалы урока в текстовом, аудио и видео форматах к странице занятия. Также на основании видео или текстовых материалов генерировать презентации, хотя такой функционал уже значительно более сложен в реализации.

Входное тестирование на определение у обучающегося преобладающего канала восприятия информации производится путём выдачи обучающемуся теста из 16 вопросов на основании которых выставляются коэффициенты определяющие преобладающие каналы восприятия. Такие тесты разработаны и даже применяются в учебных заведениях. В зависимости от того какие результаты обучающийся получил на основе тестирования система будет отображать контент внутри модулей, который наиболее подходит для восприятия обучающимся. Модуль как основная единица обучающегося материала представляет собой отдельную дисциплину, либо семестр дисциплины, если она слишком обширна для одного модуля. В каждом модуле имеются разделы, представляющие из

себя логически завершенные темы внутри модуля, после завершения которых обучающийся получает зачётные баллы, которые необходимы для допуска к итоговому тестированию и сертификации.

Тесты для оценки усвоения материала обучающимся и выставления зачётных баллов должны быть обязательно с элементами случайного распределения вопросов и проверки знаний студента вопросами, которые дестабилизировали бы обучающегося, в случае, если материал освоен недостаточно хорошо. Вопросы для тестов преподаватели могут готовить заранее, либо их можно генерировать на основе контента модуля автоматически, но в любом случае их количество должно быть значительно больше, чем для одного варианта теста. В идеальном варианте – отображать обучающемуся в одном тесте не более 10 вопросов из общего набора в 30-40 вопросов, которые на основе генератора случайных чисел выбираются из общей выборки, при этом один вопрос из выборки обязательно «запутывающий».

Тестирование по окончании модуля становится доступным только после получения обучающимся заданного количества зачётных баллов за пройденные разделы внутри модуля. Этот тест идентичен по структуре с тестами внутри модуля, однако имеет большее количество вопросов, которые выбираются уже из общего перечня вопросов тестов внутри модуля. Тем самым выборка вопросов получается достаточно большой, с высокой вероятностью на должном уровне проверить качество усвоенного материала, при этом не создавая дополнительной нагрузки на преподавателя для составления разных вариантов теста, так как они генерируются автоматически.

Генерация вопросов для тестов может быть реализована на основе анализа текста конспекта, также автоматически сгенерированного на основе видео лекции. Это значительно повышает эффективность педагогического процесса путём снижения аудиторной нагрузки на педагога и даёт педагогу возможность лучше спланировать контент учебного модуля, структурировать информацию, найти лучшие источники информации для модуля и преподнести информацию в наиболее понятной для обучающихся интерпретации.

Преимуществами такой системы персонализированного обучения является:

1) уменьшение количества требуемого преподавательского состава путём автоматизации большинства процессов связанных с контролем знаний и передачей информации. Педагог должен лишь записать материал для модуля и загрузить в систему;

2) повышение качества образования за счёт более основательного подхода к поиску учебных материалов для обучающихся модулей.

3) возможность быстрой смены образовательной программы в соответствии с текущими требованиями рынка труда;

4) мобильность обучающихся;

5) возможность организовать модульное обучение на дистанционной основе и в удобное для обучающихся время;

6) персонализация обучения на основе способностей и интересов обучающегося повышает качество усвоения информации;

7) надёжная система подтверждения уровня знаний через промежуточные и итоговые тесты;

8) возможность создания системы доступного образования для людей с ограниченными способностями по средствам веб-технологий (A11Y);

9) снижение затрат на образование;

10) возможность реализации корпоративных курсов для коммерческих организаций, связанных со сферой обучения.

Список использованных источников:

1. Парафиянович, Т. А. Дистанционные образовательные технологии в формировании универсальных компетенций будущего педагога-программиста / Парафиянович Т. А., Мурашкина З. Н. // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : материалы XI Международной научно-методической конференции, Минск, 12-13 декабря 2019 г. / редкол. : В. А. Прытков [и др.]. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 230-231

2. Вдовина Светлана Борисовна Персонализированное образование: проблемы и перспективы // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2015. №1.

3. Токтарова Вера Ивановна, Маматов Дмитрий Раулевич Реализация модели адаптивного обучения на основе познавательных стилей // Теория и практика общественного развития. 2015. №8.

## ТЕСТИРОВАНИЕ КВАНТОВОГО ГЕНЕРАТОРА СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ

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

Лукуза М.О.

Михневич С.Ю. – к.ф-м.н., доцент

Рассмотрен опытный образец оптического квантовый генератор случайных чисел. Проведено его тестирование с использованием алгоритмов Национального института стандартов и технологий США. Показаны результаты тестирования в зависимости от используемых тестов и размера выборки.

Формирование случайных последовательностей играет важную роль в современной технике, особенно в криптографии [1]. На практике используют программные и аппаратные генераторы случайных чисел. Любой аппаратный генератор использует внешний источник энтропии (шума). Источники шума, основанные на квантово-механических процессах являются абсолютно случайными, что делает генераторы, построенные на основе квантовых эффектов, наиболее достоверными [1,2].

Изучаемый опытный образец квантового генератора случайных чисел (далее – КГСЧ) состоит из светодиода (длина волны 635 нм), который при воздействии импульсов низкой интенсивности в результате квантовых процессов генерирует фотоны. Детектором фотонов является высокочувствительный кремниевый фотоэлектронный умножитель (далее – СИФЭУ), на выходе которого формируется аналоговый сигнал пропорциональный количеству зарегистрированных фотонов [3]. СИФЭУ отечественного производства преобразует излучение слабой интенсивности в последовательность импульсов при приложенном к нему обратном напряжении, превышающем напряжение пробоя ( $\geq 14$  В). Обеспечена плавная регулировка обратного напряжения в пределах от 0 до 22 В. Для индикации напряжения использован цифровой вольтметр. Частота импульсов подсветки светоизлучающего диода (далее – СИД) 200 кГц, длительность импульсов — 1 мкс. Обеспечена плавная регулировка интенсивности подсветки СИФЭУ путем изменения прямого тока через светоизлучающий диод в пределах от 0,5 до 20 мА. Пороговый дискриминатор выделяет случайные импульсы с амплитудой  $\geq 100$  мВ на выходе детектора фотонов. Делитель частоты преобразует выделенные импульсы в двухуровневый случайный цифровой шум. Временные диаграммы напряжений на выходах вышеперечисленных модулей можно наблюдать и измерять основные электрические параметры с помощью цифрового осциллографа BORDO. Модуль ARDUINO на основе микроконтроллера ATmega 2560 преобразует двухуровневый случайный цифровой шумовой сигнал в последовательность 0 и 1, которая преобразуется в текстовый файл. Поскольку в основе генератора лежат квантовые события, то подобрав достаточно низкие значения прямого тока через светоизлучающий диод, можно добиться случайности последовательностей 0 и 1.

Генераторы случайных чисел, основанные на квантовых процессах, тестируются как с помощью тестов, анализирующих выходную последовательность случайных чисел (такие как тесты NIST (Национального института стандартов и технологий США) или Diehard тесты на случайности [1,4]), так и с использованием тестов, анализирующих сам источник энтропии [1]. При этом с учетом возможной деградации аппаратного генератора случайных чисел необходимо проводить тестирование до начала работы и в процессе.

Национальным институтом стандартов и технологий США изданы рекомендации по тестированию случайных и псевдослучайных генераторов [5]. В основе тестов лежит понятие нулевой гипотезы, т.е. предположения, что между двумя фактами отсутствует какая-либо взаимосвязь. Существует также альтернативная гипотеза, которая опровергает нулевую гипотезу: т.е. между явлениями взаимосвязь существует. Если переходить к терминам случайных чисел, то за нулевую гипотезу принимается предположение, что последовательность является истинно случайной, знаки которой появляются равновероятно и независимо друг от друга. Следовательно, если нулевая гипотеза верна, то генератор производит достаточно «хорошие» случайные числа.

С одной стороны, имеется статистика, подсчитанная на основе фактически собранных данных, т.е. по измеряемой последовательности. С другой стороны, есть эталонная статистика, получаемая математическими методами (теоретически вычисленная), которую бы имела истинно случайная последовательность. Очевидно, что собранная статистика не может сравниться с эталонной – насколько бы не был хорошим генератор, он все равно не идеален. Поэтому вводят некую погрешность, например, 5%. Она означает, что если собранная статистика отклоняется от эталонной больше чем на 5%, то делается вывод о том, что нулевая гипотеза не верна с большой надежностью.

Вместе с опытным образцом КГСЧ на основе 6-ти алгоритмов NIST, было реализовано программное обеспечение для тестирования случайных последовательностей с погрешностью в 1%. С помощью данной программы была протестирована последовательность чисел в размере 8192 бит. В определенном диапазоне значений обратного напряжения и тока светодиода все тесты (расчет автокорреляционной функции и тесты на основе алгоритмов NIST) дают положительный результат, что говорит о том, что исследуемая последовательность случайна (рисунок 1).

Вместе с тем, для использования опытного образца не в условиях лабораторных работ, а для криптографических применений необходимо использовать полный набор тестов NIST и, желательно, тесты, анализирующие сам источник энтропии.

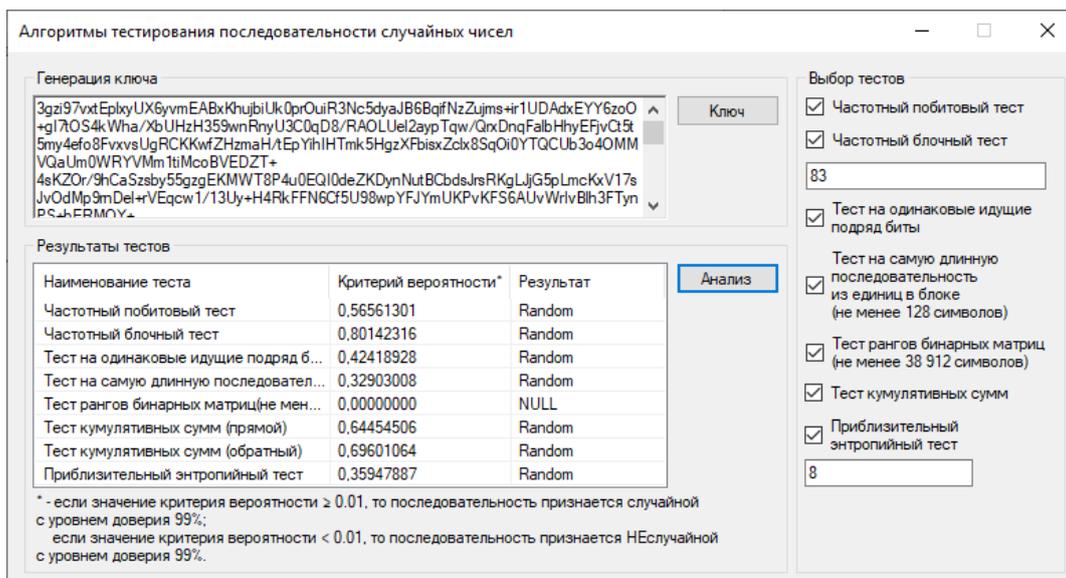


Рис. 1 – Результаты исследования последовательности из 8192 бит с использованием 6-ти алгоритмов NIST

Для проведения полного тестирования необходимо, чтобы последовательность случайных чисел была не менее 10 Мб. Для того, чтобы снять такое количество значений в короткие сроки, была увеличена частота получения случайных бит из потока цифрового шума от КГСЧ. Полученная последовательность чисел была протестирована с помощью программного обеспечения, реализующего полный пакет тестов NIST. Результаты полного тестирования показали, что исследуемая последовательность чисел, снятая с опытного образца КГСЧ, не является случайной, что свидетельствует о необходимости более точного регулирования настроек квантового генератора и его дальнейшей модернизации.

В качестве возможной модернизации опытного образца КГСЧ можно реализовать автоматическую подстройку значений интенсивности подсветки СИД и обратного напряжения, приложенного к СИФЭУ. Это позволит перед непосредственным применением настроить КГСЧ на режим работы, в котором вероятность получить значения 0 и 1 будет стремиться к 0,5 с большей точностью.

Список использованных источников:

1. Herrero-Collantes, M. Quantum Random Number Generators / M. Herrero-Collantes, J.C. Garcia-Escartin // *Reviews of Modern Physics*. – 2017. – №89(1).
2. Балыгин, К.А. Реализация квантового генератора случайных чисел, основанного на оптимальной группировке фотоотсчетов / К.А. Балыгин, В.И. Зайцев, А.Н. Климов, С.П. Кулик, С.Н. Молотков // [Письма](#) в Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2017. – Т. 106, вып. 7. – С. 451-458.
3. Барановский, О.К. [Исследование возможности использования лавинных фотодиодов в режиме одноквантовой регистрации для создания квантовых генераторов случайных чисел](#) / О.К. Барановский, О.Ю. Горбадей, А.О. Зеневич // [Приборы и техника эксперимента](#). – 2018. – № 1. – С. 34-38.
4. Hotoleanu, D. Real-Time Testing of True Random Number Generators Through Dynamic Reconfiguration / D. Hotoleanu, O. Cret, A. Suci, T. Gyorfi, and L. Vacariu // *13th Euromicro Conference on Digital System Design: Architectures, Methods and Tools*. – 2010. – P. 247–250.
5. A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications / National Institute of Standards and Technology. – Gaithersburg, Maryland, 2010.

## ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ПРИХОДА ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ НЕЗАВИСИМЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ НА ПРИЕМНЫХ ПУНКТАХ СИСТЕМЫ РАДИОМОНИТОРИНГА

Поболь А.Ю., Манюкевич Е.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Гринкевич А.В. - канд. техн. наук, доц.

*Аннотация* — Предложены алгоритм оценивания времени прихода импульсных сигналов на приемных пунктах (ПП) системы радиомониторинга (РМ), инвариантные к мощности полезного сигнала. Приведены оценки точности предлагаемых алгоритмов.

Одним из наиболее перспективных и экономичных методов определения координат радиоизлучающих объектов (РО) является разностно-дальномерный при независимом измерение времени прихода импульсных сигналов на ПП системы РМ. В [1] проведены исследования алгоритмов вторичной обработки сигналов в системах РМ. В то же время недостаточно исследованной является первичная обработки сигналов в указанных системах.

Наблюдению в  $i = \overline{1, N}$  приемных пунктах системы РМ доступны реализации смеси сигнала и шума после квадратичного детектирования, имеющие вид

$$y_i(t) = \int_0^t (\mu_i s_i(t-t_{3i}) + n_i(t))^2 g_{\text{дл}i}(t-\tau) d\tau,$$

где  $s_i(t) = \int_0^t s_0(\tau) g_{\text{пл}i}(t-\tau) d\tau$ ,  $\mu_i$ ,  $t_{3i}$  - временное представление, коэффициент ослабления и время задержки излученного РО сигнала на выходе приемника  $i$ -го ПП;  $s_0(\tau)$  - излученный РО сигнал;  $g_{\text{пл}i}$ ,  $g_{\text{дл}i}(t) = \beta e^{-\beta t}$  - импульсные характеристики линейной части приемника и цепей сглаживания квадратичного детектора.

В условиях априорной неопределенности при независимом оценивании единственным источником информации о времени прихода могут являться передний и задний фронты импульсных сигналов. Модель излученного РО импульсного сигнала запишем в виде

$$s_0(t) = A(1 - e^{-\alpha_1 t}) e^{-\alpha_2 \theta(t-\tau_{\text{п}})(t-\tau_{\text{н}})} \cos(\omega_0 t + \psi(t)),$$

где  $\alpha_{1(2)}$ ,  $A$ ,  $\tau_{\text{п}}$ ,  $\omega_0$ ,  $\psi(t)$  - параметры, характеризующие крутизну переднего (заднего) фронта, амплитуду, длительность, несущую частоту и закон фазовой модуляции сигнала;  $\theta(t)$  - функция включения.

Основное требование к алгоритму обработки заключается в независимости результатов оценивания от амплитуды сигнала на различных ПП. С учетом указанного алгоритм формирования временной задержки  $\hat{t}_3$  предлагается в виде

$$B_n = \frac{\sum_{i=n+M}^{n+2M-1} y(i/F_{\text{д}})}{\sum_{i=n}^{n+M-1} y(i/F_{\text{д}})} \quad (1); \quad K = \arg \max_n B_n \quad (2); \quad \hat{t}_3 = \frac{1}{F_{\text{д}}} \left( M + K + \frac{1}{2} + \frac{B_K - B_{K+1}}{B_{K-1} - 2B_K + B_{K+1}} \right) \quad (3),$$

где  $B_n$  - зависимость, аналогичная функции правдоподобия;  $M$  - число отсчетов, усредняемых опережающем и отстающем скользящих окнах;  $F_{\text{д}}$  - частота дискретизации; операция (3) - нахождение максимума при квадратичной аппроксимации  $B_n$  по трем отсчетам (рис. 1).

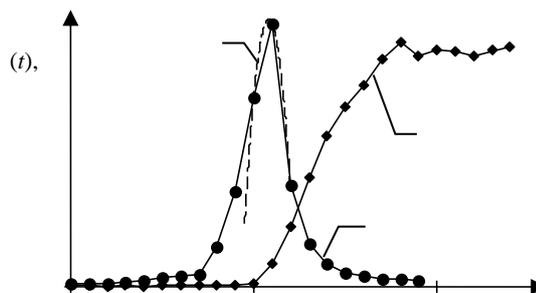


Рис.1.

Методом имитационного моделирования (100 реализаций) для  $\alpha_1 = F_d = 200$  МГц;  $M = 4$ ,  $\beta = 100$  МГц, полосе пропускания приемника 200 МГц и отношений сигнал/шум 17, 23, 27, 37 дБ получены значения среднеквадратической ошибки оценивания, составляющие 1,1; 0,32; 0,29; 0,22 нс. Статистически значимых отличий математических ожиданий оценок для различных времен прихода не зафиксировано.

Предлагаемый алгоритм обеспечивает оценивания времени прихода на ПП системы РМ при существенных различиях отношения сигнал/шум на них.

#### Список литературы

1. Кирсанов Э.А., Сирота А.А. Обработка информации в пространственно-распределенных системах радиомониторинга: статистический и нейросетевой подходы. М.: Физматлит, 2012. 344 с.

## ЗНАЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ АКТИВНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ

Пунчик Е.П., Сидюк С. Г.

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

Гринкевич А.В. – канд. тех. наук

Обеспечение защиты различных радиоэлектронных систем от высокоскоростных воздушных объектов (ВО), таких как противорадиолокационных ракет и управляемых авиационных бомб, напрямую связано с решением задачи своевременного обнаружения этих ВО при их приближении к радиолокационной станции или любому другому радиотехническому средству. Эта задача наилучшим образом может быть решена путем анализа существующих систем, выбора требуемого диапазона работы системы обнаружения высокоскоростных воздушных объектов (СОВО) с учетом характеристик и способов применения ВО. Решение задачи обнаружения напрямую эффективная отражающая поверхность (ЭОП) целей. Несмотря на большое количество открытых публикаций, связанных с решением данной задачи, вопрос выбора предпочтительного с практической точки зрения диапазона работы обнаружителя и расчет характеристик обнаружения, измерения и распознавания типов ВО является актуальной задачей.

Как известно эффективная отражающая поверхность (ЭОП) целей существенно зависит от длины волны радиолокационных станций (РЛС), и эта зависимость является достаточно изменчивой. Механизм отражений в низкочастотной части радиодиапазона длин волн состоит в возбуждении дипольных элементов конструкций цели падающей плоской волной. Основной вклад в эффективную площадь рассеивания (ЭПР) цели в метровом диапазоне вносят такие элементы планера как фюзеляж, крыло, оперение. Причем ЭОП цели тем больше, чем ближе отношение размеров этих элементов к кратному числу половины длин волн.

На высоких частотах падающая волна возбуждает токи на поверхности цели и отражение в существенной степени зависит от деталей конструкции цели. Как показывают результаты расчетов и измерений основной вклад в ЭОП целей в сантиметровом и дециметровом диапазонах вносят: воздухозаборники, сопла, кабина (с учетом проникновения волны внутрь и ее многократными переотражениями), антенные отсеки и сами антенны.

Значения эффективной отражающей поверхности в зависимости от курсового угла (тангаж равен нулю) для аэродинамических целей различных типов по уровню вероятности 0,5 с усреднением в векторе  $\Delta\varphi = 15^\circ$  при линейной горизонтальной поляризации на излучение и на прием, однопозиционной радиолокации для различных длин волн представлены в таблице А1.

Данные таблицы справедливы и при двухпозиционной локации самолетов, величина двухпозиционного угла  $\gamma = 0 \div 180^\circ$ , и ракет  $\gamma = 0 \div 90^\circ$ . В этом случае, статистические значения ЭПР этих целей в сантиметровом и дециметровом диапазонах волн принимаются равными значению ЭПР при однопозиционной локации, если на этих целях отражающие элементы (воздухозаборники, антенны РЛС) ЭПР которых зависит от бистатического угла вносят вклад в ЭПР цели меньше 30%.

При облучении с носа малоразмерных целей, таких как крылатая ракета (КР), управляемая авиационная бомба (УАБ) в диапазоне от 1÷2 м ЭПР на один, два порядка больше чем в дециметровом диапазоне. Практические исследования показывают, что дальнейшее увеличение длины волны до 5÷8 метров дает прирост ЭОП целей еще на несколько порядков (таблица 1). Однако достижение требуемых характеристик по точности и разрешающей способности, при использовании данного диапазона длин волн, требует громоздких антенных систем. Таким образом, диапазон длин волн от 1 до 2 метров является более предпочтительным для обнаружения малоразмерных целей.

Таблица 1 – ЭОП различных целей

Тип цели	Эффективная отражающая поверхность, м <sup>2</sup>								
	$\lambda=0.1$ м			$\lambda=1$ м			$\lambda=2$ м		
	Диапазон усреднения $\Delta\varphi$ , град.			Диапазон усреднения $\Delta\varphi$ , град.			Диапазон усреднения $\Delta\varphi$ , град.		
	0-15	30-45	60-75	0-15	30-45	60-75	0-15	30-45	60-75
В-52	74	83	40	80	32	19	85	65	28
В-1В	6.0	5.0	30	20	15	60	35	35	85
F-16	4.5	3.0	13	2.6	4.0	5.0	3.4	5.0	7.4
F-111	12	6.8	13	11	9.0	14	18	11	19
ALCM РПН <sup>с</sup>	0.56	0.54	0.2	1.4	0.1	0.76	2.1	0.2	1.3
Standart ARM с ГСН	0.12	0.08	0.15	8.0	0.28	1.3	11	0.8	1.9
MGGB-11 <sup>с</sup> ГСН	0.3	0.25	0.16	1.0	1.0	1.2	1.2	1.5	1.8
ЛОКАСТ <sup>с</sup> ГСН	0.3	0.25	0.15	0.7	0.7	0.7	1.3	1.3	1.3
В-2	0.03...1.5			1...3.5			3...7		
F-117	0.1...0.5			0.3...1			0.9...2.4		
АСМ	0.01...0.03			0.2...0.3			0.5...1		
Вертолеты	1			2...5			2...5		

**Список использованных источников:**

1. Гринкевич, А.В. Радиолокация: учеб. пособие / А.В. Гринкевич. – Минск: БГУИР, 2015. – 190 с.
2. Черняк, В.С. Многопозиционная радиолокация / В.С. Черняк. - М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.
3. Обработка сигналов в многоканальных РЛС / А.П. Лукошкин [и др.]; под ред. А.П. Лукошкина – М.: Радио и связь, 1983. – 328с.
4. Основы обработки и передачи информации / В.Д. Громыко [и др.]; под ред. А.П. Янцева – М.: МО СССР, 1978, – 430с.

## ИМТ-2020: ОСОБЕННОСТИ ПРИГРАНИЧНОЙ КООРДИНАЦИИ С УЧЕТОМ ЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ С-ДИАПАЗОНА

Подворная Д.А.

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

Козел В.М. – канд. техн. наук

В работе приведен метод решения координационной задачи и оценки допустимого помехового воздействия радиоэлектронных средств сетей сотовой подвижной связи 5G на земные станции систем спутниковой связи. Анализ соблюдения условий электромагнитной совместимости производится с учетом предельно допустимых уровней напряженности поля, изложенных в Рекомендации СЕРТ 15(01). В предлагаемом методе частотно-территориального анализа предлагаются наиболее перспективные к использованию конфигурации радиоканалов и достаточно малые дистанции для повышения точности расчета конфликтных ситуаций.

Создание благоприятных условий для эксплуатации сетей сотовой подвижной связи (СПС) стандарта ИМТ-2020 в приграничных районах государств возможно только при соблюдении условий беспомеховой работы систем связи, имеющих в полосе частот 3400 – 3800 МГц первичную основу для выделения. Защита приемных трактов земных станций систем спутниковой связи (ЗС ССС) является основной задачей при определении электромагнитной совместимости систем связи в приграничных районах.

Предельно допустимое значение напряженности поля помехи, создаваемой радиосредствами 5G в месте расположения приемной антенны земной станции рассчитывается по формуле (1):

$$E[\text{дБмкВ/м}] = 10\lg P[\text{дБм}] + 127 - G[\text{дБи}] - 10\lg(\lambda^2) \quad (1)$$

где  $P$  – мощность на выходе приемной антенны,  $E$  – напряженность электромагнитного поля в месте расположения приемной антенны,  $G$  – усиление приемной антенны относительно изотропного излучателя,  $\lambda$  – длина волны принимаемого сигнала, м.

Для нахождения коэффициентов усиления приемной антенны земной станции в направлении на потенциальные источники излучения сигналов 5G сопредельных стран используются данные Рекомендации МСЭ-R S.465-6 «Эталонная диаграмма направленности антенн земных станций фиксированной спутниковой службы для использования при координации и оценке помех в диапазоне частот от 2 до 31 ГГц». В соответствии с данной рекомендацией [1] в области боковых лепестков диаграмма направленности приемной антенны земной станции должна быть не хуже чем:

$$\begin{aligned} G &= 32 - 25 \log \varphi & \text{дБи} & & \text{для } \varphi_{\min} < \varphi < 48^\circ; \\ &= -10 & \text{дБи} & & \text{для } 48^\circ < \varphi < 180^\circ, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\varphi$  – внеосевой угол;  $\varphi_{\min} = 1^\circ$  или  $100\lambda/D$  градусов, в зависимости от того, какое из значений больше, для  $D/\lambda \geq 50$ ;  $\varphi_{\min} = 2^\circ$  или  $114(D/\lambda) - 1,09$  градусов, в зависимости от того, какое из значений больше, для  $D/\lambda < 50$ .

Выражение для нахождения внеосевого угла  $\varphi$  имеет вид:

$$\varphi = \arccos[\cos(\beta_{ЗС\_РЭС})\cos(\beta_{ЗС})\cos(AZ_{ЗС\_РЭС} - AZ_{ЗС}) + \sin(\beta_{ЗС\_РЭС})\sin(\beta_{ЗС})] \quad (3)$$

где  $\beta_{ЗС\_РЭС}$  – угол места в направлении на РЭС сети беспроводного доступа;  $AZ_{ЗС\_РЭС}$  – азимут от ЗС ФСС в направлении на РЭСсети беспроводного доступа;  $\beta_{ЗС}$  – угол места основной оси ДН антенны ЗС;  $AZ_{ЗС}$  – азимут основной оси ДН антенны ЗС.

Для определения возможных значений внеосевого угла формируются условные группировки базовых станций 5G сопредельного государства и возможных условных мест размещения земных станций на линии государственной границы. Базовые станции располагаются на удалении около 6 км в глубине сопредельной территории с шагом около 5 км. Места размещения земных станции – на линии гос.границы с шагом 5 км. Пример размещения условных группировок приведен на рисунке 1, где голубым цветом обозначены возможные точки размещения РЭС стандарта ИМТ-2020, белым – возможные точки размещения земной станции спутниковой системы связи.

При определении внеосевых углов считалось, что земная станция ориентирована на точку стояния геостационарного спутника Ямал 202. Высота подвеса антенны базовой станции 5G – 30м.

Согласно рекомендации СЕРТ (15)01 от 5 февраля 2016 года, диапазоны частот 3400-3600 и 3600-3800 МГц могут использоваться без координации при не превышении следующих значений напряженности электромагнитного поля:

- 32 дБмкВ/м/5МГц на высоте 3 м от земли на линии границы для несинхронизированных мобильных и фиксированных систем связи с временным разделением каналов; для неpreferенциальных частей спектра (если таковые определены);

- 67 дБмкВ/м/5МГц на линии границы (49 дБмкВ/м/5МГц на 6 км внутрь соседней страны ) на высоте 3 м от земли, если пограничные системы синхронизированы или используются только нисходящие каналы связи с обеих сторон границы; для преференциальных частей спектра (если таковые определены); в диапазоне 3510-3590 МГц.

В диапазоне 3510-3590 МГц:

-32 дБмкВ/м/5МГц в системах связи с частотным разделением для нисходящих каналов, если в соседней стране используются системы связи с временным разделением каналов;

- 67 дБмкВ/м/5МГц на линии границы (49 дБмкВ/м/5МГц на 6 км внутрь соседней страны ) на высоте 3 м от земли, в системах связи с частотным разделением для нисходящих каналов, если в соседней стране используются системы связи с частотным разделением каналов[2].

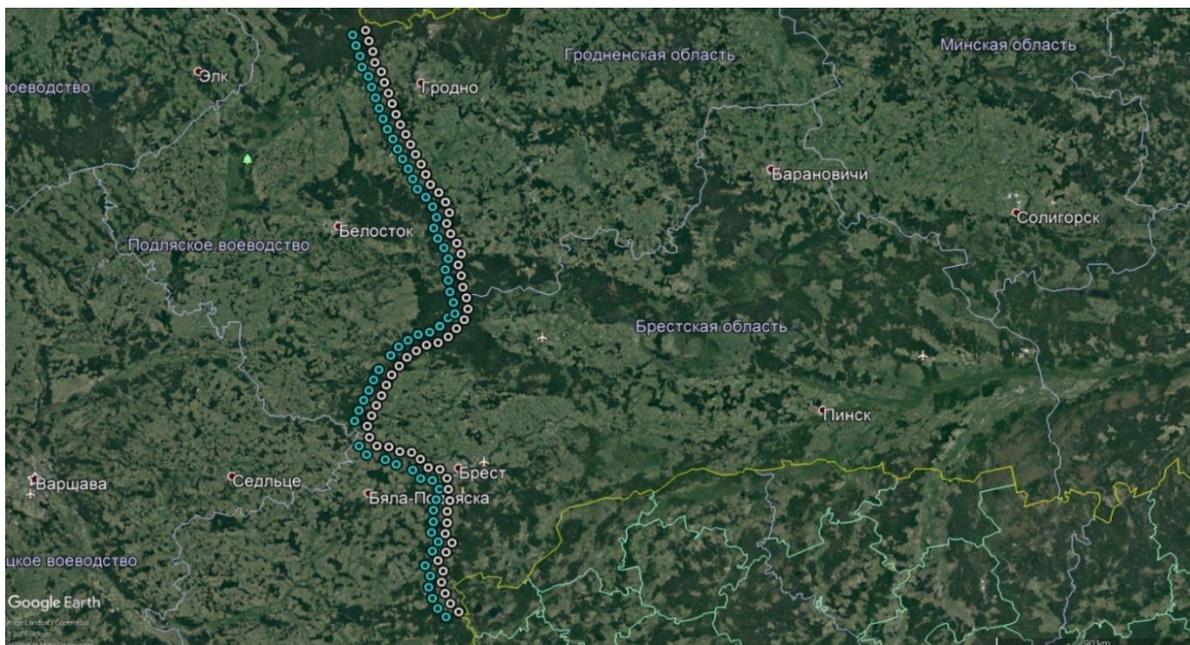


Рисунок 1 – Расположение условных группировок на границе сопредельных государств

Если полоса спектра, занимаемого сигналом, более 5 МГц, то к приведенным выше значениям следует прибавить  $10\lg(\Delta F/5 \text{ МГц})$ , где  $\Delta F$  – ширина спектра, занимаемого сигналом. Для наиболее перспективных к эксплуатации форматов сигналов 5G, пороговые значения напряженности приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Пороговые значения напряженности поля, нормируемые Рекомендацией СЕРТ, для сигналов с шириной полосы частот 20, 60 и 100 МГц.

Ширина спектра сигнала, МГц	Пороговые значения средней напряженности электромагнитного поля помехи, дБмкВ/м		
	32 дБмкВ/м/5 МГц	49 дБмкВ/м/5 МГц	67 дБмкВ/м/5 МГц
20	38	55	73
60	43	60	78
100	45	62	80

Исходя из полученных данных могут быть сформулированы предложения по координации частотных присвоений РЭС сухопутной подвижной службы, а именно о допустимом уровне напряженности электромагнитного поля в целом в приграничной зоне, так и о изменении данного уровня на отдельных участках границы.

**Список использованных источников:**

1. МСЭ-Р S465-6 «Эталонная диаграмма направленности антенн земных станций фиксированной спутниковой службы для использования при координации и оценке помех в диапазоне частот от 2 до 31 ГГц».
2. ECC Recommendation 15(01) "Cross-border coordination for mobile/fixed communications networks (MFCN) in the frequency bands: 695-790 MHz, 1452-1492 MHz, 3400-3600 MHz and 3600-3800 MHz"
3. Системы и сети цифровой радиосвязи / Н.И. Листопад [и др.]. – Минск.: Издательство Гревцова, 2009 . – 200 с.
4. Приложение ApS7 к Регламенту радиосвязи.

## КАК СТРОИТЬ СВОЮ КАРЬЕРУ В СФЕРЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Прокопчук В.И.*

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

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

В работе рассматриваются основные аспекты построения карьеры в сфере информационных технологий, критерии карьерного успеха и пути прохождения собеседования на желаемую работу. В связи с развитием цифрового общества в нашей стране и, соответственно, развитием IT-сферы, изменением требований нанимателей этой сферы к потенциальным сотрудникам, становится актуальным для каждого программиста, находящегося в поиске работы, вне зависимости от опыта, понимание алгоритма построения своей карьеры.

Карьера, как продвижение человека вверх по «лестнице» успеха, может рассматриваться им в разных областях жизни (социальной, профессиональной, личной, научной, в спорте и т.п.). Мы в своей статье остановимся на построении профессиональной карьеры в IT-сфере.

Согласно современной теории менеджмента, карьера – это осознанная позиция человека, стимулирующая его соответствующее поведение, в трудовой деятельности, предполагающей должностной или профессиональный рост.

Вопрос, который интересует каждого, когда он думает об устройстве на работу: «Откуда я возьму опыт работы, если я только учусь, работал в другой сфере?». Это вполне закономерный вопрос, потому что работодатели хотят нанять профессионала, который сразу с высокой степенью вероятности решит поставленные задачи. Где же взять этот опыт, если Вы пока не работали? Дадим несколько советов, проверенных на личном опыте.

1. Участие в проектах с открытым исходным кодом. Мои знакомые участвуют в проектах с открытым исходным кодом. Они создавали свои проекты или поддерживали уже существующие. В этих проектах присутствует и обратная связь от пользователей, и работа в команде, и выпуск версий, и планирование.

2. Просмотр кода проектов с открытым исходным кодом. Я следил за развитием нескольких проектов, просматривал код, который писали другие разработчики. Внимательно разбирался в уже написанном коде и модульных тестах, пытаюсь при этом понять принципы, по которым строились приложения.

3. Курсовые и диплом. Если вы учитесь, то у Вас есть отличная возможность взять проект сложнее и интереснее. Вы можете пробовать различные подходы и по несколько раз переписывать свои программы. Учеба в университете – это уникальное время, когда у вас есть все для саморазвития и индивидуальный консультант в лице преподавателя. К нему всегда можно обратиться в случае затруднений. Главное – правильно рассчитать свое время, чтобы выбранный сложный проект не выбил в колею неуспевающих.

4. Расспрашивайте своих преподавателей. Студенты находятся в самом выгодном положении. У студентов есть человек, который будет отвечать на их вопросы – преподаватель. Но готовы ли Вы их задавать? Во время педагогической практики в университете я преподавал в компании и с удивлением заметил, что лишь малая часть обучающихся по максимуму пользуются этой привилегией. Почему-то большая часть студентов стесняются спрашивать и уточнять. Если вы еще не уверены, стоит ли спрашивать наставника или нет, то приведу известную фразу: «Если спросите сейчас, то будете дураком 5 минут, а если нет – всю жизнь».

5. Продумайте свои цели. Менеджеру по персоналу, менеджеру проекта или ведущему разработчику надо понимать ваши мотивы, которые сподвигли вас искать работу. Любой менеджер думает так: хороший кандидат — это мотивированный кандидат. На собеседовании всегда спрашивают о целях кандидата. Цели должны быть очерчены на год вперед, а в идеале на 5-10 лет.

6. Резюме. Первое, что увидит работодатель, будет Ваше резюме. Резюме должно быть исключительно по делу. Работодатель после просмотра резюме должен знать ответы на вопросы: «Чего Вы хотите?», «Какой у Вас был опыт?».

Найдите готовые резюме. Соберите и проанализируйте как можно больше резюме, которые сейчас есть на рынке. Это даст Вам представление о той области, куда Вы хотите попасть.

Подготовьте резюме. Да, Вы уже присылали резюме. И все-таки принесите еще одну копию с собой. После собеседования можете оставить Ваше резюме, если есть визитка, то вместе с ней. Не стесняйтесь рассказать о том, чего Вы хотите добиться. Скажите о целях явно, без намеков и хождений вокруг да около. Расскажите о Ваших достижениях. Все это, возможно, уже описано в Вашем резюме, но блеск в глазах при рассказе о собственных достижениях не оставит равнодушным собеседующего с Вами.

Соберите требования из вакансий. Еще более мощный инструмент – соберите как можно больше вакансий, из тех, на которые Вы хотите попасть. Проанализируйте требования к кандидатам и сразу поймете, чего Вам не хватает, на что обращать внимание при составлении резюме.

7. Собеседуйте компанию. Вы пришли на собеседование не только для того, чтобы себя показать. Вам нужно убедиться, что Вы захотите работать в этой компании, если Вам предложат должность. Задавайте вопросы о компании, о целях компании, планах. Вы узнаете много интересного, плюс эти вопросы выделяют Вас среди десятка других кандидатов, которые приходили за неделю.

8. Опыт на фрилансе. Я думаю, что многие из программистов, сделали хотя бы один проект для своих друзей, родственников или через сайты. Работа на фрилансе дает возможность экспериментировать с разными языками, делая небольшие проекты или дорабатывая уже существующие. За небольшие деньги, делая проекты с низкими рисками, Вы можете набраться опыта в нужной области. Сейчас на фрилансе представлены все языки программирования и платформы, так что эту возможность нельзя игнорировать.

9. Стажировки. В настоящее время многие компании с удовольствием берут начинающих разработчиков к себе на стажировки. Вы можете поработать в крупных компаниях просто попав к ним на стажировку. На стажировках, конечно, не дают участвовать в критичных и крупных проектах, но Вы сможете пообщаться с опытными разработчиками, возможно, даже поработать с ними в паре. По результатам стажировки могут и на работу пригласить.

10. Пишите тем, кто пишет статьи и книги, и ходите на конференции. Люди, которые пишут публичные статьи или книги, будут очень рады получить обратную связь от Вас. Задайте им вопрос или напишите уточнение по статье, и Вам обязательно ответят.

Перейдем к вопросу «Как правильно строить карьеру, когда Вас приняли в компанию?».

Работа разработчика предполагает не просто кодирование изо дня в день. У каждого, кто занимается разработкой программного обеспечения, есть, как минимум, 10 направлений для развития (Requirements, Design, Construction, Maintenance, Configuration management, Engineering management, Engineering process, Engineering tools and methods, Quality). Если Вы хотите оставаться востребованным специалистом, то Вам нужно быть в курсе IT-мира и постоянно совершенствоваться. Это может звучать банально, но нужно уделять много времени саморазвитию.

Я отдаю предпочтение бумажным книгам, которые заказываю в интернет-магазинах. Читаю примерно 1-2 книги в месяц. Бывает больше, но это – норма. Чтение статей помогает оставаться в курсе событий и тенденций IT-мира. Написание статей помогает упорядочить мысли в собственной голове. Если вы не хотите публичности, то все-равно стоит писать статьи в закрытом блоге или просто в текстовом редакторе.

Нужно узнавать у коллег, в чем Вам еще стоит «подрости». Это самый эффективный, но психологически сложный способ «вытащить себя за волосы вверх». Спросить у своих коллег, чего мне не хватает, как мне стать лучше. Обязательно поинтересуйтесь — узнаете много интересного.

Выстраивая свою карьеру, разработчики часто думают: сначала я поработаю разработчиком, потом стану менеджером проекта. Встречали таких? Конечно, такая схема работает, но есть подводные камни, которые не очевидны для начинающих этот путь.

Менеджер не то же самое, что и разработчик. Хороший разработчик не превратится в хорошего менеджера. Разные книги, разные подходы. Для менеджера наиболее интересны такие области, как психология, управление проектами, методологии, управление рисками, управление персоналом, управление требованиями. Для разработчика – другие. Это и разные границы ответственности. Если говорить про иерархию в организации, то менеджер проекта и разработчик стоят на одной ступени. Отличие только в границах ответственности.

Поэтому нужно четко определить, Вы кем хотите стать.

И поэтому, я еще раз предлагаю Вам явно определить свои цели. Кем Вы себя видите через 1-2 года? В зависимости от этого надо подбирать книги, конференции и RSS-ленты. Есть такая тенденция: начинающие разработчики много внимания уделяют технологиям (языки программирования, платформы). Через несколько лет работы над коммерческими проектами намного больше внимания начинают уделять подходам и принципам разработки. Становится понятно, что «серебряной пули» как не было, так и не будет, что выбор языка программирования зависит от прикладной задачи, как и платформа. Технологии меняются очень быстро, а правильные подходы только накапливаются со временем. Наиболее верным решением будет инвестировать большую часть своего времени в изучение подходов и лучших практик.

**Список использованных источников:**

1. *How to Make a Resume for a Job – Professional Writing Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zety.com/blog/how-to-make-a-resume>.*

2. *Directions in Information Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://it.unt.edu/directions-information-technology>.*

## ОБ АСПЕКТАХ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ИНТЕГРАЦИИ СТРАХОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОНЛАЙН КРЕДИТОВАНИЯ

*Прокопчук В.И.*

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

*Сычева Ю.С. – кандидат педагогических наук*

В работе рассматриваются основные аспекты разработки программного модуля интеграции страхования и обработки данных для системы онлайн кредитования. Излагается концепция построения архитектуры модуля. Выявлены основные требования и определены инструменты, используемые для разработки.

Кредитование населения банками имеет большое социальное значение, так как способствует удовлетворению жизненно важных потребностей населения в различных товарах и услугах; выполняет экономические задачи, позволяя рационально использовать временно свободные денежные средства вкладчиков. За счет кредитования банки получают большую часть прибыли.

Кредитные операции являются одним из наиболее динамично растущих направлений банковской деятельности, приносящих существенную часть их прибыли. В то же время кредитование физических лиц способствует повышению благосостояния населения и является крайне важным элементом национальной экономики, способствующим при устойчивом развитии процессам расширенного воспроизводства. Рыночные отношения способствуют развитию кредитных отношений, поскольку кредитование и стимулирование покупательной способности населения является одним из факторов ускорения экономической активности в жилищном строительстве, производстве, розничной торговле и сфере услуг.

Наличие непоплаченных долгов является всегда риском для улучшения финансового состояния граждан, несмотря на временные преимущества, предоставляемые кредитными организациями для удовлетворения потребностей населения. В условиях появления новых кредитных продуктов, снижаются требования к заемщику, все более очевидным становится риск невозврата заемных средств банку и необходимость его страхования.

Так как банк является одним из ключевых звеньев кредитования, именно он будет нести убытки в случае возникновения кредитных рисков.

Банки должны быть застрахованы от рисков. Перед тем как предоставить кредит, банк должен проверить финансовое состояние клиента. В этой ситуации приобретает задача качественной и всесторонней, но в тоже время оперативной, проверке заемщиков.

Конкурентные преимущества будут иметь высокотехнологичные банки, которые способны при относительно низких издержках обработать колоссальный объем документов и материалов, обеспечить оперативный и индивидуальный подход к клиентам.

Программный модуль интеграции страхования и обработки данных для системы онлайн кредитования предназначен для использования в автоматизированных системах кредитования.

Разработка модуля предполагает следующие этапы:

1. Обзор и анализ ресурсов схожей тематики, в рамках которого выявляются достоинства и недостатки существующих аналогов, определяются преимущества разрабатываемого модуля и основные этапы его проектирования.

2. Разработка архитектуры модуля. Серверная часть модуля представляет собой фасад для передачи информации между приложением и узлами страховой компании по протоколу SOAP.

При работе с удаленным интерфейсом, каждый его вызов обходится дорого. В результате нужно уменьшить количество вызовов, а это значит, что нужно передавать больше данных с каждым вызовом. Один из способов сделать это – использовать множество параметров. Тем не менее, это часто неудобно для программирования – на самом деле, это часто невозможно с такими языками, как Java, которые возвращают только одно значение.

Решение заключается в создании Data Transfer Object, который может содержать все данные для вызова. Основная причина использования Data Transfer Object заключается в объединении нескольких удаленных вызовов в один. Стоит отметить, что еще одним преимуществом является инкапсуляция механизма сериализации для передачи данных.

Для передачи сообщения, необходимо создать Data Transfer Object и передать его в фасад.

Фасад – это класс, который предоставляет простой интерфейс для сложной подсистемы и может обеспечить ограниченную функциональность по сравнению с работой с подсистемой напрямую. Однако он включает только те функции, которые действительно важны для клиентов. Фасад удобен, когда нужно интегрировать приложение со сложной библиотекой или удаленным интерфейсом, которые имеют десятки функций, но вам нужна часть функциональности.

Поскольку в SOAP сервисах информация передается в XML формате, необходимо преобразовать ответ от сервиса в удобный для работы формат. Для преобразования из одного формата в другой удобно использовать адаптер.

Адаптер – это специальный объект, который преобразует интерфейс одного объекта, чтобы другой объект мог его понять. Адаптер оборачивает один из объектов, чтобы скрыть сложность преобразования. Адаптер может не только преобразовывать данные в различные форматы, но и помогать объектам с разными интерфейсами взаимодействовать.

Внутри модуля Data Transfer Object будет преобразован в необходимый для передачи формат с помощью адаптера и передан на соответствующий узел. Ответ от узла будет преобразован в Data Transfer Object и возвращен из адаптера.

3. Создание макета пользовательского интерфейса. Под макетом интерфейса понимается визуальное представление интерфейса пользователя. На этом этапе мы распределяем все важные элементы управления на веб-странице и формируем их поведение на пользовательское взаимодействие.

4. Создание логической модели базы данных. С помощью логической модели будут получено графическое представление исследуемой предметной области. Логическая модель дает возможность выделить и графически представить сущности изучаемой предметной области, а также взаимоотношения между ними.

5. Проектирование физической модели базы данных. Итогом этапа является база данных, которая будет использоваться при разработке модуля.

6. Разработка и интеграция серверной части модуля. Завершив этот этап, у нас будут готовые обработчики пользовательских запросов и формирования ответов; обработчики для анализа, передачи и конвертирования пользовательских данных; обработчики по формированию страховых соглашений и документов в PDF формате.

7. Разработка и интеграция клиентской части модуля. Финальный этап основан на создании полноценного пользовательского интерфейса с помощью спроектированного макета интерфейса.

Предлагаемая система представляет из себя модуль для серверной части и клиентской части. Для использования клиентской части необходим только браузер. Таким образом обмен информацией между клиентом и сервером происходит по сети, что является плюсом в вопросе адаптации приложения, так как этот вид приложений является межплатформенным и не зависит от операционной системы пользователя.

При реализации было решено разделить функциональность. Это позволит разделить ответственность между компонентами системы.

В качестве серверной платформы разработки приложения была выбрана платформа ASP.NET и язык программирования C#. Для создания полноценной клиентской части приложения были использованы: язык гипертекстовой разметки HTML5, каскадные таблицы стилей CSS3, язык программирования TypeScript, расширяющий возможности JavaScript и фреймворк Vue.JS.

Выбранной СУБД для хранения информации является Microsoft SQL Server 2017. Для работы с базой данных был использован ORM-фреймворк Entity Framework на базе .NET. Концепцией данного фреймворка является понятие сущности, которая представляет собой набор данных, ассоциированных с определенным объектом.

Таким образом в результате проделанной работы был разработан модуль, который позволяет:

– интегрировать процесс страхования заемщиков в процесс оформления заявления на получение кредита;

– автоматизировать процесс обработки рисков и персональной информации;

– автоматизировать процесс изменения процентной политики.

Ключевой целью поэтапной разработки становится постепенное выявление не обнаруженных ранее ошибок и недочетов кода. В рамках такого процесса разработки программного обеспечения и заказчик, и исполнитель могут столкнуться с рядом достаточно узкого спектра ошибок, связанных с частичной рассогласованностью данных, а также срывов выполнения программных процедур в связи с применением многопользовательского доступа.

В рамках процесса поэтапной разработки образуется окончательная картина взаимодействия пользователя, а также определяется степень лояльности к разработанному интерфейсу.

Среди основных преимуществ модуля можно выделить:

– функциональные компоненты могут быть изменены, переписаны или заменены без изменений в остальных частях программного средства;

– отдельный модуль легче сопровождать и модифицировать;

– разработанный модуль можно интегрировать в любую систему, разработанную на языке платформы .NET.

# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СОЗДАНИЯ АПТЕЧНЫХ КАРТ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА «S.C. ROMPHARM COMPANY S.R.L.» (РУМЫНИЯ) В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Самохвал А.А.

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

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

Автоматизированные системы обработки информации значительно упрощают работу сотрудникам предприятий во всех сферах деятельности. Наиболее важно это для проведения анализа большого объема данных. Данная статья описывает разработанную нами автоматизированную систему создания аптечных карт для медицинского представительства «S.C. ROMPHARM COMPANY S.R.L.» (Румыния) в Республике Беларусь.

Медицинское представительство – это организация, специализирующаяся на продвижении определенной группы препаратов одного производителя. Медицинский представитель – сотрудник, занимающийся продвижением определенных препаратов, на вверенной ему территории. Для успешного продвижения сотрудник должен учитывать и анализировать множество факторов: сезонность, близость аптек к лечебно-профилактическим центрам, фокус группа препарата и другие. Самый важный параметр, который обязательно необходимо учитывать – уровень продаж в каждой конкретной аптеке. Исходя только лишь из значения данного параметра, можно узнать, какая из аптек перспективнее для дальнейшей работы, спрогнозировать количество единиц препарата, которые необходимо отгрузить в данную аптеку в следующем месяце. Но прогноз получается гораздо эффективнее, когда имеются данные о продажах за определенный период. Прогнозирование становится более точным, перспективы прозрачнее.

Аптечные сети ежемесячно предоставляют данные о продажах препаратов по каждой конкретной позиции, в каждой из аптек сети. Сложность использования этих данных заключается в том, что они объемны и не стандартизированы. Ситуацию усугубляет то, что отсутствует стандарт, по которому строились бы отчеты о продажах. Все это приводит к тому, что для анализа информации о продажах медицинский представитель должен потратить огромное количество времени на поиск и сопоставление позиций. Более того, для удобства использования этой информации необходимо ее систематизировать, что затрачивает значительную часть рабочего времени сотрудника, которую он мог бы уделить непосредственно представлению вверенных ему препаратов, и стимуляции продаж. Автоматизация этой работы значительно ее упрощает.

На рынке программного обеспечения практически отсутствуют решения для автоматизации работы медицинских представителей. На данный момент известно лишь о приложении «Curating Pharma», которое позиционируется как система ведения клиентов и управления рабочим временем сотрудников. Но как указывает разработчик на своем сайте [1], система морально устарела. Кроме того, данная система не способна к вариативному разбору отчетной информации, получаемой из аптечных сетей и ее систематизации.

Разработанное нами программное обеспечение (рис. 1) узкоспециализировано именно на разборе отчетной информации и предоставлении ее сотруднику в удобном для него виде.

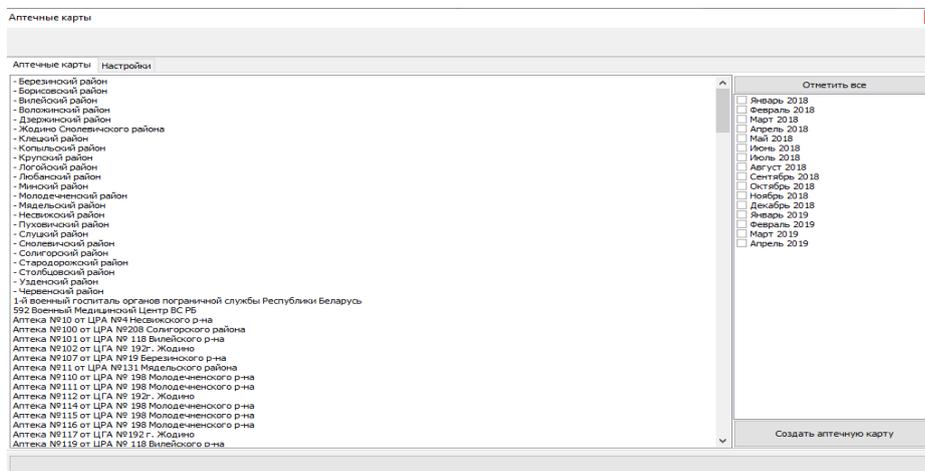


Рис. 1 – Главное окно программы

Сотрудник может выбрать необходимую аптеку, либо просмотреть информацию о продажах по всему району.

Информация о продажах в программу поступает напрямую из получаемого от аптечной сети отчета. Специально разработанный для этой задачи алгоритм сначала определяет необходимые поля, в которых находится необходимая информация об аптеке, препарате, или количестве проданных упаковок препарата.

За счет внедрения алгоритма классификации удалось решить проблемы, связанные с тем, что при формировании отчетов, аптечные сети распределяют информацию в произвольном порядке и указывают наименования аптек и препаратов в произвольной форме. Это позволило полностью избавить сотрудника от ручного анализа отчетной информации, и, как следствие, сократить необходимое время на составление аптечных карт с нескольких дней до нескольких секунд.

На рис. 2 мы представили сгенерированную программой аптечную карту.

Дерзковский район	Январь 2018	Февраль 2018	Март 2018	Апрель 2018	Май 2018	Июнь 2018	Июль 2018	Август 2018	Сентябрь 2018	Октябрь 2018	Ноябрь 2018	Декабрь 2018	Январь 2019	Февраль 2019	Март 2019	Апрель 2019
Аблукса здоровья БАД таблетки 0,522г упаковка №40																
Аллерголик таблетки п/о 5гг упаковка №10		2	3	2	1	4		2		1	2		1	1	2	2
Альфаколин р-р для инъекций 250мг/мл №1 ампулы №5	12	8		2		8	6	4		10	5	3	3+9	6	4	2
Айбросол таблетки 30гг упаковка №30																
Айбросол таблетки 30гг упаковка №30	110	70	135	73	45	45	20	33	98	110	43	62	95	67	60	6
Апостолит таблетки 30гг упаковка №30	90	36	70	71	60	78	65	60	66	30	120	100	110	83	70	88
Апостолит таблетки 30гг упаковка №30	59	65	50	58	71	55	38	16	62	40	36	92	68	31	27	27
Апостолит таблетки 5гг упаковка №30	75	60	41	68	65	70	64	60	51	63	113	163	80	128	68	100
Апостолит капсулы 4гг 30гг упаковка №30		5		8	1	6				2	3	5	4		5	3
Апостолит капсулы 4гг 5гг упаковка №30	17	13	21	16	10	18	13	6	10	9	16	12	14	19	22	21
Апостолит капсулы 8гг 10гг упаковка №30	30	13	24	23	17	17	11	10	9	15	25	24	20	22	13	16
Апостолит капсулы 8гг 5гг упаковка №30	17	10	6	7	7	2	6	11	10	7	4	9	12	1	13	2
Арлетон таблетки п/о 100гг упаковка №30	28	60	160	35	5	13	5	15	28	117	10	20	50	80	8	7
Арлетон таблетки п/о 100гг упаковка №30	68	61	44	54	3		9	28	39	91	20	23	77	49	53	12
Арлетон таблетки п/о 50гг упаковка №30	17	35	15	25	23	10		15	13	65	13	21	15	20		
Арлетон таблетки п/о 50гг упаковка №30	15	8	5	25		5	5	13	31	24	28	13	45	13		13
Артролек пор-н для приг. р-ра для приема внутрь 1.500гг пакет №30		2	1	2		2	5				1	1	2	2	1	1
АСК таблетки п/о, кишечно-рств. 75гг упаковка №30	26	55	33	23	30	33	28	51	43	30	51	60	53	43	24	3
АСК таблетки п/о, кишечно-рств. 75гг упаковка №30	15	2		5	8	15	5	10	8	5	8	30	25	30		7
Бетагистин-П0 таблетки 16гг упаковка №30	2	14		10	5			17	8	5	14	10	21	25	7	
Бетагистин-П0 таблетки 24гг упаковка №30	2	9	3	5	4	4	3		2	3	6	9	4	15	3	4
Бикард АМ таблетки 10гг 10гг упаковка №30		2	6		4		6	1	3	2	1		3		2	
Бикард АМ таблетки 10гг 5гг упаковка №30									4				1			1
Бикард АМ таблетки 10гг 10гг упаковка №30				2	1		1	1	1		1	3			2	
Бикард АМ таблетки 5гг 5гг упаковка №30	1	1	5		2		2		2		2	6	9	2	5	12
Бикард плюс таблетки п/о 2,5гг 6,25гг упаковка №30	1			1	2	6	2	3		11	2			14		
Бикард плюс таблетки п/о 5гг 6,25гг упаковка №30	1	3		3		5	3	1		15,6669999168			1	10		
Бикард-П0 таблетки п/о 10гг упаковка №30	55	38	40	35	20	50	23	38	30	37	37	33	20	38	10	4
Бикард-П0 таблетки п/о 10гг упаковка №30	1		6			3			6	5	10	8		5		2
Бикард-П0 таблетки п/о 2,5гг упаковка №30	106	92	60	90	125	136	40	88	95	87	44	67	133	124	141	62
Бикард-П0 таблетки п/о 2,5гг упаковка №30	28	11	33	29	33	28	40	30	50	23	46	40	30	55	35	40
Бикард-П0 таблетки п/о 5гг упаковка №30	291	197	300	135	255	218	200	150	315	182	237	245	178	358	165	195
Бикард-П0 таблетки п/о 5гг упаковка №30	15	5	21			6	5	20	18	25	23	20	30	56	5	50
Брикопт глазные капли 10гг/мл №1 флакон №1	109	53	112	85	45	71	19	48	14	20	29	62	64	76	66	38
Бупивакаин-П0 Стекло 1мл р-р для интратекального введения 20гг №1 ампулы №10																
Василон таблетки п/о 100гг упаковка №30	11	10	10	14	10	9	10	13	23	3	18	11	19	5	13	12
Василон таблетки п/о 100гг упаковка №30	9	2	4	12		11	3	6	3	10	5	4	8	4	6	4
Василон таблетки п/о 100гг упаковка №4	10	5	8	11	2	13	5	5	11	8	14	2	14	6	3	7

Рис. 2 – Сформированная аптечная карта

Разработанная нами автоматизированная система успешно внедрена в «S.C. ROMPHARM COMPANY S.R.L.» (Румыния) в Республике Беларусь и на практике доказала преимущество автоматизированных систем над ручным трудом в данной отрасли.

Основным преимуществом данной системы является значительная экономия рабочего времени сотрудников компании, и, как следствие, освобождение рабочего времени сотрудников для выполнения работ по продвижению препаратов и увеличению прибыли компании. Кроме того, поскольку в разработанном приложении данные представлены нагляднее, чем в исходных отчетах, значительно упрощается процесс анализа перспектив продаж препаратов компании в тех или иных аптечных сетях.

**Список использованных источников:**

1. Curating Pharma [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.curating.com>. – Дата доступа : 25.03.2020.
2. Осипов, Д. Базы данных и Delphi. Теория и практика / Д. Осипов – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 752 с.
3. Осипов, Д. Delphi. Программирование для Windows, OS X, iOS и Android / Д. Осипов – СПб. : БХВ-Петербург, 2014. – 464 с.
4. Проклашкин, Д.Н. Автоматизация учета на предприятии / Д.Н. Проклашкин. // Cyberleninka [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-ucheta-na-predpriyatii>. – Дата доступа : 25.03.2020.
5. Работа с CRM на планшете и телефоне // Curating [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://curating.com/ru>. – Дата доступа : 25.03.2020.

## ВЕБ-СЕРВИС АНОНИМНОГО ПОИСКА РЕЛЕВАНТНЫХ ВАКАНСИЙ С УЧЕТОМ ЧАСТИЧНОЙ АНОНИМИЗАЦИИ СОИСКАТЕЛЯ

Сень П.А.

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

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

В связи с развитием цифровых технологий, человек пытается автоматизировать все области своей деятельности от производственных процессов до научных исследований. Автоматизация позволяет повысить производительность труда, улучшить качество продукции, оптимизировать процессы управления, отстранить человека от производств, опасных для здоровья. Автоматизация, за исключением простейших случаев, требует комплексного, системного подхода к решению задачи. Применяемые методы вычислений иногда копируют нервные и мыслительные функции человека. В частности, автоматизации подвергся процесс поиска работы. Разработка веб-сервиса для него описана в нашей статье.

Основной задачей нашей разработки веб-сервиса анонимного поиска релевантных вакансий является предоставление пользователям списка релевантных и подходящих ему вакансий, а также обеспечение анонимности при поиске и подаче резюме на выбранную вакансию.

Анонимность в использовании веб-сервиса является ключевой частью приложения. Основная причина, по которой пользователь хочет скрыть свои данные, – это то, что пользователь не хочет, чтобы о поиске новой работы узнал «старый» работодатель, так как во многих случаях это грозит штрафными санкциями либо увольнением. Особенно актуальна данная проблема в сфере IT.

В настоящее время все больше веб-сервисов поиска вакансий предоставляют функцию скрытия своих личных данных при подаче резюме, но анонимность пользователя не является первоочередной задачей данных веб-сервисов и поэтому функция анонимности поддерживается ими лишь отчасти.

Разработанное нами приложение имеет клиент-серверную архитектуру. Сервер написан на языке Java с использованием фреймворка Spring. Язык Java позволяет создать высоконагруженное и мультиплатформенное приложение, а фреймворк Spring – ускорить разработку и обеспечить безопасность приложения. С помощью языка Java реализована основная бизнес-логика приложения, которое разделено и структурировано с помощью инструмента сборки Maven. Клиентская часть написана на языке TypeScript и фреймворке Angular. Данная связка технологий позволяет разрабатывать легко расширяемое и высокопроизводительное приложение. В качестве базы данных была использована PostgreSQL, которая помимо большого количества функций выпускается под BSD лицензией и полностью бесплатна.

После анализа основных требований была построена диаграмма вариантов использования приложения (рис. 1).

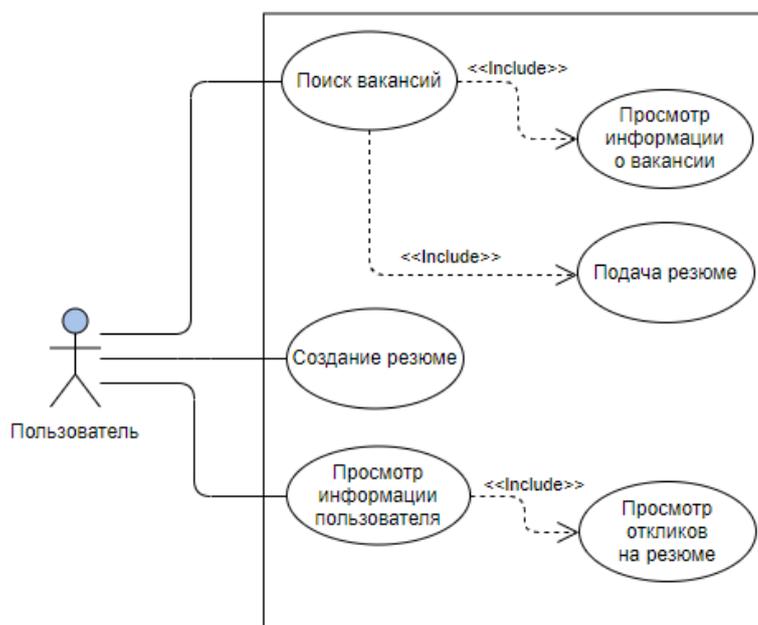


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования приложения

Взаимодействие между серверной и клиентской частью (рис. 2) обеспечивается с помощью HTTP протокола и построено с использованием архитектурного стиля взаимодействия компонентов распределенного приложения REST. Использование архитектурного стиля REST предоставляет

следующие преимущества:

- масштабируемость взаимодействия компонентов системы (приложения);
- общность интерфейсов;
- независимое внедрение компонентов;
- промежуточные компоненты, снижающие задержку и усиливающие безопасность.

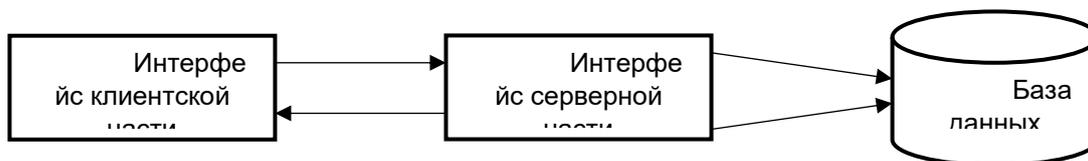


Рисунок 2 – Схема взаимодействия клиентской и серверной частей

Для реализации веб-сервиса анонимного поиска релевантных вакансий с учетом частичной анонимизации соискателя необходимо иметь следующие входные данные:

- информация о компаниях;
- информация для создания резюме;
- вакансии.

Выходными данными для разрабатываемого программного средства являются:

- систематизированные списки вакансий;
- система подачи резюме с учетом анонимности соискателя;
- система обработки резюме пользователем-работодателем;
- модуль оповещения пользователя об отклике на резюме.

Разработанный веб-сервис позволяет выполнять следующие функции:

- регистрация пользователя как соискателя;
- регистрация пользователя как работодателя;
- составление резюме с возможностью скрытия данных соискателя;
- составление вакансии;
- поиск вакансий по заданным критериям;
- подача резюме на выбранную вакансию;
- обработка резюме пользователем-работодателем;
- составление систематизированных списков вакансий с учетом навыков соискателей;
- оповещение пользователя об отклике на резюме.

Также для разрабатываемого программного средства была создана база данных со следующими сущностями:

- пользователь;
- вакансия;
- компания;
- резюме;
- навыки.

Практическая значимость нашей разработки состоит в том, что веб-сервис анонимного поиска релевантных вакансий с учетом частичной анонимизации соискателя позволит соискателю быстро и безопасно находить подходящие ему вакансии, получать оповещение об отклике на резюме. Архитектура приложения позволяет с легкостью его расширять, поэтому в будущем возможна разработка мобильной версии веб-сервиса.

**Список использованных источников:**

1. Блинов, И. Н. *Java. Методы программирования* / И.Н. Блинов – Минск : Издательство «Четыре четверти», 2013. – 896 с.
2. Комаричева, М.О. *Интернет как средство поиска работы и персонала* / М.О. Комаричева. // *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. – 2017. – Т. 39. – С. 2726-2730.
3. Моисеев, А. *Angular и TypeScript. Сайтостроение для профессионалов* / А. Моисеев, Я. Файн – СПб. : Питер, 2018. – 464 с.
4. Руднева, С.И. *Возможности и ограничения Интернета как средства поиска работы и персонала* / С.И. Руднева. // *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. – 2017. – Т. 39. – С. 3066-3070.
5. Эккель, Б. *Философия Java* / Б. Эккель – СПб. : Питер, 2019. – 1168 с.

## АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ РЛС

Сидюк С. Г., Пунчик Е. П.

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

Гринкевич А.В. – канд. тех. наук

Алгоритм оценки технических характеристик РЛС позволяющий оценить технический уровень (ТУ) РЛС. Новизна предложенного подхода заключается в проведении многократной оценки ТУ разными средними взвешенными и статистической обработкой результатов оценивания. В результате преимущество описанного подхода по сравнению с известными заключается в более точной оценке полученного результата (оценке ТУ РЛС)

Использование степенных средних взвешенных при оценке качества (ТУ) РЛС связано с нелинейными операциями над исходными значениями единичных показателей ТУ, что приводит к преобразованиям законов распределения единичных показателей ТУ. При сложных алгоритмах определения ТУ от большого числа единичных показателей определение закона распределения оценки ТУ достаточно сложно. Поэтому применим приближенные вычисления для определения числовых характеристик оценки ТУ.

Идея приближенных вычислений состоит в том, что алгоритм оценки ТУ представим рядом Тейлора [1, 2], в котором ограничимся первыми членами разложения. В этом случае выражение оценки ТУ примет вид:

$$\hat{Q} = \bar{Q} + \theta_{\hat{Q}} + \delta_{\hat{Q}} = Q(Q_{01}, Q_{02}, \dots, Q_{0m}, g_1, g_2, \dots, g_m) + \\ + \sum_{i=1}^m \frac{\partial Q}{\partial Q_{0i}} \delta_{Q_{0i}} + \sum_{i=1}^m \frac{\partial Q}{\partial g_i} \delta_{g_i} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \frac{\partial^2 Q}{\partial Q_{0i}^2} \delta_{Q_{0i}}^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \frac{\partial^2 Q}{\partial g_i^2} \delta_{g_i}^2,$$

где  $\hat{Q}$  – приближенное значение оценки ТУ;  $\bar{Q}$  – среднее значение оценки ТУ;  $\theta_{\hat{Q}}$  – поправка на неточность вычислений;  $\delta_{\hat{Q}}$ ,  $\delta_{Q_{0i}}$ ,  $\delta_{g_i}$  – случайные отклонения, которые могут быть как положительными, так и отрицательными;  $\frac{\partial Q}{\partial Q_{0i}}$ ,  $\frac{\partial Q}{\partial g_i}$  – первые частные производные алгоритма оценки ТУ;  $\frac{\partial^2 Q}{\partial Q_{0i}^2}$ ,  $\frac{\partial^2 Q}{\partial g_i^2}$  – вторые частные производные алгоритма оценки ТУ.

Первые слагаемые в правой и левой частях этого выражения не зависят от поправок и случайных отклонений исходных значений ТУ. Поэтому:

$$\bar{Q} = Q(\bar{Q}_{01}, \bar{Q}_{02}, \dots, \bar{Q}_{0m}, g_1, g_2, \dots, g_m), \quad (1)$$

где  $\bar{Q}_{01}$ ,  $\bar{Q}_{02}$ ,  $\bar{Q}_{0m}$  – средние значения исходных единичных показателей ТУ;  $g_1$ ,  $g_2$ ,  $g_m$  – весовые коэффициенты.

Возникновение поправки  $\theta_{\hat{Q}}$ , объясняется наличием квадратичных членов разложения и связано с неточностью вычислений, это является важной особенностью приближенных вычислений на уровне оценок числовых характеристик. В связи с этим, поправка  $\theta_{\hat{Q}}$  будет определяться выражением:

$$\theta_{\hat{Q}} \approx \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \frac{\partial^2 Q}{\partial Q_{0i}^2} \delta_{Q_{0i}}^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \frac{\partial^2 Q}{\partial g_i^2} \delta_{g_i}^2.$$

Заменяя случайное отклонение  $\delta_{Q_{0i}}$ ,  $\delta_{g_i}$  на погрешности измерения исходных значений единичных показателей ТУ и коэффициентов весомости  $\sigma_{Q_{0i}}$ ,  $\sigma_{g_i}$  поправка на неточность вычислений  $\theta_{\hat{Q}}$  примет вид:

$$\theta_{\hat{Q}} \approx \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \frac{\partial^2 Q}{\partial Q_{0i}^2} \sigma_{Q_{0i}}^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \frac{\partial^2 Q}{\partial g_i^2} \sigma_{g_i}^2. \quad (2)$$

Случайное отклонение оценки ТУ  $\delta_{\hat{Q}}$  определяется в соответствии с выражением:

$$\delta_{\hat{Q}} = \sum_{i=1}^m \frac{\partial Q}{\partial Q_{0i}} \delta_{Q_{0i}} + \sum_{i=1}^m \frac{\partial Q}{\partial g_i} \delta_{g_i}. \quad (3)$$

Усреднение квадрата левой и правой частей выражения (3) с заменой случайных отклонений  $\delta_{Q_{0i}}$ ,  $\delta_{g_i}$  на погрешности измерения исходных значений единичных показателей ТУ и коэффициентов весоности  $\sigma_{Q_{0i}}$ ,  $\sigma_{g_i}$  позволяет найти приближенное значение случайной погрешности оценки ТУ  $\sigma_{\hat{Q}}$ , при этом считаем, что исходные значения показателей ТУ, значения коэффициентов весоности независимы и их корреляционные моменты равны нулю. Среднеквадратическое отклонение оценки ТУ  $\sigma_{\hat{Q}}$  определяется выражением:

$$\sigma_{\hat{Q}} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial Q}{\partial Q_{0i}} \right)^2 \sigma_{Q_{0i}}^2 + \sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial Q}{\partial g_i} \right)^2 \sigma_{g_i}^2}. \quad (4)$$

После определения среднего значения оценки ТУ  $\bar{Q}$ , поправки на неточность вычислений  $\theta_{\hat{Q}}$ , СКО оценки ТУ  $\sigma_{\hat{Q}}$  результат оценки ТУ необходимо представить в стандартном виде, при этом не рекомендуется пользоваться записью  $\hat{Q} \pm t \sigma_{\hat{Q}}$ , так как в силу особенностей человеческой психики при этом возникает некоторая доминанта, акцент на середину интервала для чего нет никаких оснований. Среди значений  $Q$  в доверительном интервале нет предпочтительных. В связи с этим результат оценки ТУ представим в виде:

$$Q = \hat{Q} - t_P \sigma_{\hat{Q}} \dots \hat{Q} + t_P \sigma_{\hat{Q}} \text{ с вероятностью } P, \quad (5)$$

где  $\hat{Q}$  – исправленная оценка ТУ  $\hat{Q} = \bar{Q} + \theta_{\hat{Q}}$ ;  $t_P$  – коэффициент, определяемый по таблицам в зависимости от числа измерений и принятой доверительной вероятности  $P$ .

Результат оценки ТУ при недостаточности априорных данных должен быть ориентирован на самый худший случай [3]. Тогда реальное значение будет всегда лучше и получение необходимого результата гарантируется. Исходя из того, что закон распределения оценки ТУ и погрешности не известен, но известно СКО погрешности оценки ТУ  $\sigma_{\hat{Q}}$ , то в этом случае доверительный интервал строим на основе неравенства Чебышева:

$$P \left\{ \hat{Q} - \gamma_P \sigma_{\hat{Q}} \leq Q \leq \hat{Q} + \gamma_P \sigma_{\hat{Q}} \right\} \geq 1 - \frac{1}{\gamma_P^2},$$

где  $\gamma_P$  - коэффициент Чебышева.

Согласно центральной предельной теореме, закон распределения суммы достаточно большого числа независимых случайных величин сколь угодно близок к нормальному [4]. Исходя из того, что в оценку ТУ входят значения показателей ТУ, представляющие собой независимые случайные величины, можно предположить, что оценка ТУ имеет нормальный закон распределения. В этом случае, за  $t_P$  необходимо брать коэффициент Стьюдента, при этом значения  $t_P$  определяется по таблицам при заданной доверительной вероятности  $P$  (таблица 1).

Таблица 1 - Значение  $t_P$  от доверительной вероятности  $P$ .

Доверительная вероятность $P$	0,68	0,95	0,99	0,997
Коэффициент Стьюдента $t_P$	1	2	2,6	3

**Список использованных источников:**

- [1] Ильин, В.А. Математический анализ. Начальный курс: 2-е изд., перераб. / В.А. Ильин, В.А. Садовничий, Бл.Х. Сендов; под общ. ред. А.Н. Тихонова. – М.: Изд-во МГУ, 1985. 662с.
- [2] Ильин, В.А. Математический анализ. Продолжение курса / В.А. Ильин, В.А. Садовничий, Бл.Х. Сендов; под общ. ред. А.Н. Тихонова. – М.: Изд-во МГУ, 1987. 358с.
- [3] Майстренко, И.Ю. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация» для студентов специальности 270201 / И.Ю. Майстренко, О.К. Петропавловских. Казань: КГАСУ, 2010. – 45с.
- [4] Михайлов, Е.В. Теория вероятностей в примерах и задачах: Часть 1. Комбинаторика. Случайные события и их вероятности / Е.В. Михайлов, Н.Н. Патронова, В.В. Тепляков. – Архангельск: САФУ, 2013. 141с.

## ТЕХНОЛОГИЯ PLC (СВЯЗЬ ПО ЛЭП)

Снапко Р.Ю., Хомьёк А.А.

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

Дворникова Т.Н. – магистр техн. наук

Сегодня PLC находит широкое практическое применение. В связи с тем, что технология использует существующую электросеть, она может быть использована в автоматизации технологических процессов, для создания систем АСКУЭ. PLC применяют при создании локальной сети в небольших офисах. Часто в уже существующую офисную сеть необходимо включить удаленный компьютер или сетевой принтер, расположенный в другой комнате или даже в другом конце здания — с помощью PLC-адаптеров эту проблему можно решить за несколько минут. PLC-технология открывает новые возможности для реализации идеи «умного» дома.

Технология PLC (Power Line Communication) - новая телекоммуникационная технология, базирующаяся на использовании силовых электросетей для высокоскоростного информационного обмена. Эксперименты по передаче данных по электросети велись достаточно давно, но низкая скорость передачи и слабая помехозащищенность были наиболее узким местом данной технологии. Но прогресс не стоит на месте, и появление более мощных DSP - процессоров (цифровые сигнальные процессоры) дали возможность использовать более сложные способы модуляции сигнала, позволило значительно продвинуться вперед в реализации технологии PLC. Схема реализации представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема реализации технологии PLC

Сложностью при реализации технологии PLC является состояние электрических сетей, однако с каждым годом ГПО «Белэнерго» осуществляет капитальный ремонт и замену проводов.

Быстрый монтаж и возможность подключения к существующим сетям один из главных плюсов данной технологии. PLC-сеть можно легко разобрать и сконфигурировать. Такая сеть легко масштабируется — можно организовать практически любую ее топологию с минимальными затратами.

В настоящее время большинство конечных подключений осуществляется посредством прокладки кабеля от высокоскоростной линии до квартиры или офиса пользователя. Если прокладка кабеля невозможна, то можно воспользоваться имеющейся системой силовых электрических коммуникаций.

PowerLine-технология может быть использована при создании локальной сети в офисах, где основными требованиями к сети являются простота реализации, мобильность устройств и легкая расширяемость.

PowerLine-технология может быть использована при реализации идеи «умного дома», где вся бытовая электроника связана в единую информационную сеть с возможностью централизованного управления.

В связи с тем, что PLC может работать на различных проводах применение в ОПС вполне реализуемо также и для систем видеонаблюдения объектов.

### Список использованных источников:

1. [http://network.xsp.ru/5\\_5.php](http://network.xsp.ru/5_5.php)
2. <https://isup.ru/articles/18/7305/>
3. [https://www.cnews.ru/articles/svyaz\\_po\\_elektroseti\\_komu\\_i\\_zachem\\_eto\\_nuzhno](https://www.cnews.ru/articles/svyaz_po_elektroseti_komu_i_zachem_eto_nuzhno)

## МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Татарченко С.Н.

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

Крушев В.Т. – к.т.н., доцент

В работе рассматривается реализация устройства, предназначенного для контроля и защиты от аварий асинхронного двигателя.

В настоящее время наиболее распространённым видом электродвигателей являются асинхронные двигатели трехфазного переменного тока с рабочим напряжением до 500В. Для их надежной и бесперебойной работы применяются системы защиты, которые в большинстве своем представляют собой устройства, реализованные на базе микропроцессоров. Разработанная система предназначена для контроля режима работы асинхронного электропривода в трехфазной сети энергоснабжения (380/220В, 50 Гц) и автоматического отключения при возникновении аварийных ситуаций [1]. Система состоит из блока питания, блока коммутации и блока управления. Блок питания преобразует напряжение одной из фаз сети для питания всей цепей системы. Особенность блока питания состоит в том, что минус питания соединен с нейтралью трехфазной сети. Блок коммутации представляет собой схему управления индуктивной нагрузкой на базе симистора. Блок управления состоит из микропроцессорной части, преобразователей напряжения сети, преобразователей переменного напряжения в импульсное и преобразователей сигналов с датчиков тока в импульсное напряжение. Внешний вид блока управления представлен на рисунке 1.

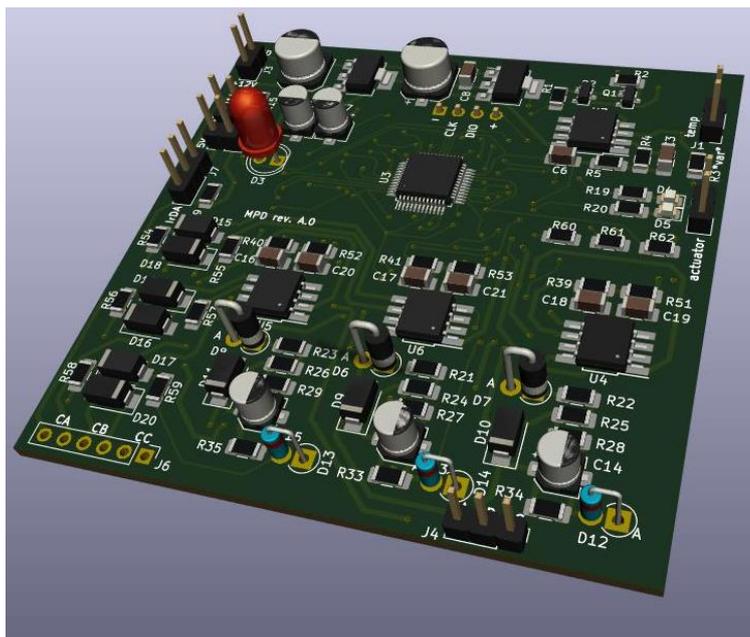


Рисунок 1 – Модель платы блока управления

Преобразователь напряжения сети используется для измерения фактического значения напряжения в каждой фазе электропривода. Он состоит из делителя напряжения на резисторах и пикового детектора на операционном усилителе. Входное напряжение сети выпрямляется на диоде и поступает на делитель напряжения, на котором делится в отношении 1 к 100 и поступает на вход пикового детектора, в котором уменьшенная амплитуда сигнала сохраняется на конденсаторе и через повторитель поступает на вход АЦП микроконтроллера. Для повышения точности измерения, падение напряжения на диоде учитывается при вычислении конечного значения амплитуды и прибавляется к оцифрованному сигналу. Такая схема позволяет вычислять в каждой фазе как среднее действующее значение напряжения, так и его амплитуду.

Преобразователь переменного напряжения в импульсное необходим для получения момента перехода напряжения через ноль в фазе электродвигателя, который является ключевым параметром для реализации алгоритма измерения сдвига фаз между током и напряжением [2]. Он представляет собой параметрический стабилизатор, настроенный на напряжение, равное логическому уровню единицы для микроконтроллера. Входное синусоидальное напряжение поступает на стабилизатор и

формирует на выходе последовательность прямоугольных импульсов с частотой, равной частоте входного напряжения. Длительность импульса равна половине периода сигнала. Точность измерения момента перехода через ноль ограничена напряжением стабилизации стабилитрона и временем его открытия.

Преобразователь сигнала с датчиков тока в импульсное напряжение используется для вычисления момента перехода через ноль значения тока в фазе электропривода. Датчик тока представляет собой гальванически изолированный трансформатор тока, который, при протекании через него переменного тока, формирует на выходе переменное напряжение, которое имеет ту же фазу, что и ток в обмотке двигателя. Преобразователь представляет собой операционный усилитель, включенный в режиме компаратора, ко входу которого подключен выход датчика тока. Переменное напряжение поступает на входы дифференциального каскада усилителя. Операционный усилитель формирует на выходе прямоугольные импульсы с частотой входного сигнала, у которых момент нарастания и спада фронта совпадает с моментом перехода через ноль изначально контролируемого тока.

Микропроцессорный блок реализован на базе микроконтроллера *stm32f030c8t6* с ядром *ARM cotrex-M0*. Основная программа написана на языке C и собрана на базе ОСРВ, где каждая часть алгоритма вынесена в отдельную подзадачу. В отдельных подзадачах находятся алгоритмы проверки несимметрии токов и напряжений. До формирования выдачи разрешения или запрета на включение в сеть вызываются алгоритмы проверки качества сети, в которых проверяются напряжения в фазах, угол сдвига между фазами и их чередование. Микроконтроллер использует таймеры в режиме захвата для непрерывного измерения частоты переменного напряжения в каждой фазе. Измерение сдвига фаз между током и напряжением реализовано на запуске и остановке таймеров в прерываниях, вызванных нарастанием фронта сигнала, приходящего с преобразователей сигналов напряжений и токов. Контроль значения напряжений в фазах осуществляется модулем АЦП, который работает в режиме прямого доступа к памяти без участия процессора. Алгоритм осуществляет управление и обмен информацией через последовательный ИК-порт, установленный на плате. Через него можно запросить причину отключения привода от сети и задать граничные параметры, до превышения которых срабатывание защиты производиться не будет.

Отдельной особенностью является цепь контроля температуры обмотки статора. Для измерения температуры электродвигателя, схема коммутирует одну из обмоток статора к фиксированному источнику тока через делитель напряжения. Начальное падение напряжения на обмотке сохраняется в ПЗУ микроконтроллера. Используя значение температурного коэффициента сопротивления меди, система защиты проверяет, не превышает ли температура статора аварийного значения, и формирует запрет на включение двигателя, если порог превышен. Измерение температуры происходит до включения двигателя в сеть.

Таким образом, при малом наборе компонентов, разработанная система представляет собой универсальное решение с большим количеством контролируемых параметров.

**Список использованных источников:**

1. 55-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР [Электронный ресурс]: Сборник тезисов докладов. – Минск: БГУИР, 2019. – Режим доступа: [https://www.bsuir.by/m/12\\_100229\\_1\\_140717.pdf](https://www.bsuir.by/m/12_100229_1_140717.pdf)
2. Патент RU 2263382.

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СКЕЙЛОГРАММЫ

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

Толкач Р.В., Космач Н.В.

Давыдов И.Г. – к.т.н., доцент

В данной работе рассматривается применимость скейлограммы в качестве инструмента для системы контроля мониторинга состояния роторного оборудования.

Затраты на обслуживание и ремонт являются одним из важнейших эксплуатационных показателей любой технической системы. Их минимизация в тех случаях, когда система является ремонтпригодной, практически невозможна без эффективного контроля состояния системы.

В современных средствах контроля и диагностики роторного оборудования основным видом анализируемых процессов становится вибрация, активно вытесняя многие другие процессы, в том числе и тепловые. В последнее время проблема повышения надежности машин стала одной из первостепенных технических проблем [1].

Контроль технологических процессов производства позволяют экономить рабочее время и трудовые затраты, снизить вероятность неожиданного выхода из строя оборудования, время его простоя, а следовательно, являются залогом повышения эффективности производства [2].

Далее представлено применение разреженной декомпозиции скейлограммы, рисунок 1.

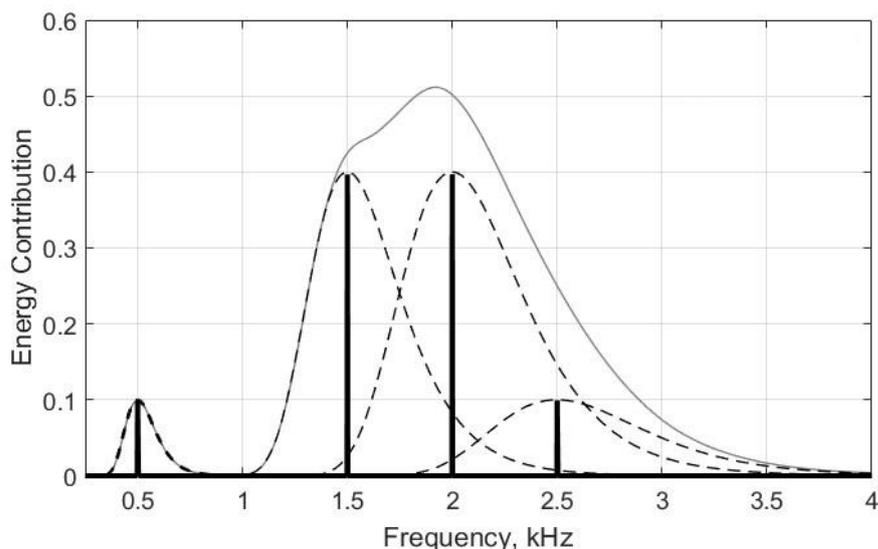


Рис. 1 – Разреженная декомпозиция скейлограммы вибрационного сигнала

Таким образом применение разреженной декомпозиции скейлограммы сигнала демонстрирует высокую точность определения частотных областей со значительным энергетическим вкладом, что повышает точность диагностики для автоматического анализа роторных узлов [3].

### Список использованных источников:

2. Барков, А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев. – СПб. : Изд. центр СПбГМТУ, 2000. – 169 с.
3. Mallat S.G. A Wavelet Tour of Signal Processing. The Sparse Way / Academic Press, 2009 – 805 p.
4. Разреженная декомпозиция скейлограммы для мониторинга технического состояния роторного оборудования / Ю.П. Асламов, И. Г. Давыдов, Н. В. Космач, Р. В. Толкач // Доклады БГУИР – 2019.

## ВЕБ-РЕСУРС ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ СОЦИОЛОГИЧЕСКИХ ОПРОСОВ

*Толстик В.Н.*

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

*Малинина Т.А., ассистент кафедры ИПиЭ БГУИР*

Сегодня сеть Интернет с её огромным количеством пользователей всех возрастов и социальных слоев активно используется для проведения всевозможных опросов и исследований. Как правило, участникам опроса предлагается заполнить составленную организатором опроса анкету, которая может быть расположена на сайте онлайн-сервиса, специализирующегося на проведении опросов. Наша статья описывает разработанный нами веб-ресурс для создания и проведения социологических опросов.

Эмпирические исследования, осуществляемые с помощью сети Интернет, обладают определенной привлекательностью для исследователей различных научных направлений – социологов, психологов, экономистов, политологов и других. Это обусловлено рядом их преимуществ по сравнению с традиционными формами таких исследований. По сравнению с традиционными формами опросов граждан (квартирными, телефонными, почтовыми и т.п.), исследования через Интернет позволяют существенно сэкономить время, деньги и человеческие ресурсы. Во многих случаях, проводя онлайн-опрос, исследователь получает возможность набрать значительно большее число респондентов и добиться при этом существенно меньшего уровня затрат. Низкий уровень материальных затрат в расчете на одного респондента позволяет, в свою очередь, при желании добиться существенно большего объема выборочной совокупности – в несколько тысяч, а потенциально, даже в несколько десятков тысяч человек. А это снижает величину случайной ошибки измерения.

Технологии организации и проведения сетевых исследований стремительно развиваются. Первоначально онлайн-опрос практически ничем не отличался от группового анкетирования, за исключением использования в его процедуре компьютерной техники и электронных технологий.

Веб-страницы устроены таким образом, что их можно обновить за считанные секунды. Техника и методика проведения исследований постоянно совершенствуются, а программное обеспечение для сбора данных - усложняется.

При проведении Интернет-опросов отмечается значительно более низкий уровень влияния исследователя (интервьюера) на респондента. Соответственно, в ответах респондентов реже встречаются социально одобряемые, социально желательные варианты ответа, нежели в ситуации беседы с интервьюером «лицом к лицу». Возможность ответов на анкету без непосредственного контакта с интервьюером позволяет добиться от респондентов более высокого уровня доверия. При участии в онлайн-опросах люди, как правило, выражают свои мысли более откровенно.

Интернет позволяет использовать не только текстовые, но также и звуковые или видео-опросники, когда вопросы воспринимаются респондентами еще и на слух, а не только прочитываются с экрана компьютера. Здесь возможно осуществить оригинальное оформление анкеты, используя богатую цветовую палитру, изображения, анимацию. Респонденту может быть предварительно предоставлена для ознакомления музыкальная, графическая или видео-информация, а затем исследовано его мнение относительно прочитанного, увиденного, услышанного.

При этом для веб-приложений, чьей областью деятельности является проведение и создание опросов, всегда свойственен подход со стороны двух категорий пользователей: «интервьюера» (создателя опроса) и «респондента» (отвечающего на вопросы).

На рисунке 1 изображена диаграмма, на которой для наглядного изображения работы разработанного ресурса применена методология IDEF0 на контекстном уровне.



Рис. 1 – Диаграмма контекстного уровня работы веб-ресурса для создания и проведения социологических опросов

Разработанный ресурс предоставляет пользователю следующие возможности:

- разработка опросов по желаемой предметной области;
- представление разработанных опросов респондентам;
- экспорт результатов опросов;
- прохождение предложенного опроса;
- личный кабинет пользователя, в котором отслеживается статистика по созданным опросам;

Входными данными для разрабатываемого программного средства являются:

- методы сбора социологической информации;
- сведения от респондентов;
- методы обработки и анализа полученной информации.

Выходными данными разрабатываемого программного средства являются:

- готовые для применения социологические опросы;
- количественные характеристики изучаемых предметов и явлений.

При создании программного средства были использованы следующие средства разработки:

- Microsoft Visual Studio 2017;
- платформа разработки ASP.NET;
- язык программирования C#;
- язык управления реляционными базами данных SQL.

Основным преимуществом разработанной системы является полностью бесплатное создание и хранение опросов и их результатов без ограничений по их количеству, простота использования и возможность в любой момент создать резервный архив с материалами по выбранным опросам.

**Список использованных источников:**

1. Теория, практика и методология опросов в Интернет // Федеральный образовательный портал ЭСМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ecsocman.hse.ru/info/seminar-doc/Wsurvey.doc>
2. Социология и Интернет: перспективные направления исследования// Федеральный образовательный портал ЭСМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ecsocman.hse.ru/iconf/1621698041/index.html>.
3. Филиппова Т.В. Интернет как инструмент социологического исследования / Т. Филиппова – СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 122 с.
4. Онлайн-опросы: обыденность наступившего столетия // Социо.ру – социологический портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.socio.ru/public/doktorov/Edit.doc>

## АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБКИ СИГНАЛОВ ПРИ ВЗАИМНОМ ВЛИЯНИИ ТЕХНОЛОГИЙ MIMO

Фам Х.А.

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

Саломатин С.Б. – канд. тех. наук, доцент

В статье рассматриваются вопросы взаимного влияния радиointерфейсов систем MIMO. Исследуется поведение вероятности ошибки (BER) в системе MIMO. Рассматривается отличие между системой MIMO без влияния и системой MIMO с влиянием на вероятность ошибки работы другой, подобной системы MIMO.

Радиointерфейсы систем LTE имеет характерные особенности в использование радиочастотного спектра (применение объединенного спектра за счет агрегации его фрагментов из разных полос и диапазонов, многоплановость частотного ресурса. С точки зрения электромагнитной совместимости (ЭМС) особенность технологии LTE/LTE-A состоит в использовании каналов с различной масштабируемой шириной и широком применении способов пространственной передачи данных посредством мультиантенных систем MIMO. Это приводит к усложнению проблем электромагнитной совместимости (ЭМС) и требует проведения дополнительных исследований.

В настоящей работе рассматривается вопрос взаимного влияния мультиантенных систем MIMO LTE на вероятность ошибки при приеме данных.

**Технология MIMO.** Система MIMO (Multiple Input Multiple Output; множественный вход, множественный выход) – была внедрена во многие системы беспроводной связи, включая 4G LTE, для улучшения характеристик сигнала.

В системе с технологией MIMO может возникнуть необычное явление, которое заключается в том, что скорость передачи данных в системе MIMO может снизиться в случае появления прямой видимости между источником и приемником сигнала. Это обусловлено в первую очередь уменьшением выраженности искажений окружающего пространства, который маркирует каждый из сигналов. В результате на приемной стороне становится проблематичным разделить сигналы, и они начинают оказывать влияние друг на друга.

**Модель MIMO.** Системная модель исследований использует программную среду Simulink, приведена на рис.1

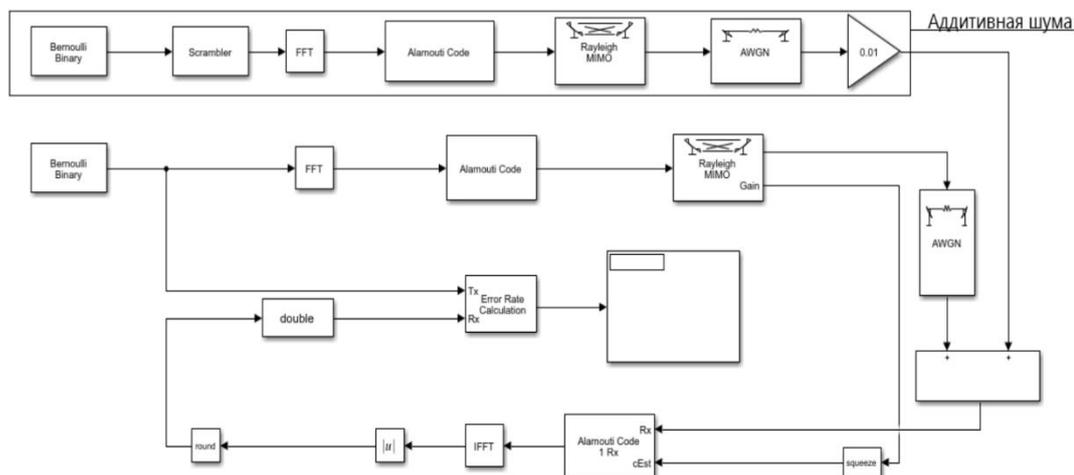


Рисунок 1 – Схема моделирования системы MIMO (с взаимной структурной подобной помехой).

При моделировании бинарный генератор Бернулли создает случайный двоичный сигнал (вероятность выпадения 1 равно 0.4). Далее сигнал модулируется, затем кодируется кодером Аламоути для передачи по каналу MIMO с релейевскими замираниями. Блок аддитивного белого гауссовского шума добавляет белый шум в приемнике. Декодер Аламоути объединяет сигналы от обеих приемных антенн в единый поток для демодуляции. Наконец, блок вычисления ошибок сравнивает демодулированные данные с исходными данными.

**Результаты моделирования.** График зависимости вероятности появления ошибки от отношения сигнал/шум представлен на рисунке 2. На графике обозначены три рабочие точки А, В, С. Точка А связана с вероятностью ошибки BER =  $3.8 \cdot 10^{-3}$  при (Eb/N0) равном 12 дБ, точка В связана с

BER =  $3.5 \cdot 10^{-3}$  при  $(E_b/N_0)$  равном 13 дБ, и точка С связана с BER =  $3.4 \cdot 10^{-3}$  при  $(E_b/N_0)$  равном 20 дБ.

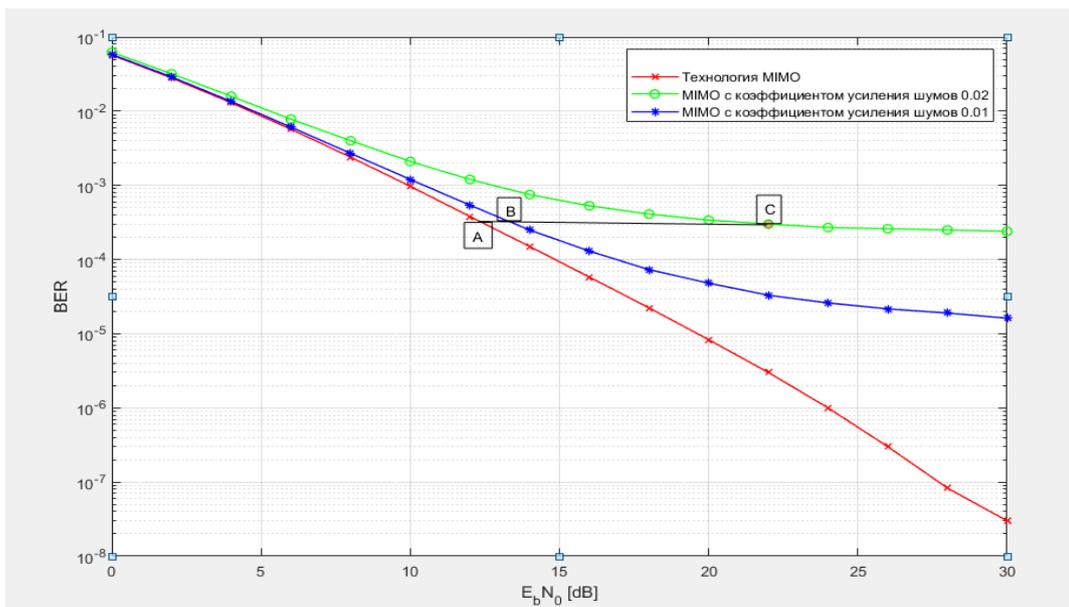


Рисунок 2 – Зависимость вероятности появления ошибки от отношения сигнал/шум в системе MIMO и коэффициента ослабления сигнала-помехи от другой системы MIMO

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

- Для вероятности ошибки равной  $3.5 \cdot 10^{-3}$  энергетический выигрыш технологии MIMO без помехи над технологией MIMO с коэффициентом помехи равном 0.02 составляет более 10 дБ.
- Для вероятности ошибки равной  $3.5 \cdot 10^{-3}$  энергетический выигрыш технологии MIMO без помехи над технологией MIMO с коэффициентом помехи равном 0.01 составляет 1 дБ.
- При уменьшении коэффициента ослабления, имеется пороговый эффект, когда вероятность ошибки приближается к вероятности ошибки в системе MIMO без помехи.

**Заключение.** Проведенные исследования показывают сложный характер взаимного влияния радиоинтерфейсов MIMO при одинаковой структуре сигналов. Для соблюдения требований ЭМС может быть выбрано пороговое значение коэффициента ослабления помехового сигнала для минимизации взаимного влияния работы радиоинтерфейсов друг на друга.

**Список использованных источников:**

1. Бернгард Скляр. Перевод с английского Грозы, Е.Г.; Марченко, В.В.; Назаренко, А.В. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Пер. с англ – М.: 2003. - 1106 с.
2. Yong Soo Cho, Jaekwon Kim, Won Young Yang, Chung G. Kang - MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB, IEEE 2010.
3. Alamouti S.M. Space-time block coding: A simple transmitter diversity technique for wireless communications. – IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Oct. 1998, vol. 16, p.1451–1458.

## ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Филиппов Н.С.

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

Саломатин С.Б. – к.т.н., доцент

В работе рассмотрен и реализован алгоритмы шифрования и цифровой подписи, основанные на эллиптических кривых, с целью защиты персональных данных пользователей в процессе разработки веб-приложений. Произведен анализ криптостойкости алгоритмов.

В процессе разработки веб-приложений часто возникают задачи, для выполнения которых необходимо взаимодействовать с клиентской базой данных, содержащей в себе персональные данные пользователей. Защиту персональных данных на территории Евросоюза регулирует «Общий регламент о защите данных».

*GDPR (General Data Protection Regulation)* - это новый всеобъемлющий закон о защите данных (вступивший в силу 25 мая 2018 г.) в ЕС, который усиливает защиту персональных данных в свете быстрого технологического развития, усиления глобализации и более сложных международных потоков персональных данных. Он обновляет и заменяет набор действующих национальных законов о защите данных на единый свод правил, которые могут применяться в каждом государстве-члене ЕС. *GDPR* регулирует «обработку» данных для лиц из стран ЕС, которая включает сбор, хранение, передачу или использование. Любая организация, которая обрабатывает персональные данные лиц из ЕС, подпадает под действие закона, независимо от того, имеет ли организация физическое присутствие в ЕС. *GDPR* также включает в себя обязательные корпоративные правила для организаций, которые узаконивают передачу персональных данных за пределы ЕС, и штраф в размере 4% от годовой выручки для организаций, которые не выполняют обязательств по соблюдению *GDPR*.

В ходе работы были реализованы алгоритмы шифрования и цифровой подписи на языке программирования *Python*. Так как криптография на эллиптических кривых не предоставляет прямого метода шифрования, то для решения этой проблемы была использована гибридная схема шифрования, использующая схему обмена ключами *ECDH (Elliptic Curve Diffie-Hellman)*, чтобы получить общий секретный ключ для симметричного шифрования и дешифрования данных.

Процессы шифрования и дешифрования, используя гибридную схему, представлены на рисунках 1 и 2.

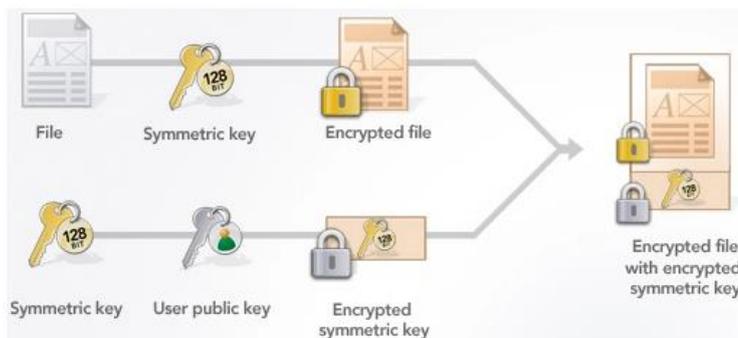


Рисунок 1 – Процесс шифрования

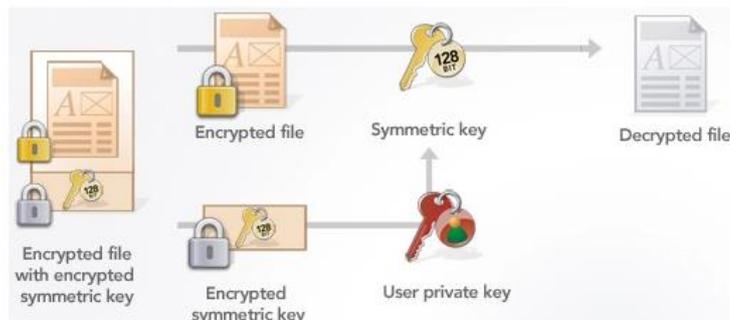


Рисунок 2 – Процесс дешифрования

В случае гибридной схемы симметричный ключ отправляется в зашифрованном виде с помощью асимметричного открытого ключа. Это означает, что только авторизованный получатель с соответствующим закрытым ключом может принять и расшифровать переданный симметричный

ключ. В то же самое время отправитель симметричного ключа использует свой закрытый ключ для создания электронной подписи с помощью алгоритма *ECDSA (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm)*, которая позволяет получателю, используя соответствующий открытый ключ, однозначно его идентифицировать. Основа для организации симметрично зашифрованного канала связи будет заложена только после того, как произошел обмен этими ключами, и они были расшифрованы.

Этот комбинированный способ устраняет следующие недостатки, а именно: небезопасная передача ключа для симметричного шифрования и малая скорость, присущая асимметричной технологии шифрования.

В ходе работы была выбрана эллиптическая кривая *secp256k1*, так как в соответствии с текущим уровнем техники, безопасный уровень криптостойкости при использовании эллиптических кривых достигается при использовании 256-битных ключей.

Результаты шифрования данных различной длины представлены в таблице 1 и рисунке 1.

Таблица 1 – Результаты шифрования и дешифрование данных различной длины

Длина сообщения, Мб.	Длина зашифрованного сообщения, Мб.	Время шифрования, с.	Время дешифрования, с.
0,001	0,002213	0,080	0,053
0,01	0,020213	0,084	0,054
0,1	0,200213	0,085	0,054
1	2,000213	0,11	0,056
2	4,000213	0,12	0,057

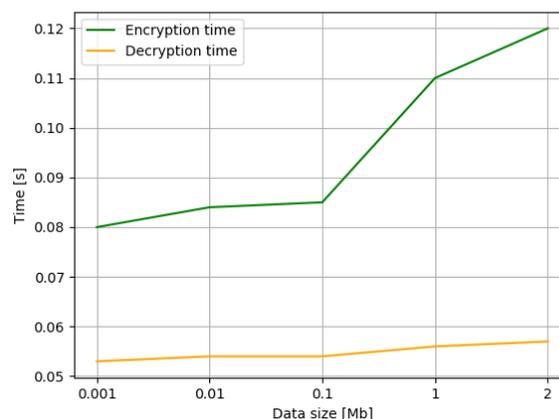
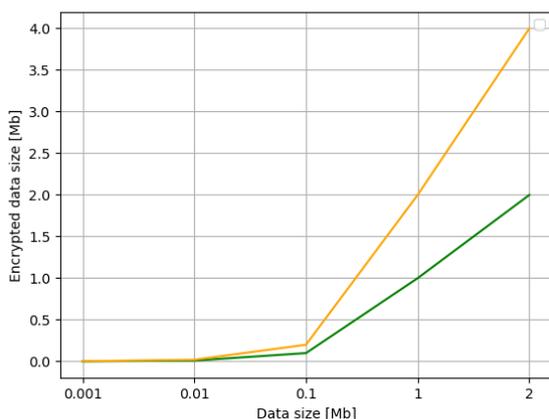


Рисунок 1 - Результаты шифрования и дешифрование данных различной длины

В заключении можно отметить, что шифрование с использованием алгоритмов, основанных на эллиптических кривых, увеличивает размер исходных данных в 2 раза, а время. Шифрование данных требует больше времени, чем дешифрование. Общее затраченное время увеличивается пропорционально изменению длины исходного сообщения.

Главным преимуществом эллиптической криптографии над остальными способами криптографии является малый размер ключа относительно других схем асимметричного шифрования. Это свойство особенно важно при реализации криптографических протоколов в условиях ограниченности ресурсов памяти и производительности. Также следует отметить, что помимо общих алгоритмов арифметики эллиптических кривых, существует много специфических алгоритмов, разработанных для кривых специального вида, которые позволяют добиться еще большего преимущества в эффективности.

**Список использованных источников:**

1. *SEC 2: Recommended Elliptic Curve Domain Parameters.* Daniel R. L. Brown. – NIST, 2010 – 37 с.
2. Болотов А. А., Гашков С. Б., Фролов А. Б. Глава 2. Протоколы на эллиптических кривых // *Элементарное введение в эллиптическую криптографию. Протоколы криптографии на эллиптических кривых.* — М.: КомКнига, 2006. — С. 83—86.
3. *Elliptic Curve Digital Signature Algorithm.* D. Johnson, A. Meneses. – 2000 – 55 с.
4. Elaine Barker, Lily Chen, Allen Roginsky, Miles Smid. *Recommendation for Pair-Wise Key Establishment Schemes Using Discrete Logarithm Cryptography* - <http://nvlpubs.nist.gov/>. — National Institute of Standards and Technology, 2013.

## УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Цариков В.О.

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

Дробот С.В. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация - В докладе представлен учебно-исследовательский комплекс для подготовки специалистов в области систем радиационного контроля и управления для Белорусской АЭС. Использование разработанного комплекса при обучении специалистов будет способствовать повышению эффективности учебного процесса и качеству подготовки специалистов.

В рамках дисциплин «Автоматизированные системы управления технологическими процессами АЭС», «Методы и устройства регистрации ионизирующих излучений» и «Дозиметрия и защита от излучений» был разработан учебно-исследовательский комплекс, предназначенный для исследования методов регистрации ионизирующих излучений и способов защиты от радиации, а также для подготовки специалистов для работы в сфере радиационного контроля. Он позволит организовать выполнение 3-х циклов лабораторных работ по названным дисциплинам фронтальным методом с использованием реально действующего оборудования атомных электростанций.

Структурная схема комплекса представлена на рис. 1. Она включает в себя следующие компоненты:

- Сервер;
- Автоматизированные рабочие места студентов (АРМ 1 – АРМ 8);
- Устройство преобразования протоколов (Шлюз 1 – Шлюз 2);
- Многофункциональный контроллер сигналов нижнего уровня (МФК 1 – МФК 2);
- Имитатор сигналов устройств нижнего уровня;
- Устройства сигнализации (УС 1 – УС 2);
- Блоки детектирования (БД 1 – БД 24);
- Многофункциональное устройство для печати и копирования (МФУ);
- Устройства хранения данных (УХД);
- Коммутатор сигналов с каналом Wi-Fi.

Сервер лаборатории представляет собой персональный компьютер, содержащий серверное программное обеспечение автоматизированной системы радиационного контроля (АСРК), реализованное под операционной системой Linux.

В состав АРМ студентов входят персональный компьютер с клиентским программным обеспечением АСРК, исследуемые устройства детектирования, контрольно-измерительное оборудование для проведения измерений.

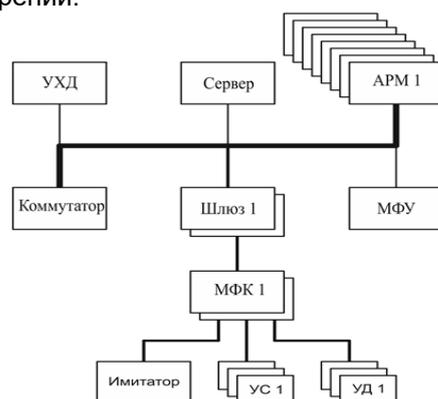


Рисунок 1 - Структурная схема комплекса

Формирование сигналов нижнего уровня производится как с помощью реальных устройств детектирования, так и с помощью имитатора сигналов устройств нижнего уровня. Данные сигналы поступают на многофункциональный контроллер сигналов нижнего уровня для предварительной обработки и передачи на верхний уровень АСРК.

### Список использованных источников:

- [1] Трэвис, Дж. LabVIEW для всех: [пер. с англ.] / Дж. Трэвис, Дж. Кринг. – М.: ДМКПресс, 2011. – 904 с
- [2] Ротач, В. Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов / В.Я. Ротач. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 400 с.

## ВЕБ-СЕРВИС МУЛЬТИССЫЛОК ДЛЯ ДОСТУПА К СОЦИАЛЬНЫМ СЕТЯМ И МЕССЕНДЖЕРАМ

Чагина Е.А.

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

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

В настоящее время все больше людей предпочитают оформлять заказы, узнавать стоимость услуг через интернет. Быстро растущая интернет-аудитория является новым рынком сбыта для компаний различного профиля. Любая продажа начинается с общения, а социальные сети и мессенджеры стали приоритетными каналами связи. Представляемый нами в статье разработанный веб-сервис предоставляет удобный способ связи для клиентов компаний и упрощает процесс коммуникации между ними.

На сегодняшний день практически все люди пользуются мессенджерами и социальными сетями. Использование этих приложений для бизнеса многогранно. С их помощью бренды могут выстраивать коммуникацию с клиентами, делиться контентом и повышать лояльность. При этом не только улучшается качество предоставляемых услуг, но и значительно сокращаются расходы.

Мессенджеры и социальные сети являются отличным инструментом для развития и продвижения бизнеса. Однако, многие компании сталкиваются с такой проблемой, что им приходится выбирать несколько, или даже один, мессенджер или социальную сеть в качестве основного канала связи. Это может отрицательно повлиять на некоторую часть целевой аудитории, так как люди склонны отдавать предпочтения двум или трем каналам связи, и они могут не совпадать с выбором компаний. Данную проблему позволяет решить разработанный веб-сервис мультиссылок для доступа к социальным сетям и мессенджерам. Он предоставляет возможность различным компаниям и предпринимателям объединить все каналы коммуникации с клиентами на одной странице, создавая мультиссылки.

Мультиссылка – это простая страница-визитка с рисунком, коротким описанием, ссылками на социальные сети и мессенджеры, произвольными ссылками. Произвольные ссылки могут вести на портфолио, блог, прайс-лист или собственный сайт. Особенно актуальна мультиссылка в социальной сети Instagram, где в профиле нельзя указать несколько контактов – есть место только для одной ссылки. Такая многофункциональная ссылка позволяет клиентам выбирать удобный для них способ связи с компанией, а компания получает мини-сайт без знаний кода, работы с конструкторами и CMS. На рисунке 1 представлен пример мультиссылки.



Рис. 1 – Пример мультиссылки

Схема действий, чтобы пользоваться сервисом, следующая:

- 1) Регистрация: заполнение формы с полями Email, Имя, Номер телефона.
- 2) Подтверждение регистрации: ввод кода, который высылается на указанный номер телефона, затем переход по ссылке из письма, которое высылается на электронную почту.

3) Создание мультиссылки: необходимо придумать название для страницы;

4) Настройка мультиссылки: можно настроить обложку (цвет, градиент, изображение), аватар (предложенные и пользовательские изображения), подпись (размер, тип и цвет шрифта), заголовки (размер, тип и цвет шрифта), кнопки (название и цвет кнопки, цвет шрифта), состояния (вкл/выкл) элементов мультиссылки.

5) Шеринг мультиссылки: поделиться мультиссылкой можно через социальные сети, QR-код, рекламные рассылки.

Основными функциями разработанного программного средства являются:

- авторизация для контроля доступа к ресурсам сервиса;
- редактирование данных аккаунта пользователя (контактные данные, пароль);
- управление мультиссылкой (создание, настройка и удаление);
- просмотр статистики страницы;
- шеринг мультиссылки;
- оформление онлайн-платежей;
- оформление и отправка электронных сообщений;
- администрирование содержимым сервиса;
- предоставление доступа к базе знаний (набор полезных статей для клиентов сервиса).

Для функционирования веб-сервиса разработана база данных, основные таблицы которой:

- пользователи;
- счета\_пользователей;
- история\_пользовательских\_платежей;
- тарифы;
- виды\_тарифов;
- методы\_платежей;
- мультиссылки;
- ссылки;
- типы\_ссылок;
- блоки\_мультиссылок;
- типы\_блоков\_мультиссылок;
- аватары;
- обложки;
- типы\_обложек;
- статьи;
- категории\_статей.

При создании программного средства были использованы следующие средства разработки: интегрированная среда разработки JetBrains PhpStorm, фреймворк Yii2, языки программирования PHP и JavaScript, язык управления реляционными базами данных SQL, реляционная система управления базами данных MySQL, язык разметки документов HTML, язык стилей CSS, технология AJAX, JavaScript-библиотека jQuery.

Веб-сервис мультиссылок для доступа к социальным сетям и мессенджерам значительно упрощает процесс коммуникации между компаниями и их клиентами, а также является уникальным и эффективным каналом маркетингового продвижения для компаний. Основным преимуществом данного программного средства перед его аналогами является невысокая степень ограничения функциональности сервиса на бесплатной основе.

**Список использованных источников:**

1. Как использовать мессенджеры в бизнесе // Mssg.me [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://mssg.me/ru/blog/kak-ispolzovat-messendzhery-v-biznese>. – Дата доступа : 25.03.2020.

2. Как использовать мессенджеры в маркетинге // Энциклопедия маркетинга [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.marketing.spb.ru/lib-comm/dm/messenger.htm>. – Дата доступа : 25.03.2020.

3. Как создать сайт-визитку самому, бесплатно, без конструкторов и CMS // TexTerra [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://texterra.ru/blog/kak-sozdat-sayt-vizitku-samomu-besplatno-bez-konstruktorov-i-cms.html>. – Дата доступа : 25.03.2020.

4. Малявин, В. В. Мессенджеры как актуальный канал маркетингового продвижения / В. В. Малявин // Молодой ученый. – 2018. – № 10 (196). – С. 104-106.

## ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ УЧЕТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ СОТРУДНИКОВ ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Шопик Е.Р.

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

Виничук О.Н., Славинская О.В. – канд. пед. наук, доцент

Система учета рабочего времени – это комплекс программно-аппаратных средств для контроля, учета и оценки эффективности работы персонала в рабочее время. Система учета рабочего времени является необходимым инструментом для построения максимально эффективной работы персонала. Статья описывает разработанное нами веб-приложение для учета рабочего времени сотрудников при помощи нейронных сетей.

Исследования британских ученых [2] показали, что сотрудники крупных и средних компаний тратят от 30% до 50% рабочего времени на посторонние занятия, не связанные с работой. Для решения этой проблемы созданы сотни программ учета рабочего времени. Среди них популярны системы автоматической слежки. С их помощью отслеживаются запуск приложений на компьютере, перехватываются обмен сообщениями в мессенджерах и нажатия клавиш при наборе текста. Используются решения, делающие снимки рабочего стола (скриншоты) или даже производящие непрерывную видеозапись изображений на дисплее.

Работодатель, желающий использовать программы слежки для учета рабочего времени сотрудников, обязан получить письменное согласие каждого работника. Поэтому некоторые компании используют личные и коллективные системы добровольного учета времени (тайм-трекеры), но внедрение системы автоматического учета времени позволяет достичь выполнения важной цели – получение точной информации о нахождении сотрудника на рабочем месте, уменьшая вероятность подлога.

Основным назначением разработанного нами веб-приложения учета рабочего времени сотрудников является построение графика рабочих смен сотрудников путем распознавания фотографий лиц с рабочих мест при помощи нейронных сетей.

Разработанное веб-приложение учета рабочего времени сотрудников позволяет решить следующие задачи:

- автоматическая регистрация времени прихода и ухода сотрудников;
- возможность ведения подробной отчетности по каждому сотруднику;
- формирование отчетности по различным параметрам;
- начисление заработной платы с учетом времени работы сотрудников;
- упрощение ведения рабочей отчетности.

Входными данными для разработанного нами программного средства являются списки сотрудников и фотографии с рабочих мест.

Выходными данными нашего программного средства являются графики для визуализации рабочих смен сотрудников.

При создании программного средства были использованы следующие средства разработки:

- Microsoft Visual Studio 2019;
- язык программирования C#;
- JavaScript-библиотека React;
- язык управления базами данных SQL.

Основными преимуществами данного веб-приложения являются:

- автоматизация учета рабочего времени без необходимости использования дополнительного программного обеспечения сотрудниками;
- использование фотофиксации, что позволяет уменьшить вероятность подлога.

Разработанное веб-приложение для учета рабочего времени позволяет наладить автоматизированный учет рабочего времени сотрудников и повысить дисциплину, а дисциплинированный сотрудник на рабочем месте будет максимально вовлечен в трудовой процесс, и, следовательно, использовать весь свой интеллектуальный ресурс для производства товаров или услуг, повышая прибыль и улучшая имидж компании.

### Список использованных источников:

1. Автоматизированный учет рабочего времени сотрудников // Searchinform [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://searchinform.ru/kontrol-sotrudnikov/uchet-rabocheho-vremeni/avtomatizirovannyj-uchet-rabocheho-vremeni-sotrudnikov/>.
2. Нейросеть для распознавания лиц // Findface [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://findface.pro/blog/neironnye-seti-i-raspoznavanie-obrazov-chast-2/>.

## СИНТЕЗ ТРАНСФОРМИРУЮЩИХ ФИЛЬТРОВ ВЫСШИХ ПОРЯДКОВ ДИАПАЗОНА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ

Юркин Ю.Т.

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

Курочкин А.Е. – к.т.н., доцент

Проблема согласования неравных сопротивлений решается использованием трансформирующего фильтра диапазона сверхвысоких частот. Описывается процедура алгоритма синтеза согласующего микроволнового фильтра низких частот.

Развитие современных систем беспроводной связи, работающих в сверхвысокочастотном (СВЧ) диапазоне частот, приводит к повышению требований к характеристикам отдельных составляющих системы, в том числе, и к основным компонентам СВЧ аппаратуры – СВЧ согласующим цепям.

Важной частью при разработке устройств СВЧ является согласование импедансов входной (источника сигнала) и выходной (нагрузки) цепей. Оно обеспечивает оптимальное построение устройств СВЧ. Данное согласование производится с помощью трансформирующего фильтра диапазона СВЧ.

Синтез трансформирующего фильтра диапазона СВЧ выполняется в два этапа [1]. На первом этапе осуществляется структурный синтез. Его задачей являлся выбор состава и структуры фильтра СВЧ. На втором этапе осуществляется параметрический синтез, задачей которого является определение значений параметров конструктивных элементов выбранной структуры, обеспечивающих заданную частотную характеристику. Повышение порядка трансформирующего фильтра обеспечивает улучшение АЧХ, но и усложняет его конструктивную реализацию.

Для анализа способов реализации трансформирующих фильтров СВЧ использовалась процедура синтеза широкополосной согласующей цепи методом низкочастотного прототипа на базе ФНЧ. Характеристика затухания от частоты фильтра-прототипа представлена на рисунке 1.

На первом этапе был произведен синтез квазиполосового фильтра нижних частот по следующему алгоритму:

- 1) выбор исходного фильтра-прототипа (в данном случае ФНЧ);
- 2) транспонирование частоты;
- 3) определение полюсов передаточной функции фильтра-прототипа;
- 4) определение полюсов передаточной функции согласующего фильтра;
- 5) формирование выражения для коэффициента отражения согласующего фильтра;
- 6) формирование выражения для входного (или выходного) сопротивления согласующего фильтра;
- 7) синтез лестничной цепи по методу Кауэра;
- 8) денормирование значений элементов лестничной цепи.

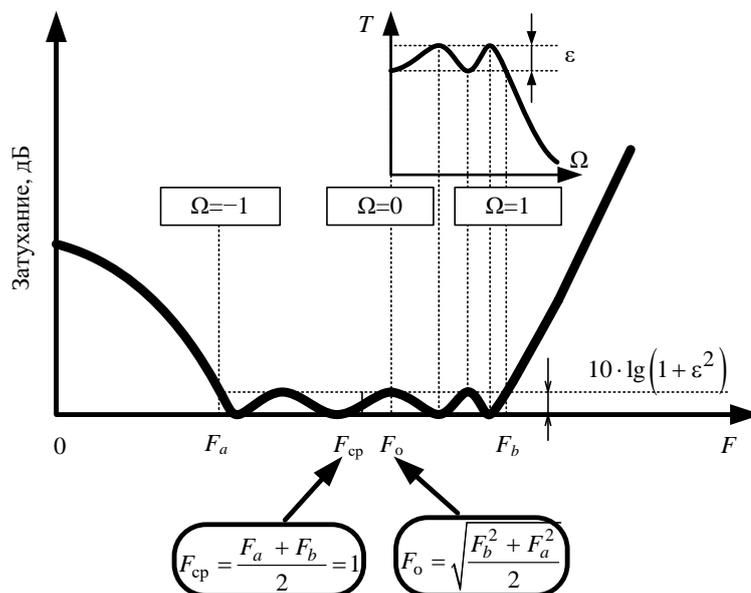


Рисунок 1 – Характеристика затухания квазиполосового фильтра нижних частот

С помощью, интерактивного скрипта Matching\_BigNumber.html [2] были получены значения сосредоточенных элементов фильтра-прототипа.

На втором этапе, вначале производились преобразования схемы фильтра-прототипа в соответствующие эквивалентные схемы (с введением идеальных инверторов [3], с использованием тождеств Куроды [4] и т.д.), позволяющие упростить дальнейшие расчеты, а затем уже непосредственно выполнялись преобразования сосредоточенных элементов фильтра-прототипа в эквивалентные сопротивления распределенных элементов.

На третьем этапе, производился пересчет эквивалентных сопротивлений распределенных элементов в физические размеры, с учетом выбора определенной топологии трансформирующего фильтра СВЧ. Данный этап сопряжен с большой сложностью, так как требует работать сразу с большим количеством связанных переменных (толщиной подложки, шириной проводника, волновым сопротивлением отрезка, электрической длиной отрезка длинной линии и т.д.). Но программное обеспечение NI AWR Design Environment [5] (CST Microwave Studio [6] и д.р.) на данном этапе является ценным инструментом разработчика.

Затем были получены топологии трансформирующих фильтров диапазона СВЧ ( $f_{cp.} = 5$  ГГц;  $R_s = 50$  Ом;  $R_l = 10$  Ом;  $n = 5$ ;  $\varepsilon_r = 9,8$ ), которые представлены на рисунках 2 и 3.



Рисунок 2 – Структура 1 топологии ступенчатого трансформирующего фильтра диапазона СВЧ



Рисунок 3 – Структура 2 топологии ступенчатого трансформирующего фильтра диапазона СВЧ

В заключение, представленные выше структуры топологий ступенчатых трансформирующих фильтров в своей реализации имеют узкие геометрические размеры, имеют неплохие показатели коэффициентов передачи и отражения, но требуют обязательной оптимизации параметров схемы.

Увеличение порядка низкочастотного фильтра-прототипа до  $n = 20$  и расчета его элементов, с последующим преобразованием используя тождества Куроды, показало большое увеличение операций вычислений на каждом шаге, но сами вычисления являются простыми. В результате, количество преобразованных элементов возросло до 40. Данный метод синтеза позволяет получать трансформирующие фильтры на оптимальных шлейфах, однако, как было замечено выше, для вычислений высоких порядков фильтров требуется дополнительная вычислительная мощность.

#### Список использованных источников:

1. Никольский В.В. Автоматизированное проектирование устройств СВЧ / В.В. Никольский, В.П. Орлов, В.Г. Феоктистов и др. – М.: Радио и связь, 1982. – 272 с.
2. Курочкин А.Е. Разработка компьютерной JavaScript программы для синтеза квазиполосовых трансформирующих фильтров: Доклад / А.Е. Курочкин. – Минск: БГУИР, 2018. – 8 с.
3. Тюрнев В. В. Теория цепей СВЧ: Учеб. пособие / В. В. Тюрнев. – Красноярск: ИПЦ КГТУ (рукопись изд.2), 2006, –199 с.
4. Grebennikov A., Kumar N., Yarman S.B. Broadband RF and Microwave Amplifiers / CRC Press. 2016. – 743 p.
5. Разевиг В.Д. Проектирование СВЧ устройств с помощью Micro-wave Office. / В.Д. Разевиг, Ю.В. Потапов, А.А. Курушин. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 496 с.
6. Потапов Ю.В. СВЧ моделирование с помощью программы CST Microwave Studio / Ю.В. Потапов. – EDA Express, 2000. – 3 с.

## МЕТОДЫ СИНТЕЗА СОГЛАСУЮЩИХ ЦЕПЕЙ

Юркин Ю.Т., Гузак И.С.

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

Курочкин А.Е. – к.т.н., доцент

В данной работе рассмотрены задачи и основные методы синтеза согласующих цепей.

Согласующие цепи могут быть выполнены на пассивных сосредоточенных  $RLC$ -элементах (сосредоточенные цепи), на распределенных элементах (распределенные цепи) и на элементах собранных из этих комбинаций (сосредоточенно-распределенные цепи). Четырехполюсник согласующей цепи, изображенный на рисунке 1, должен обеспечивать передачу максимальной мощности от генератора  $V_S(\omega)$  к нагрузке  $Z_L(\omega)$  в требуемой полосе частот от  $\omega_D$  до  $\omega_U$ .



Рисунок 1 – Четырехполюсник согласующей цепи

При синтезе согласующей цепи нужно различать две задачи:

- 1) *Задача одностороннего согласования* (англ. Simple Single Matching Problems) – когда сопротивление генератора (частотно-независимое сопротивление  $R_S$ ) активное, а сопротивление нагрузки комплексное (частотно-зависимый импеданс  $Z_L(\omega)$ );
- 2) *Задача двустороннего согласования* (англ. Simple Double Matching Problems) – когда импедансы генератора и нагрузки комплексные (частотно-зависимые сопротивления  $Z_S(\omega)$  и  $Z_L(\omega)$  соответственно).

В случае обеспечения передачи мощности сигнала от генератора к нагрузке в узком диапазоне или на единственной частоте, то используется *задача узкополосного согласования* ( $\omega_U/\omega_D < 0,2$ ), во всех остальных случаях используется *задача широкополосного согласования* ( $\omega_U/\omega_D \geq 0,2$ ) [1].

На современном этапе синтез согласующих цепей осуществляется следующими методами:

1. *Классическим методом*, использующим основы аналитической теории предложенной Фано-Юлом [2]. Решение задачи синтеза классическими методами реализуется через аппроксимацию частотных характеристик синтезируемой цепи и с последующей их реализацией. Однако, данные методы связаны со значительными трудностями вычислений и в них отсутствует контроль параметров синтезируемой цепи.

2. *Численным методом*, использующим специальные численные методы оптимизации и возможности современных вычислительных средств. Использование параметрической оптимизации [3] обусловлено простотой и универсальностью данного метода, но недостатком является зависимость от выбора начальных значений и алгоритма параметрической оптимизации. Методами «реальной частоты» [4] получается решать задачи двустороннего согласования, но они так же зависят от выбора начальных значений, в них отсутствует контроль параметров синтезируемой цепи, к тому же возникают сложности использования процедур нелинейного программирования. Методы систематического поиска [5] позволяют контролировать значения элементов при синтезе, учесть потери и паразитные параметры, не критичное отношение к выбору начальных значений, но расчет может проводиться только на одной частоте и экспоненциальная зависимость времени расчета СЦ от количества элементов. В структурно-параметрическом методе [6] на основе генетического алгоритма не требуется осуществлять выбор начальных значений, но нет возможности контролировать структуру СЦ, требуется большой запас вычислительной мощности.

3. *Графоаналитическим методом*, использующим графическое представление на круговой диаграмме Вольперта-Смита [7] характеристик линии передачи. Данный метод обладает хорошей наглядностью и прост для простых СЦ, но расчет производится только на одной частоте, а в случае, расчета широкополосных СЦ возрастает трудоемкость.

4. Методом низкочастотного прототипа, в котором прямоугольную характеристику ФНЧ аппроксимируют некоторой функцией, затем аппроксимирующую функцию переводят на высокие частоты. Данный метод, в основном, применяется для цепей симметричной АЧХ.

Стоит помнить, что при согласовании в широкой полосе необходимо избегать ситуации с полным согласованием на какой-либо одной частоте полосы пропускания, так как при этом на других частотах полосы пропускания может возникнуть недопустимо большой коэффициент отражения [8].

Как правило, при синтезе широкополосных согласующих цепей разработчик должен находить компромисс между двумя противоречивыми требованиями, а именно между шириной полосы пропускания (рабочим диапазоном частот) и минимальным (предельным) коэффициентом отражения. Однако, необходимые требования уже определены критерием Боде-Фано [9]:

$$\int_0^{\infty} \ln \frac{1}{|\Gamma(\omega)|} d\omega \leq \frac{\pi}{\tau}, \quad (1)$$

где  $\Gamma(\omega)$  – коэффициент отражения на входе;  $\tau = RC = L/R$ .

Для согласования источника сигнала с нагрузкой состоящей из активного сопротивления и одного  $L$  или  $C$ , с помощью цепи без потерь необходимо выполнение условия (1).

На рисунках 2а) и 2б) графически показана, что максимально возможная полоса согласования определяется допустимым значением коэффициента отражения ( $|\Gamma|_{\max}$ ).

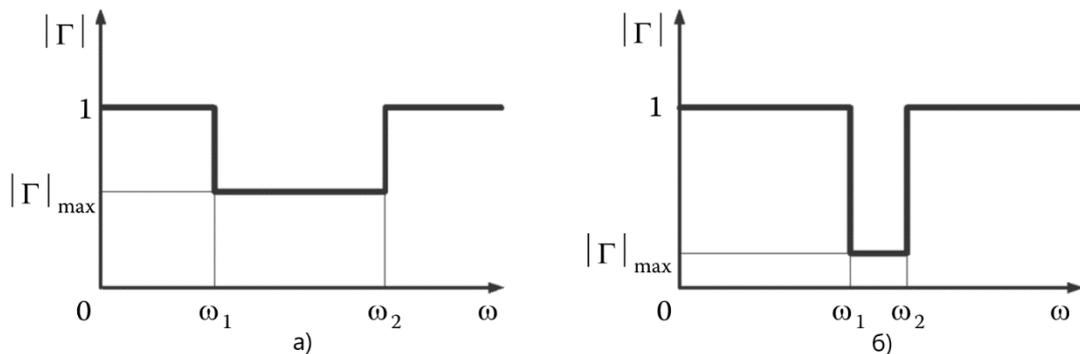


Рисунок 2 – Идеальные согласующие фильтры с прямоугольной характеристикой с а) широкой и б) узкой полосами пропускания

Чем шире полоса частот ( $\omega_1, \omega_2$ ), тем хуже (больше) коэффициент отражения. При постоянном значении  $|\Gamma|_{\max}$  и увеличении постоянной времени  $\tau$  полоса согласования уменьшается, а если полоса согласования не изменяется (постоянна), то необходимо увеличить значение коэффициента отражения в полосе согласования.

**Список использованных источников:**

1. Design of ultra wideband power transfer networks / Binboga Siddik Yarman. // Wiley, 2010. – 774 p.
2. A new theory of broad-band matching / D.C. Youla // IEEE transactions on circuit theory. – 1964. – Vol. CT-11. – p.30-50.
3. Computer Aided Double Matching via Parametric Representation of Brune Functions / B.S. Yarman, A. Fettweis // IEEE Trans. on CAS. – 1990. – т. 37, № 2, pp. 212-222.
4. Stable broadband microwave amplifier design using the simplified real frequency technique / W.L. Jung, J.H. Chiu // IEEE Trans. – 1993. – Vol. MTT-41. – №2. – pp. 336 - 339.
5. Carlin H.J., Amstutz P., On optimum broad-band matching // IEEE Trans. – 1981. - Vol. CAS-28. - № 5. - P. 401-405.
6. Grimbey J. B., Automatic analogue network synthesis using genetic algorithms // Proc. of IEE/IEEE Intl. Conf. on Gen. Alg. in Engg. Sys.: Inn. and Appl. – 1995. – pp. 53-58.
7. Курушин, А.А. Проектирование СВЧ устройств с использованием электронной диаграммы Смита / А.А. Курушин; под ред. д.т.н., проф. Б.Л. Когана. – М.: изд. МЭИ, 2008. – 120 с.
8. Кирульчук В.Б. Основы проектирования СВЧ интегральных схем: учеб.-метод. пособие. В 2 ч. Ч. 2: Элементная база СВЧ интегральных схем / В.Б. Кирульчук, Д.В. Лихачевский. – Минск: БГУИР, 2012. – 308 с.
9. Grebennikov A., Kumar N., Yarman S.B. Broadband RF and Microwave Amplifiers / CRC Press. 2016. – 743 p.

## АНАЛИЗ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТРАНЗИСТОРНЫХ АВТОГЕНЕРАТОРОВ

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

Яковчук А.С.

Титович Н.А. – к.т.н., доцент

В работе рассматривается метод расчета уровней гармонических составляющих транзисторных автогенераторов (АГ), колебания в которых описываются дифференциальным уравнением с малым положительным параметром в правой части. Приведены уравнения для определения уровней гармоник при аппроксимации характеристики транзистора степенным полиномом. Предложено использовать более точную расчетно-экспериментальную методику для оценки уровней гармонических составляющих.

Неотъемлемой частью возбудителей передатчиков, гетеродинов приемников, измерительной аппаратуры, являются генераторы колебаний. При проектировании схем генераторов требуется принимать меры по подавлению гармонических составляющих. Для более успешного решения этой задачи необходимо проводить оценку уровней гармоник, выявлять их зависимость от параметров схемы и активного элемента. Это позволит в значительной мере упростить решение вопроса по их снижению. При расчете уровней гармонических составляющих удобно пользоваться методом медленно меняющихся амплитуд, который имеет достаточно высокую точность и позволяет понизить порядок нелинейного дифференциального уравнения, описывающего колебательный процесс в автогенераторе (АГ), до второго. Анализ ряда схем транзисторных АГ ВЧ и СВЧ диапазона показал, что колебания в них можно описать уравнением с малым положительным параметром в правой части [1]. С учетом того, что любую из этих схем можно представить эквивалентной трехточечной схемой, это уравнение имеет вид

$$\frac{d^2 u}{d\tau^2} + u = \varepsilon \left\{ Gu - \left[ Df'(u) + 1 \right] \frac{du}{d\tau} \right\}, \quad (1)$$

где  $u$  - переменное напряжение между эмиттером и базой;  $\tau = \omega_0^{-1} t$  - частота колебаний;  $Q$  - добротность контура;  $D = \frac{D_{21} R_k}{L_k (1 + K)}$ ;  $\alpha$  - коэффициент передачи транзистора по току в схеме с общей базой;  $r = L_k / (C_k R_k)$ ;  $C_k$ ,  $R_k$  и  $L_k$  - включенные параллельно эквивалентные емкость, сопротивление и индуктивность колебательного контура между коллектором и базой [1];  $K$  - коэффициент обратной связи АГ;  $G = \delta/d + C_1 / [dC_k / (1 + K)]$  - для емкостной и  $G = \delta/d + L_k / [dL_1 / (1 + K)]$  - для индуктивной трехточечной схемы;  $\delta = \omega_0^2 / \omega^2 - 1$  - относительная расстройка контура АГ;  $\omega_0 = 1 / \sqrt{L_k C_k}$  - резонансная частота контура между коллектором и базой;  $L_1$  и  $C_1$  - эквивалентные индуктивность и емкость между коллектором и эмиттером;  $f(u)$  - нелинейная зависимость тока активного элемента от входного напряжения. Для АГ с индуктивной обратной связью на полевом транзисторе  $G = \delta/d$ ,  $D = -M / (rC_k)$ , где  $M$  - значение взаимоиנדуктивности цепи обратной связи [1].

Анализ уравнений, полученных для различных схем автогенераторов показывает, что все они имеют подобный вид и отличаются только коэффициентом, в правой части который зависит от параметров схемы и характеристик активного элемента.

Достоверность расчетной оценки во многом определяется точностью аппроксимации зависимости тока коллектора (стока) от уровня входного напряжения (между базой и эмиттером или затвором и истоком). Разработаны машинные программы, которые позволяют достаточно точно описать эту зависимость для любого активного элемента степенным полиномом вида  $f(u) = \sum_{n=0}^k (\alpha_n U^n)$ , где  $\alpha_n$  - коэффициенты аппроксимации.

Решение уравнения (1) с использованием методики, описанной в [2], и данных видов аппроксимации позволяет получить выражения для уровней гармонических составляющих, которые в общем виде можно записать как

$$a_n = \frac{\varepsilon D n \alpha_n 2^{1-n}}{n^2 - 1} \quad (2)$$

где  $a$  - амплитуда основного колебания АГ определяется как

$$a = \left( \frac{-3\alpha}{5\alpha} - \sqrt{\frac{9\alpha_3^2}{25\alpha_5^2} - \frac{8\left(\alpha - \frac{1}{D}\right)}{5\alpha_5}} \right)^{1/2} \quad (3)$$

Точную аппроксимацию нелинейной характеристики транзистора дает также экспоненциальный полином, когда ток активного элемента представляется суммой экспонент.

С целью проверки предлагаемой методики проведен анализ схемы СВЧ автогенератора с общей базой, с частотой 5,815 ГГц, уровни гармонических составляющих которого были ранее измерены. Результаты расчетов достаточно хорошо коррелируются с данными экспериментов.

Определения гармоник автогенераторов с использованием метода медленно меняющихся амплитуд требует достаточно полной информации о параметрах схемы генератора, его активного элемента. Кроме того, значения многих параметров изменяются при настройке схемы. Из-за недостатка исходных данных приходится делать ряд допущений, что непременно снижает точность расчетов.

Более простым и точным представляется расчетно-экспериментальная методика оценки уровней гармонических составляющих, основанная на использовании аналитических выражений метода медленно меняющихся амплитуд и несложных экспериментальных исследованиях. Из уравнения (3) несложно определить коэффициент  $D$

$$D = \frac{1}{\alpha_1 + \frac{3}{4}\alpha_3\alpha^2 + \frac{5}{8}\alpha_5\alpha^4} \quad (4)$$

который зависит от параметров схемы АГ и его активного элемента и для каждой схемы имеет свое конкретное значение. Значение малого положительного параметра для всех схем равно или близко к значению затухания

генератора  $d$ . Известно, что значение затухания  $d = \frac{1}{Q}$ , где  $Q$ , - добротность колебательной системы, которую

можно легко определить экспериментально как  $Q = \frac{f}{2\Delta f}$ , где  $f$  - частота основного колебания, а  $2\Delta f$  - полоса

пропускания контура. Суть методики заключается в определении значений добротности  $Q$  и амплитуды основного колебания  $a$ , а также точной аппроксимации нелинейной характеристики транзистора. Достоинство его в том, что для расчета уровней гармоник не требуется большого числа исходных данных. Очевидно, что определение значений  $Q$  и  $a$  является простой задачей. Точность расчетов определяется качеством аппроксимации нелинейной характеристики. Очевидно, что она выше, чем в аналитическом методе, так как расчетно-экспериментальный метод исключает принятие ряда допущений.

Из вышеизложенного можно предположить, что полученные выражения и предложенные методики оценки уровней гармонических составляющих могут быть использованы не только для транзисторных АГ, но и для генераторов на других активных элементах, так как любой из них может быть представлен эквивалентной трехточечной схемой, а колебательный процесс в нем описан уравнением вида (1).

Список использованных источников:

1. Титович Н.А. Расчет уровней гармонических составляющих транзисторных автогенераторов широкого частотного диапазона// Радиотехника и электроника. -Мн.: Выш.шк., 1989. -Вып.19. -С.123-127.
2. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. -М.: Наука, 1974. 504 с.

## RFID-СИСТЕМЫ УВЧ-ДИАПАЗОНА

Ярошук Е.В.

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

Кирильчук В.Б. – к.т.н., доцент

Использование сети Интернет позволяет осуществить постоянный доступ к информации от самых разнообразных источников. Во многих случаях информация описывает состояние реальных физических объектов и событий. Серьезной проблемой до сих пор является преобразование этой информации из одной формы в другую. Очевидный способ решения этой проблемы заключается в использовании ручного труда – человек должен наблюдать и записывать информацию. Такой способ преобразования информации не только неэффективен, но и приводит к ошибкам, неточностям. Одним из наиболее осуществимых и возможных решений проблемы преобразования информации является использование технологии радиочастотной идентификации (*RFID*).

Широкое внедрение и облуживание систем на основе *RFID*-технологий предполагает подготовку квалифицированных инженерных кадров, способных проектировать, изготавливать и эксплуатировать такие системы. Для повышения эффективности практической подготовки инженерно-технического персонала в сфере *RFID*-технологий необходимо соответствующее технологическое оборудование, реализация которого предполагается в виде разрабатываемого учебного аппаратно-программного комплекса (УАПК).

Чувствительность метки *RFID* – минимальный уровень мощности сигнала от считывателя в местоположение метки *RFID*, при котором она должна быть доступна для чтения и записи. Дальность работы метки *RFID* – максимальное расстояние, на котором информация метки *RFID* может быть прочитана или записана для условий свободного пространства. Это понятная характеристика, которая может быть непосредственно измерена, и в результате одна из обычно используемых при аттестации меток *RFID*.

Для пассивных УВЧ системы *RFID*, максимальная дальность работы в настоящее время ограничивается дальность прямого канала, и таким образом, дальность работы метки *RFID* совпадает с дальность прямого канала связи.

Связь чувствительности  $P_{tag}$  и дальность  $r_{tag}$  метки для свободного пространства осуществляется по формуле:

$$P_{tag} = EIRP \left( \frac{\lambda}{4\pi r_{tag}} \right)^2,$$

где  $\lambda$  – длина волны;

$EIRP$  – эквивалентная изотропно-излучаемая мощность.

При фиксированном расстоянии между считывателем и меткой в условиях свободного пространства чувствительность и дальность чтения метки могут быть рассчитаны измеренной величины минимально необходимой мощности  $P_{min}$  как

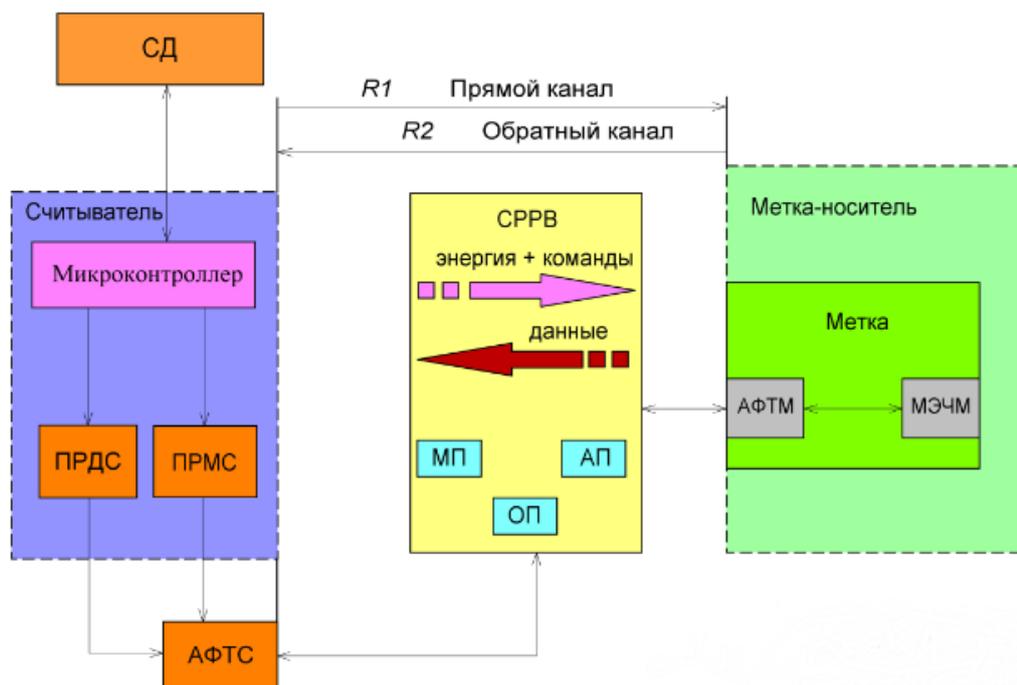
$$P_{tag} = P_{min} G_t \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2,$$

$$r_{tag} = d \sqrt{\frac{EIRP}{P_{min} G_t}},$$

где  $d$  – расстояние до метки *RFID*;

$G_t$  – коэффициент усиления передающей антенны считывателя.

В общем виде технология *RFID* реализуется в виде системы, состоящей из одной или нескольких базовых станций или считывателей, называемых также ридерами или интеррогаторами, одной или большего числа радиочастотных меток или транспондеров, именуемых иногда тегами и системного контроллера или системного диспетчера. На рисунке 1 показана конфигурация пассивной *RFID*-системы.



Конфигурация пассивной RFID-системы

где

- СРРВ – среда распространения радиоволн;
- ПРДС – передатчик считывателя.
- ПРМС – приёмник считывателя
- АФТС – антенно-фидерный тракт считывателя
- МП – местные предметы
- АП – активные помехи
- ОП – отражающие поверхности
- АФТМ – антенно-фидерный тракт метки
- МЭЧМ – микроэлектронный чип метки
- СД – системный диспетчер

Считыватель передает модулированный сигнал несущего колебания в сторону метки. В транспондере происходит формирование постоянного напряжения питания из энергии несущего колебания, также выделяется сигнал команд считывателя, содержащихся в амплитудно-модулированных спектральных составляющих поля канала связи *Downlink* (от считывателя к метке). В канале связи *Uplink* (от метки к считывателю) информация передается посредством модуляции обратного рассеяния. При этом считыватель излучает немодулированное колебание несущей частоты.

Электронный модулятор, входящий состав микрочипа метки, изменяет импеданс нагрузки антенны метки, в связи, с чем изменяются отражательные свойства антенны метки, и формируется так называемая модуляция обратного рассеяния несущего колебания считывателя, представляющую собой комбинированную амплитудно-фазовую модуляцию поля.

В приемнике считывателя осуществляется когерентная демодуляция (детектирование) отраженного меткой сигнала, что повышает чувствительность радиоприемного тракта.

Индуктивная и емкостная связь использует ближние поля соединительного элемента, то есть катушку и конденсатор, соответственно. Природа ближних полей ограничивает область считывания приблизительно размером с соединительный элемент.

**Список использованных источников:**

10. Шарфельд, Т. Системы RFID низкой стоимости. / Т. Шарфельд // Классификация систем RFID. Протоколы команд. – 2006. – №1. – С. 9-17, 122-135.
11. Жуков, И. Ю., Михайлов Д.М., Стариковский А.В. Усовершенствованный протокол аутентификации бюджетных RFID-меток./Спецтехника и связь. / И. Жуков // – 2012. – С. 25-27.
12. Swamy, G., and S. Sarma, Components of the RFID System, / – 2003. – С. 133-200.

## СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ СПЕЦИАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Денис А.А.

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

Дворникова Т.Н. – магистр техн. наук

Современные печатные платы содержат сложную элементную базу с плотной компоновкой. Поиск неполадки, при отсутствии визуальных проявлений неисправности, может затянуться на продолжительное время. Целью является разработка комбинированной системы диагностики специальной аппаратуры, которая позволит делать вывод о корректности функционирования печатного узла и, в случае отклонений, с высокой точностью локализовать неисправность, тем самым увеличивая скорость восстановления работоспособности объекта технического ремонта.

Трудности технической диагностики, как правило, появляются не из-за недостатка необходимой информации, а из-за отсутствия соответствующих объективных методов ее структуризации, выявления наиболее значимых и существенных признаков того или иного вида неисправности.

Сложность задачи диагностики технического изделия состоит в невозможности построения четкого и однозначного алгоритма поиска неисправности для всех изделий электронной техники.

В диагностике технических систем нередко проявляются дефекты, при которых связь между признаками и причинами неисправностей носит неоднозначный характер.

Анализ существующих методов диагностики технических устройств говорит о том, что существует необходимость разработки комплексной универсальной диагностической системы, позволяющей быстро и с высокой точностью локализовать неисправности.

Система диагностики печатных узлов специальной аппаратуры, изображенная на рисунке 1, основана на применении искусственных нейронных сетей, которые при оценке состояния объекта технического ремонта передают диагностическую информацию оператору или системе управления.

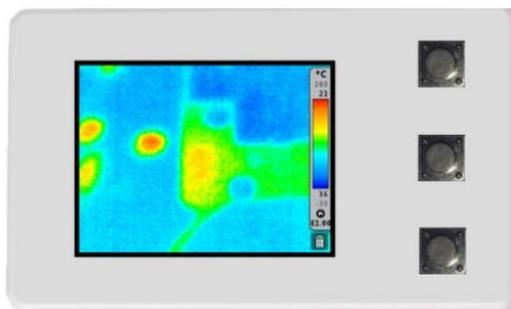


Рисунок 1 – Система диагностики печатных узлов специальной аппаратуры

Как правило, неисправность каждого вида связана со специфическим изменением характеристик изделия, свойственным только этой неисправности.

На основании экспертного анализа и статистического материала формируется электронная база, содержащая в себе множество различных состояний объекта технического ремонта, отвечающих нормальным и предельным состояниям, и оценить степень влияния информационного параметра в каждой точке на итоговую работоспособность изделия.

Для выделения отказа результат обрабатывается таким образом, чтобы стало понятно, какой именно электронный компонент вышел из строя.

Уточнение вида неисправности при каждом диагностировании позволяет выявить некорректные выводы по работоспособности и повысить достоверность системы в целом.

Таким образом, выходные параметры системы диагностики печатных узлов специальной аппаратуры определяют причину и тип неисправности, а также соответствие объекта диагностирования оперативно-функциональному назначению, что позволяет значительно сократить время диагностики.

### Список использованных источников:

1. Кацуба Ю. Н., Власова И.В. Применение искусственных нейронных сетей для диагностирования изделий. *ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ*. 2015; №3 (34) Часть 1, с. 68-70.
2. Ковалев С. Тестирование электронных устройств на производстве: обзор методов, анализ достоинств и недостатков. *Технологии в электронной промышленности*. 2013; №4 (64), с. 66-68.
3. Круглое В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия-Телеком, 2002, 382 с.

## ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СОЗДАНИЯ ОТЧЁТОВ ПО ПРОЕКТАМ ЗАКАЗЧИКОВ

*Нескоромный Н.А.*

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

*Каленкович Е.Н.*

За последнее десятилетие значительно увеличился объем информации в различных сферах жизни человека, которую необходимо анализировать, хранить, обрабатывать. В результате этого возникла необходимость разработки и внедрения приложения по автоматизации создания отчетов по проектам заказчиков.

Созданием отчетов по проектам заказчиков занимается менеджер, курирующий проект со стороны компании. Отчеты различаются в зависимости от типа и размера проекта, но всё равно имеется много данных, которые необходимо собрать, структурировать, перепроверить и отправить заказчику на утверждение.

На каждом этапе подготовки отчёта имеется возможность ошибиться, что может повлечь проблемы, связанные с оплатой труда или же юридические. В связи с этим было принято решение по разработке веб-приложения для автоматизации этого процесса.

На этапе подготовки к разработке были собраны отзывы от всех менеджеров подразделения интернет-разработок №12 и были выявлены следующие требования:

- возможность выбирать список сотрудников для отчёта;
- возможность выбрать проект;
- возможность выбора промежутков времени;
- исключения из отчёта нерабочего времени;
- выбрать тип оплаты заданий, которые должны включаться в отчёт;
- вывод данных как на html-форму, так и в виде excel-файла;
- выбрать тип группировки (по имени проекта / фамилии сотрудника);
- выбрать тип валюты, которая будет установлена для оплаты;
- установка начальных настроек для типа отчёта.

На текущий момент существует одно веб-приложение для автоматизации генерации отчетов, которое позволяет автоматизировать работу менеджера, SEO-специалиста и других профессий [1]. Данное приложение позволяет интегрировать многие веб-сервисы для составления отчетов, но, у разрабатываемого приложения есть очевидные плюсы:

- интеграция с системой учета рабочего времени Jira;
- настроенные шаблоны отчетов;
- динамическое обновление списка проектов и сотрудников, посредством интеграции с Active Directory;
- возможность выбора типа оплаты для фильтрации записей учета рабочего времени;
- возможность выбора валюты при генерации отчетов;
- возможность авторизации в приложении с использованием корпоративного аккаунта;
- возможность добавления в отчёт специалистов, занимающихся продажей из других систем учета контроля времени (другие приложения Jira).
- возможность исключения из отчёта нерабочих записей об учете рабочего времени;
- специализированные виды отчетов.

Для реализации проекта использовались: язык программирования PHP версии 7.2, систему управления реляционными базами данными MySQL версии 5.7, HTML 5, CSS 3, Javascript.

Простейший тип отчёта включает в себя одну страницу, на который для проекта указывается имя проекта, имя задачи, фамилия сотрудника, затраченное время.

В более объемных отчётах используются сложные страницы, с разнообразными условиями, динамическим подсчётом отработанных часов сотрудников по дням, неделям, месяцу, динамическим выделением переработок, установки отдельной цены за 1 час работы каждого сотрудника, подсчёта

итоговой суммы к оплате в выбранной валюте.

Входными данными являются внесенные записи об учете рабочего времени в системе учета времени Jira. Выходными данными являются либо html-текст, либо excel-документа.

На данный момент приложение находится в стадии активного тестирования конечными пользователями, в процессе которого исправляются найденные ошибки, но уже активно используется по назначению.

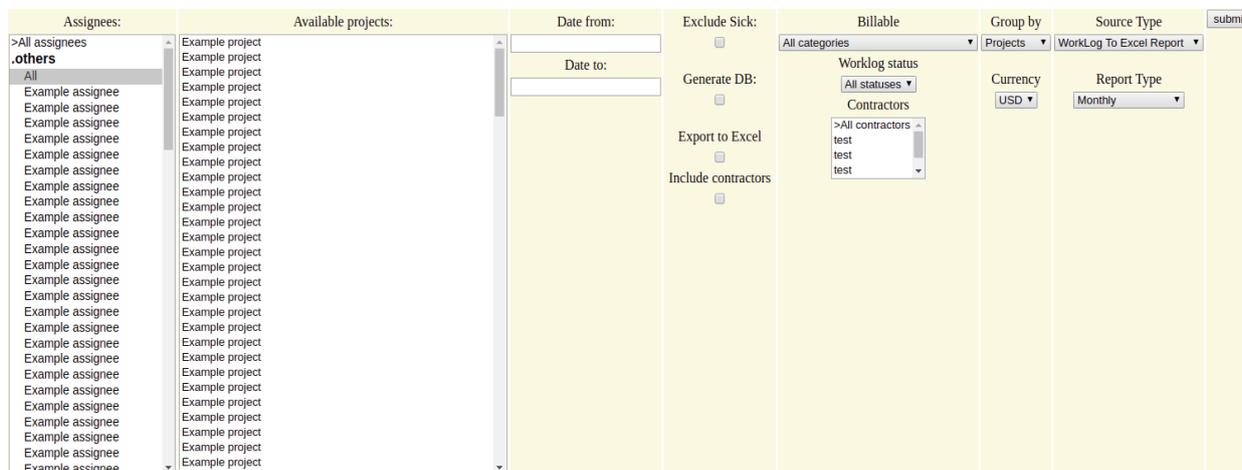


Рисунок 1 – Шаблон формы для конфигурации отчета

**Список использованных источников:**

1. Интернет-приложение для автоматизации генерации отчетов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://reportkey.ru/> – Дата доступа 06.04.2020.
2. MySQL 5.7 Reference Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/> – Дата доступа 24.03.2020.
3. Symfony documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://symfony.com/doc/current/index.html> – Дата доступа 15.03.2020..
4. PHP documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.php.net/docs.php> – Дата доступа 09.03.2020.
5. CSS documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/CSS/Reference> – Дата доступа 24.03.2020.
6. Автоматизированная система учета рабочего времени JIRA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.atlassian.com/ru/software/jira> – Дата доступа 02.03.2020.

## ПОСТРОЕНИЕ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАДИОСЕТИ ТАКТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Хачатурян А.А.

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

Матюшков А.Л.т – к.т.н., доцент

Развитие сетевых моделей организации и ведения боевых действий в сочетании с высокоточным оружием ужесточают требования по оперативности, непрерывности и устойчивости, предъявляемые к информационному обмену в распределенной информационно-управляющей системе (ИУС), охватывающей тактический уровень и оснащаемой современными информационно-телекоммуникационными средствами.

Анализе существующих подходов к построению телекоммуникационных сетей показывает, что наибольший ресурс пропускной способности сети связи выделяется для передачи видеоинформации от оптико-электронных разведывательных средств к ее получателям (элементам комплексов средств автоматизации (КСА)). Для обеспечения непрерывного управления в реальном масштабе времени в тактическом звене целесообразно использование цифровых сетей передачи данных с коммутацией пакетов, построенных с применением модифицированных технологий широкополосного радиодоступа и адаптивных протоколов уровней модели взаимодействия открытых систем (МВОС), учитывающих функционирование средств связи в условиях воздействия ВншДФ.

В качестве основного оборудования перспективных сетей широкополосной радиосвязи (СШРС) ТЗУ целесообразно использование устройств: поддерживающих на сетевом уровне МВОС обмен цифровым потоковым видео между оконечными элементами СШРС по логическим (элементарным) каналам связи со скоростями не ниже 2 Мбит/с; формирующих адаптивные широкополосные каналы связи (ШКС) и зону устойчивой радиосвязи в районе выполнения боевых задач подразделениями ТЗУ; учитывающих применение структуры смешанного типа (рисунок 1) в составе абонентских станций (АУ – абонентских устройств), точек доступа (ЛУ – локальных узлов), образующих локальные подсети (ЛП) и обеспечивающих взаимодействие на канальном уровне, и маршрутизаторов (МУ – магистральных узлов), объединяющих ЛП в единую транспортную составляющую (ТрС) сети и обеспечивающих взаимодействие на сетевом уровне МВОС.

Для осуществления рационального синтеза сети связи ТЗУ целесообразно проведение структурно-параметрической адаптации, позволяющей централизованно преобразовать по определенному алгоритму структуру СШРС с децентрализованным изменением параметров отдельных сетевых узлов.

Процесс синтеза адаптивной сети сводится к независимому проектированию ряда ЛП с учетом их взаимодействия при обмене информацией между средствами разведки и должностными лицами органов управления тактического звена. При реализации механизма структурно-параметрической адаптации целесообразно использование в составе перспективной СШРС ТЗУ магистральной (опорной) подсети, обеспечивающей ситуационно формируемую топологию в условиях воздействия ВншДФ.

В качестве сетевого узла в магистральной подсети (МП) возможно применение универсальной летно-подъемной платформы (БЛА – беспилотного летального аппарата), на которой должна предусматриваться установка оборудования связи. Для описания структуры и функций СШРС применялся агрегативный подход, который в отличие от существующих математических методов моделирования позволяет анализировать на макроуровне с использованием математической логики, графического и теоретико-множественного представления сложные системы.

Основными элементами системы параметров, используемых для построения математической модели СШРС, выбраны матрица СШРС пропускных способностей ШКС ТрС сети, число  $\max N_{\Delta}$  одновременно действующих абонентов на один узел доступа, зона  $S_{\text{СШРС}}$  (площадь) покрытия и допустимое время  $t_{\text{з.доп}}$  обработки (задержки) пакетов сообщений в сетевых элементах. Для оценки эффективности комплексной математической модели СШРС ИУС ТЗУ за показатель выбрана средняя пропускная способность сети:

$$\bar{W}_{\text{СШРС}} = \frac{W_{\text{СШРС}} - \bar{W}_{\text{ДФ}}}{N_{\text{з}}},$$

Показатель позволяет в наибольшей степени оценить качество выполняемых задач сетью связи военного назначения, которые состоят в обеспечении передачи необходимого количества пакетов сообщений фиксированного объема в единицу времени при имеющихся характеристиках телекоммуникационного оборудования.

Смешанный тип структуры СШРС позволяет обеспечить требуемую среднюю пропускную способность (не менее 2 Мбит/с) за счет применения механизма структурно-параметрической адаптации, уменьшающего время обработки (более чем в 2,5 раза) пакетов сообщений в УЭ. По результатам модельных и натурных экспериментов полученные оценки средней пропускной способности сети в зависимости от степени воздействия ВнШДФ для различных типов структур СШРС практически совпадают (не превышают 15 % при высокой степени воздействия ВнШДФ), что подтверждает адекватность разработанной математической модели телекоммуникационной системы

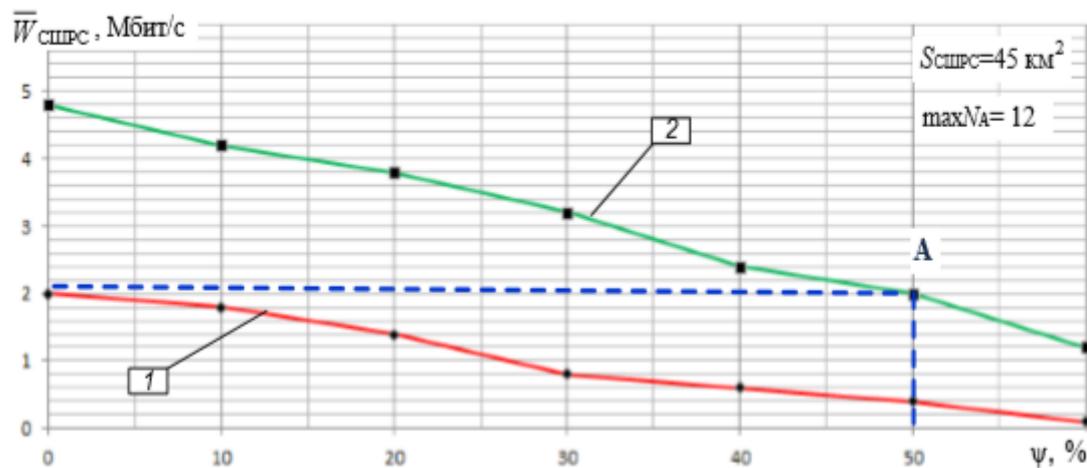


Рисунок 1. График зависимости средней пропускной способности сети связи от степени воздействия ВнШДФ на ТрС СШРС

**Список использованных источников:**

13. Говард В. Джонсон, Мартин Грэхем — Высокоскоростная передача цифровых данных: высший курс черной магии
14. Военный аспект, сетевые войны // Третья мировая сетевая война - Санкт-Петербург: Питер, 2014. - ISBN 978-5-496-01131-0
15. Анеликова Л.А. Упражнения по текстовому редактору Word. – М.: СОЛОН-Пресс, 2006. – 128 с.
16. Ярочкин В.И. Информационная безопасность: учебник для студентов вузов. – М.: Академический проект; Фонд «Мир», 2003. – 640
17. Акулов О.А., Медведев Н.В. Информатика. Базовый курс: Учебник для студентов вузов, бакалавров, магистров, обучающихся по направлениям 552900, 65460 «Информатика и вычислительная техника». – М.: Омега-Л, 2004. – 552 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИГРОВЫХ ДВИЖКОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Волчек Д.В.

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

Свирид В.Л. – канд. техн. наук, доцент

Изначально, программирование являлось способом записи инструкций для ЭВМ с целью облегчение вычислительных процессов. Рост информационных технологий привел к тому, что человечество владеет техникой, вычислительная мощность которых, зачастую, превышает необходимые потребности. Использование компьютерной техники не ограничилось только научной отраслью. Получило развитие игровая индустрия, которая сейчас является одним из самых успешных видов коммерческой деятельности.

Для регулярного выпуска компьютерных игр были созданы инструменты, которые сочетали в себя необходимые функции для поточного создания продукта. Данные инструменты называются – игровыми движками.

Если взглянуть на современные компьютерные игры – с каждым годом все сложнее находить недочеты в графике, физике объектов. Современные компьютерные мощности рядового пользователя позволяют запускать данные программные продукты. Это говорит о том, что созданы инструменты для моделирования поведения воды, движения объектов, физики взаимодействия между ними.

Изучение различных природных процессов реального мира безусловно понятнее на практике, но многие процессы в нашем мире происходят очень долго по сравнению с жизнью человека. Поэтому создаются игры и приложения, которые моделируют в искусственном мире физические законы нашего времени, чтобы увидеть процесс собственными глазами. Это не только наглядно, но и познавательно. Такого типа приложения или игры используются в образовательной сфере и во имя науки. Их примером могут послужить ниже представленные приложения.

Джеймс Йодер, студент Техасского университета, создал в Интернете сайт Stuff in Space. На нем отражается 3D-модель Земли и всех космических объектов, которые вращаются вокруг нее. В их число входят искусственные спутники и многочисленный космический мусор.

На сайте все объекты изображены в движении. При наведении курсора можно узнать информацию о каждом объекте, а также увидеть его траекторию, приблизить или удалить. Кроме того, благодаря строке поиска можно найти конкретный объект.

Сейчас на орбите вращается как минимум 21 тыс. обломков ракет и другого мусора величиной больше 10 см в диаметре и еще 500 тыс. единиц более мелкого мусора. По словам специалистов, растущее количество старых и новых спутников и других объектов, несмотря на малую вероятность столкновения их друг с другом, угрожает безопасности Земли и исследованию космоса.

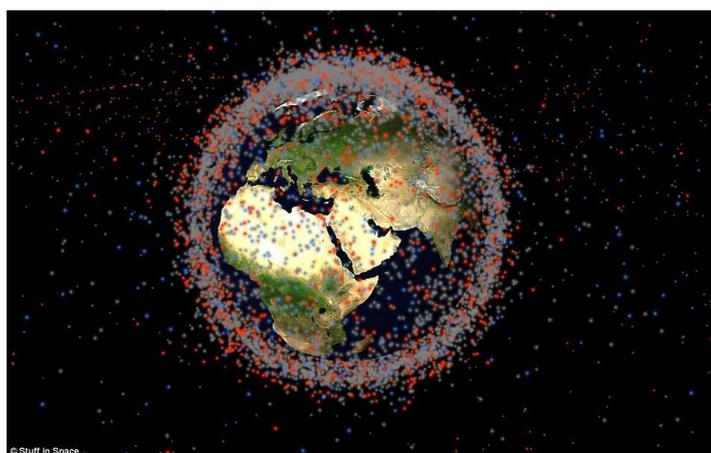


Рисунок 1 – модель спутников земли.

Сейчас бурное развитие получила технология виртуальной реальности, которая уже произвела революцию в игровом сегменте. Данная технология погружает пользователя в мир компьютерной модели, где сам пользователь становится участником событий лично. Если отстраниться от игровой части, то данные технологии позволят создавать модели различных объектов, миров, процессов, устройств и быть прямым свидетелем взаимодействий между ними, что создаст новый опыт для обучения, разработки и научной деятельности.

Список использованных источников:

1. <http://stuffin.space/>