

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

УПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ НАУЧНЫХ КАДРОВ  
ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ

СЕКТОР СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУКИ

---

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

---

**РАДИОТЕХНИКА  
И ЭЛЕКТРОНИКА**

---

Апрель 2022 года

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Минск БГУИР 2022

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

Короткевич А.В. – декан ФРЭ, кандидат технических наук, доцент,  
председатель комиссии по организации и проведению  
конференции «Радиотехника и электроника»;

Мигас Д.Б. – д-р физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой МНЭ;

Листопад Н.И. – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой ИРТ;

Сацук С.М. – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедры  
электроники;

Мурашкина З.Н. – зам. декана по НИРС ФРЭ

Глецевич П.О. – ассистент кафедры электроники;

Кашкин А.Ю. – ассистент кафедры ИРТ;

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

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

Председатель Листопад Н.И. – д-р техн. наук, профессор, зав. каф. ИРТ;

Члены жюри Козлов С.В. – д-р техн. наук, доцент;  
Давыдов И.Г. – канд. техн. наук, доцент;

Козел В.М. – канд. техн. наук, доцент;

Секретарь Кашкин А.Ю. – ассистент.

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

Председатель Мигас Д.Б.; – д-р физ.-мат. наук, доцент, зав. кафедрой  
МНЭ;

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

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

Ловшенко И.Ю. – ст. преподаватель;

Секретарь Степанов А.А. – канд. техн. наук.

### **Секция «Электроника»:**

Председатель Сацук С.М. – канд. техн. наук, доцент, зав. каф. электроники

Члены жюри Путилин В.Н. – канд. техн. наук, доцент;

Русакович В.Н. – ст. преподаватель;

Секретарь Глецевич П.О. – старший преподаватель.

## СЕКЦИЯ «Микро-и наноэлектроника»

1. **Вольт-амперные характеристики структур из многослойных пленок графитоподобного нитрида углерода**  
*Фам В.Т., Буй К.Д.*.....10
2. **Температурная стабильность графитоподобного нитрида углерода**  
*Максимов С.Е.*.....13
3. **Перовскиты для солнечных элементов и пути повышения их стабильности**  
*Медведева Н.В.*.....16
4. **Электрохимический синтез тонких плёнок оксидов никеля и кобальта для устройств накопления энергии**  
*Греков И.А., магистрант гр. 146801.*.....19
5. **Влияния концентрации меламина на оптические свойства синтезированных CDV-подобным методом тонких пленок графитоподобного нитрида углерода**  
*Буй К.Д., магистрант, Фам В.Т., аспирант.*.....24
6. **Блок таймера/счетчика 8-битного микроконтроллера**  
*Шепелева Е.Д.*.....29
7. **Разработка 8-битного арифметико-логического устройства**  
*Новиков П.Э.*.....31
8. **Арсенид-галлиевый гетеропереходный биполярный транзистор**  
*Кратович П.С., Тернов Р.Е.*.....32
9. **Последовательный периферийный интерфейс**  
*Иванчик В.А.*.....33
10. **Блок памяти 8-битного микроконтроллера с сокращенным набором команд**  
*Корсак К.В.*.....35
11. **Стабильность тонких плёнок диоксида гафния**  
*Карженевская В.Ю., Алексеев А.Ю.*.....37
12. **Зарядовые свойства гетероструктуры графен/диэлектрик/кремний**  
*Мельникова В.В.*.....38

13. **Роль поверхности и границ раздела в продольной фононной теплопроводности слоистых пленок Si и Ge**  
*Хомец А.Л., Холяво И.И.*.....40
14. **Фононная теплопроводность нанопроволок Si/Ge**  
*Холяво И.И., Хомец А.Л.*.....42
15. **Воль-амперные характеристики структур с пленками титаната бария на кремнии**  
*Корнилова Ю.Д.*.....44
16. **Энергия магнитной анизотропии в разбавленном магнитном полупроводнике  $Zn_{1-x}Fe_xS$**   
*Белько И.В., ст.гр.942791*.....46
17. **Измеритель характеристик полупроводниковых приборов**  
*Закаблук А.Ю.*.....48
18. **Формирование нанотрубок оксида титана в электролитах на основе хлорида натрия**  
*Стешиц Н.Н., Антипов К.А., Дубич В.В.*.....50
19. **Формирование диэлектрического барьерного разряда с применением воды при атмосферном давлении**  
*Аксючиц А.В., аспирант, Мацневич Д.А., ст.гр.843201*.....51
20. **Система для формирования плазмы диэлектрического барьерного разряда планарного типа при атмосферном давлении**  
*Лямков В.Г., ст.гр.942791, Запорожченко Ю.В., аспирант каф МНЭ*.....54
21. **Исследование функциональных свойств поверхности бумаги после обработки в плазме атмосферного разряда**  
*Чернец Н.Ч., ст.гр.843201, Запорожченко Ю.В., аспирант* ..56
22. **Ап-конверсионная люминесценция ионов  $Er^{3+}$  в ксерогелях титаната бария**  
*Лашковская Е.И., Гога А.В., Парафинюк Д.А.*.....58
23. **Влияние подзатворного диэлектрика на характеристики полевых транзисторов на графене**  
*Ермак В.О.*.....60
24. **Изменение свойств поверхности хирургических шовных материалов**  
*Ходосовская Н.А., Запорожченко Ю.В.*.....61
25. **Формирование наноструктурированного алюминия методом электрохимического анодирования в растворе хлорида**

**натрия для использования в микроэлектронике**  
*Казимиров Н.А., Томашевич Л.П.*.....63

26. **Обменное взаимодействие посредством электронов проводимости в углеродных нанотрубках с ферромагнитными наночастицами**  
*Зайцев В.А.*.....64

## **СЕКЦИЯ**

### **«Информационные радиотехнологии»**

1. **Алгоритм поляризационно-чувствительного пеленгования средств радиомониторинга**  
*Башкова М.А., ст.гр.145201, магистрант*.....66
2. **Разработка веб-приложения обучения испанскому языку на основе языка разметки HTML и языка программирования PHP**  
*Белюсова К.А.*.....68
3. **Взаимно-корреляционная функция выходных сигналов двух каналов с одиночными резонансными контурами**  
*Бу С.Ч.*.....69
4. **Онлайн-обучение в рамках дисциплины «Основы научных исследований и исследовательской деятельности»**  
*Габриневская И.А., Лось М.Н.*.....70
5. **Программное средство для онлайн-заказа доставки воды**  
*Герасимчик Д.А.*.....74
6. **Исследование помехоустойчивости сигналов GNSS**  
*Горин А.С.*.....77
7. **Анализ динамических характеристик привода автоподслеживания**  
*До З.М., ст.гр.840401*.....79
8. **Модуль управления питанием радиолокационной станции**  
*Жоголь Н.А., ст.гр.841301*.....81
9. **Необходимость синхронизации несущего колебания в системах связи при приеме сигналов с фазовой манипуляцией**  
*Зайцев И.А., магистрант гр145201*.....82

10. **Метод управления звуковыми синтезаторами**  
*Закерничный И.В., ст.гр.842801.....84*
11. **Приложение-тренинг для круторов учебных групп и учащихся педагогических специальностей по воспитательной работе**  
*Зудинов Е.Д.....86*
12. **Информационная безопасность устройств IoT с использованием аппаратной и сетевой поддержки**  
*Кабаков В.П., Чертков А.С., Способ С.А.....88*
13. **Способ получения данных для радиотомографии ионосферы на основе ретрансляции сигналов глобальных навигационных спутников систем наноспутником-ретранслятором формата CubSat**  
*Каплярчук Е.А., аспирант.....89*
14. **Математическая модель ретранслированного навигационного сигнала наноспутником-ретранслятором формата CubSat**  
*Каплярчук Е.А., аспирант.....96*
15. **Результаты экспериментального исследования распределения плотности потока энергии, создаваемых антенной системой Massive MIMO для технологии New Radio (5G)**  
*Козел В.М., Ковалев К.А., Жолудь А.В, ст.гр.045241, магистрант.....104*
16. **Универсальные компетенции обучающихся как основа профессиональной деятельности будущих педагогов-программистов**  
*Ковалева В.В.....108*
17. **Полифункциональной мониторинг сердечно-сосудистой системы человека**  
*Колядич Н.С., Захарченко В.Ю.....110*
18. **Особенности выполнения практических заданий при проверке знаний студентов**  
*Королев К.С.....112*
19. **Использование технологии проектного обучения в образовательном процессе**  
*Лагутина А.А.....113*

20. **Способ оценивания суммарной дальности в бистатической разностно-дальномерно-доплеровской навигационной система**  
*Легкоступ В.В.*.....114
21. **Сценарии навигации в разностно-дальномерных системах при недостатке навигационных данных**  
*Легкоступ В.В.*.....132
22. **Компенсация динамической ошибки для движения управляемого средств вдоль гиперболы**  
*Легкоступ В.В.*.....134
23. **Методика оптимизации параметров радиолокатора с синтезированием апертуры космического базирования в режиме однопроходной интерферометрии**  
*Лобан М.А., магистрант гр.145241*.....135
24. **Оценка точности радиолокатора с синтезированной апертурой космического базирования в режиме однопроходной интерферометрии**  
*Лобан М.А., магистрант гр.145241*.....140
25. **Критичность одномерного фильтра калмана к параметрам и модели полезного задающего воздействия**  
*Лыгач А.Н.*.....145
26. **Исследование характеристик базовой станции стандарта LTE**  
*Лысенко А.А., Лазарук Е.В.*.....147
27. **Высокие технологии в вооруженных силах**  
*Мажейко А.Р., Способ С.А.*.....150
28. **Моделирование канала формирования образа помехи компенсационного подавителя для тракта промежуточной частоты**  
*Мелендик К.И.*.....151
29. **Сжатие изображений без потерь с использованием функций Уолша**  
*Дворникова Т.Н., Мисулин Е.А., Снапко Р.Ю.*.....152
30. **Разработка лабораторного комплекса для программирования встраиваемых систем**  
*Митрофанов А.Д., ст.гр.841301*.....155

<b>31. Анализ эффективности подавления нестационарных активных шумовых помех</b> <i>Науен Д.В., магистрант</i> .....	156
<b>32. Использование параллельных систем на примере симулятора падения снега</b> <i>Никитин Д.А.</i> .....	158
<b>33. Разработка масштабируемых программ на примере генератора контрольных сумм</b> <i>Никитин Д.А.</i> .....	160
<b>34. Личный кабинет студентка как расширение возможностей пользователя</b> <i>Охотенко А.Л.</i> .....	162
<b>35. Облачные сервисы и их применение в интернете вещей</b> <i>Павлюченко Н.А.</i> .....	165
<b>36. Электронный образовательный ресурс для изучения дисциплины «Педагогическая психология»</b> <i>Пасынкова А.С.</i> .....	167
<b>37. Технология иммерсивного обучения</b> <i>Пасынкова А.С.</i> .....	169
<b>38. Электронный образовательный ресурс по предмету «Информатика» для IX класса</b> <i>Петроченко М.С.</i> .....	170
<b>39. Использование линий задержки совместно с матрицей лавинных фотодиодов для увеличения скорости подсчета количества фотонов в оптическом импульсе</b> <i>Пикуза М.О.</i> .....	172
<b>40. Использование учебного видео в современном образовании</b> <i>Платоненко А.С.</i> .....	173
<b>41. Идентификация сигналов 5G NR в широкополосной спектограмме</b> <i>Полидовец И.И., магистрант гр.0452201</i> .....	176
<b>42. Частотный диапазон 5G New Radio</b> <i>Полидовец И.И., магистрант гр.045201, Горин А.С., магистрант гр.045241</i> .....	176



<b>43. Формирование ИТ-компетенций как результат профессионального обучения</b> <i>Пуня И.А.</i> .....	178
<b>44. Электронный образовательный ресурс по дисциплине «Инструменты и средства программирования»</b> <i>Рудько Е.С.</i> .....	180
<b>45. Взаимосвязь типового класса инфомационно системы и дальнейших этапов ее аттестации</b> <i>Сергеенко М.С., Дворникова Т.Н.</i> .....	182
<b>46. Обеспечение безопасности информационных систем</b> <i>Сойко Д.Д., Мозолевский В.С.</i> .....	183
<b>47. Системы информационной безопасности</b> <i>Сойко Д.Д.</i> .....	184
<b>48. Информационная система оценки угроз информационной безопасности «Умного дома»</b> <i>Степурко М.Н.</i> .....	185
<b>49. Профессиональная радиостанция декаметрового диапазона</b> <i>Сухов Н.Д.</i> .....	187
<b>50. Мобильная радиостанция УКВ-диапазона</b> <i>Сухов С.Д.</i> .....	189
<b>51. Актуальность направлений, способствующих повышению эффективности работы широкополосных радиосистем передачи цифровой информации</b> <i>Фам К.Б., магистрант, Нгуен К.Д., магистрант</i> .....	190
<b>52. Эффективность декодирования пространственно-временных алгебраических кодов в случайных каналах передачи</b> <i>Фам Х.А., магистрант</i> .....	192
<b>53. Широкополосная система передачи информации для беспилотного летательного аппарата</b> <i>Филоненко Д.А, ст.гр.841301</i> .....	195
<b>54. Особенности схемного и конструктивного построения энергоэффективных телевизионных передатчиков</b> <i>Чепиков И.А.</i> .....	197
<b>55. Методы зондирования ионосферы земли с помощью спутниковых навигационных систем</b> <i>Шкляник Е.И.</i> .....	199

56. **Генератор пространственного зашумления**  
*Юхо М.Ю.*.....201
57. **Особенности дистанционного обучения педагогов-программистов по учебной дисциплине «Психология»**  
*Яцко Д.А.*.....202

**СЕКЦИЯ  
«Электроника»**

1. **Маломассогабаритный спектометр для беспилотного комплекса авиационной съёмки**  
*Гуторов А.В., ст.гр. 844101*.....203
2. **Система контроля и управления процессом производства асфальтобетонной смеси**  
*Коновальчук А.П., ст.гр.844101*.....205
3. **Система контроля и управления температурой**  
*Новик Е.М., ст.гр. 844101*.....208
4. **Система аварийного охлаждения активной зоны реактора**  
*Петкевич В.В., ст.гр. 844101*.....209

## СЕКЦИЯ «МИКРО-И НАНОЭЛЕКТРОНИКА»

УДК 621.382

### ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУР ИЗ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК ГРАФИТОПОДОБНОГО НИТРИДА УГЛЕРОДА

Фам В.Т., Буй К.Д.

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

Научный руководитель: Борисенко В.Е. – профессор кафедры МНЭ, доктор физико-математических наук, профессор

**Аннотация.** Изготовлены образцы многослойных пленок графитоподобного нитрида углерода на кремниевой подложке с индиевыми контактами к пленке. Вольт-амперные характеристики (ВАХ), снятые при протекании тока в плоскости и перпендикулярно плоскости пленки симметричны относительно нулевого смещения и имеют начальные участки (0 – 15 В) с малым практически неизменным током, после которого ток экспоненциально возрастает. Такой характер ВАХ предположительно связан с туннелированием подвижных носителей через межблочные и межслоевые границы в пленке, что может быть использовано для создания новых элементов для электронной обработки информации.

**Ключевые слова:** графитоподобный нитрид углерода,  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ , электрические свойства, транспорт носителей заряда, ВАХ.

**Введение.** Графитоподобный нитрид углерода ( $g\text{-C}_3\text{N}_4$ ) активно исследуется в связи с его полупроводниковыми, фотокаталитическими и люминесцентными свойствами, перспективными для практического использования [1]. Как и графит, объемный  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  имеет слоистую структуру. Слои состоят из ячеек три-*s*-триазина и связаны между собой слабыми ван-дер-ваальсовыми силами, что приводит к образованию двумерных (2D) графеноподобных листов. Рассчитанная ширина запрещенной зоны  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  близка к экспериментально измеренной, которая составляет порядка 2,7 эВ. К настоящему времени достаточно полно исследована фотолюминесценция этого материала, как в объемном [2-4], так и пленочном [5-7] состоянии. При этом остаются неизученными особенности транспорта носителей заряда в этом полупроводнике и в состоящих из него пленочных структурах, что актуально для разработки на его основе новых твердотельных электронных и оптоэлектронных приборов, а также для повышения эффективности фотокаталитических покрытий.

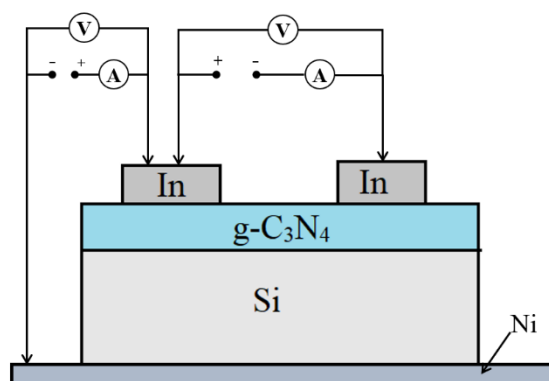
Целью настоящей работы явилось исследование транспорта носителей заряда в многослойных пленках  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  путем измерения и анализа вольтамперных (ВАХ) характеристик изготовленных из него структур с индиевыми контактами. Известно, что такие пленки имеют блочную структуру.

**Методика экспериментального исследования.** Пленочные структуры формировали методом химического осаждения  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  при 600 °С из паров меламина на подложке из монокристаллического кремния с *n*-типом проводимости и удельным сопротивлением 0,01 Ом.см [7]. Индиевые контакты механически наносили на поверхность пленки для измерения ВАХ при протекании тока в плоскости пленки, как это показано на рис. 1б. Расстояние между ближайшими контактами составляло 2 мм. Для регистрации ВАХ при протекании тока перпендикулярно плоскости пленки использовали один из поверхностных индиевых контактов и никелевую пластину, контактирующую с обратной стороной кремниевой подложки – рис. 1.

Измерение ВАХ осуществляли при комнатной температуре, используя Keithley 2401. Измерения проводили в темновом режиме и при облучении структуры светом видимого диапазона от осветителя MI-150 (100 Вт).



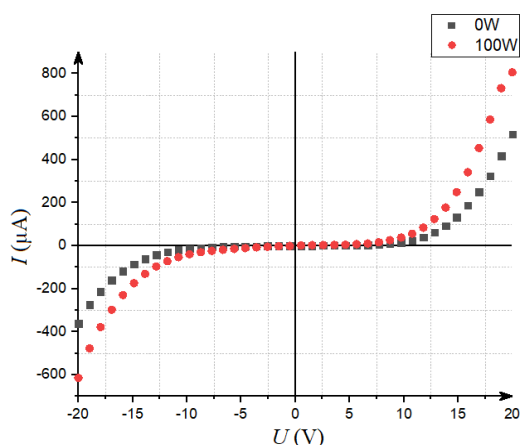
а)



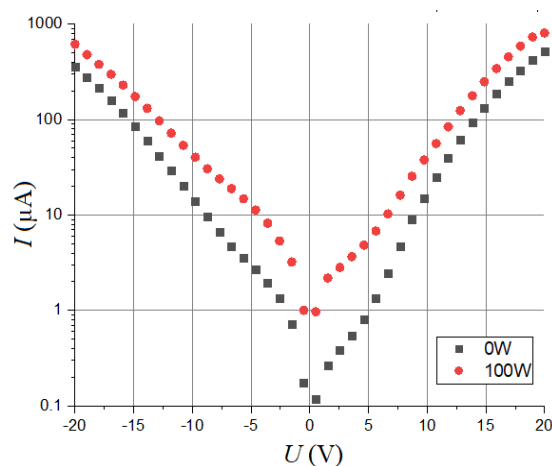
б)

Рисунок 1 – Внешний вид пленочной структуры  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  на кремниевой подложке (а) и схема измерения ее вольтамперных характеристик (б)

**Экспериментальные результаты.** ВАХ экспериментального образца, измеренные при протекании тока в плоскости пленки, показаны на рис. 2.



а)



б)

Рисунок 2 – Вольтамперные характеристики пленочной структуры из  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  при протекании тока в плоскости пленки, снятые в темноте (0W) и при освещении видимым светом (100 W): а – линейная шкала для тока, б – логарифмическая шкала.

Экспериментальные ВАХ имеют следующие особенности. Во-первых, они практически не зависят от полярности приложенного напряжения, то есть симметричны относительно нулевого приложенного напряжения. Во-вторых, в диапазоне от 1 до 10 В существует область, в которой ток через структуру меняется незначительно, а после нее имеет место резкое возрастание тока. В-третьих, освещение структуры приводит к увеличению протекающего тока.

ВАХ, измеренные при протекании тока перпендикулярно плоскости пленки, показаны на рис. 3. Для них характерно наличие области с малым, практически неизменным значением тока, при напряжениях до 15 В, хотя симметричность кривых относительно нулевого напряжения нарушена. При подаче отрицательного напряжения на вывод индия наибольший ток находится в пределах 40–55 мкА при напряжении 20 В, а при напряжении либо близким к нулю или положительному, ток отсутствует. Освещение, также как и в предыдущем случае приводит к увеличению тока.

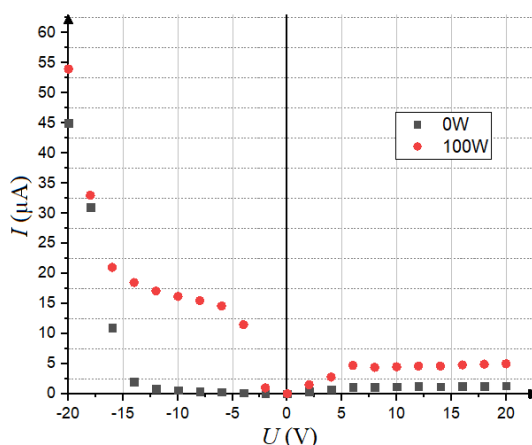


Рисунок 3 – Вольтамперные характеристики пленочной структуры из  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  при протекании тока перпендикулярно плоскости пленки, снятые в темноте (0W) и при освещении видимым светом (100 W).

Сравнение результатов измерения с использованием других измерительных приборов и положений контактных площадок показало, что они не влияют существенно на отмеченные выше основные особенности ВАХ пленочных структур из  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ .

**Обсуждение результатов.** Для интерпретации экспериментально наблюдаемых особенностей ВАХ нами предложена эквивалентная электрическая схема, в которой пленка из  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  представлена в виде слоистой структуры, состоящей из монокристаллических блоков  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ , отделенных вертикальными и горизонтальными барьерами. Их сопротивление описано в предположении туннельного переноса носителей заряда через них, что позволило учесть отмеченную симметричность и нелинейность экспериментальных ВАХ. Детальное обсуждение этой модели будет дано в последующих публикациях.

**Заключение.** Экспериментально исследованные ВАХ пленочной структуры из  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  показали ее сложный характер, ранее не наблюдавшийся для полупроводниковых приборов, особенно в части наличия области с малым практически неизменным током на ее начальном участке (0 – 15 В), после которого ток экспоненциально возрастает. Такой характер ВАХ мы связываем с блочно-слоистой структурой пленки и наличия в ней межблочных и межслоевых потенциальных барьеров. Подвижные носители заряда преодолевают эти барьеры по механизму туннелирования. Исследованные структуры представляют интерес для создания новых полупроводниковых элементов для электронной обработки информации.

### Список литературы

1. Graphitic carbon nitride materials: variation of structure and morphology and their use as metal-free catalysts / A. Thomas [u др.] // *Journal of Materials Chemistry*. – 2008. – Т.18, №41. – С.4893–4908.
2. Effective Prevention of Charge Trapping in Graphitic Carbon Nitride with Nanosized Red Phosphorus Modification for Superior Photo(electro)catalysis / L. Jing, R. Zhu, D.L. Phillips [u др.] // *Advanced Functional Materials*. – 2017. – Т.27, №46. – С.1703484.
3. Solar-Driven Reduction of Aqueous Protons Coupled to Selective Alcohol Oxidation with a Carbon Nitride–Molecular Ni Catalyst System / H. Kasap, C.A. Caputo, B.C.M. Martindale [u др.] // *Journal of the American Chemical Society*. – 2016. – Т.138, №29. – С.9183–9192.
4. A fantastic graphitic carbon nitride ( $g\text{-C}_3\text{N}_4$ ) material: Electronic structure, photocatalytic and photoelectronic properties / G. Dong [u др.] // *Photochemistry Reviews*. – 2014. – №20. – С. 33–50.
5. Photocatalytic activity enhancement of core-shell structure  $g\text{-C}_3\text{N}_4\text{/TiO}_2$  via controlled ultrathin  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  layer / Y. Wang [u др.] // *Applied Catalysis B: Environmental*. – 2018. – №220. – С. 337–347..
6. A simple process to prepare few-layer  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  nanosheets with enhanced photocatalytic activities / Y. Ma [u др.] // *Applied Surface Science*. – 2015. – №358-A. – С. 246–251.
7. Chemical Vapor Deposition of 2D Crystallized  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  Layered Films / E. B. Chubenko, N. G. Kovalchuk, I. V. Komissarov, V. E. Borisenko // *The Journal of physical chemistry*. – 2022. – 5 P.
8. Структурные и фотолуминесцентные свойства графитоподобного нитрида углерода / Баглов А.В., Чубенко Е.Б., Гнисько А.А., Борисенко В.Е., Малашевич А.А., Углов В.В. // *Физика и техника полупроводников*. – 2020. – том 54. – вып. 2.

UDC 621.382

## VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS OF STRUCTURES FROM GRAPHITE CARBON NITRIDE MULTILAYER FILMS

*Pham V.T., Bui C.D.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus (style T-institution)*

*Scientific adviser: Borisenko V.E. - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of MNE*

**Annotation.** Samples of multilayer films of graphite carbon nitride ( $g-C_3N_4$ ) on silicon substrate with indium contacts were fabricated. The current-voltage characteristics measured with current flowing in the plane and perpendicular to the film plane are symmetrical and have initial segments (0–15 V) with a low practically constant current, after which the current increases exponentially. This character of the I-V characteristics is presumably associated with the tunneling effect, transporting charge carriers through interblock and interlayer boundaries in the film, which can be used to create new elements for electronic information processing.

**Keywords.** Graphite carbon nitride,  $g-C_3N_4$ , electrical properties, carrier transport.

УДК 621.315

## ТЕМПЕРАТУРНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ГРАФИТОПОДОБНОГО НИТРИДА УГЛЕРОДА

*Максимов С.Е.*

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

*Научный руководитель: Борисенко В.Е. – профессор кафедры МНЭ, доктор физико-математических наук, профессор*

**Аннотация.** Экспериментально установлено, что объемный графитоподобный нитрид углерода начинает испаряться при температурах выше  $500\text{ }^\circ\text{C}$  и происходит предположительно конгруэнтно. Кинетика испарения линейная. Энергия активации этого процесса составляет  $1,18\text{ эВ}$ .

**Ключевые слова:** графитоподобный нитрид углерода,  $g-C_3N_4$ , термическая стабильность, кинетика испарения, энергия активации.

**Введение.** Графитоподобный нитрид углерода ( $g-C_3N_4$ ) – полупроводниковый материал с шириной запрещенной зоны  $E_g \approx 2,7\text{ эВ}$  (при  $300\text{ K}$ ) [1], привлекает внимание исследователей благодаря выраженным фотокаталитическим и люминесцентным свойствам [1, 2]. Обычно для синтеза  $g-C_3N_4$  используется метод термической обработки органических соединений с высоким содержанием азота, например тиомочевины, меламина, цианамиды и дициандиамида [3–6]. Он проявляет высокую фотокаталитическую активность при облучении светом видимого диапазона, что позволяет применять его для фотокаталитического разложения воды, ее очистки от органических загрязнителей и восстановления  $CO_2$  [2, 3, 5]. Вместе с этим его температурная стабильность и особенности испарения остаются малоизученными.

Целью данной работы явилось экспериментальное определение устойчивости  $g-C_3N_4$  к термообработке при  $0 - 750\text{ }^\circ\text{C}$  и скорости его испарения.

**Эксперимент.** Объемный  $g-C_3N_4$  синтезировали при  $550\text{ }^\circ\text{C}$  из тиомочевины. Его измельчали в агатовой ступке, после чего проводили термогравиметрические измерения на воздухе и в аргоне в диапазоне  $0 - 750\text{ }^\circ\text{C}$  и определяли скорость

испарения этого материала при 545 – 600 °С. Для определения скорости испарения  $g-C_3N_4$  4 г порошка помещали внутрь тонкостенного железного цилиндра с внутренним диаметром 21 мм, размещенного на кремниевой подложке и механически уплотняли поршнем, к которому прикладывали усилие порядка 10 Н. Данную конструкция помещали в заранее разогретую до определенной температуры муфельную печь и выдерживали в ней в течение 3, 5, 7 или 9 мин. Состав газовой смеси в печи соответствовал составу воздуха в лаборатории. Количество испарившегося материала контролировали взвешиванием до и после термообработки с точностью 0,1 мг.

**Результаты.** Экспериментальные термограммы  $g-C_3N_4$  приведены на рис. 1. Очевидно, что до 500 °С этот материал не претерпевает заметных изменений. При более высоких температурах происходит уменьшение его массы. Судя по отсутствию влияния среды термообработки на качественное поведение термографических зависимостей, это уменьшение связано с испарением материала.

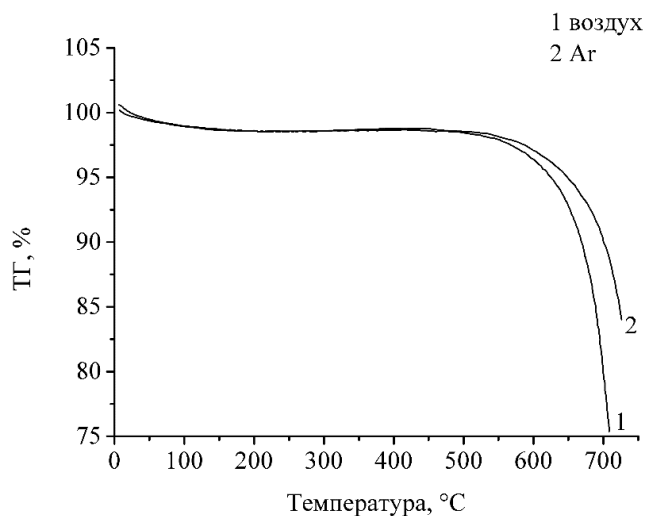


Рисунок 1- Термограммы для  $g-C_3N_4$ , снятые в различных газовых средах

Рис. 2 иллюстрирует изменение массы  $g-C_3N_4$  в зависимости от продолжительности его термообработки при фиксированных температурах. Экспериментальные значения для одной температуры удовлетворительно аппроксимируются линейной зависимостью от времени нахождения образца при повышенной температуре.

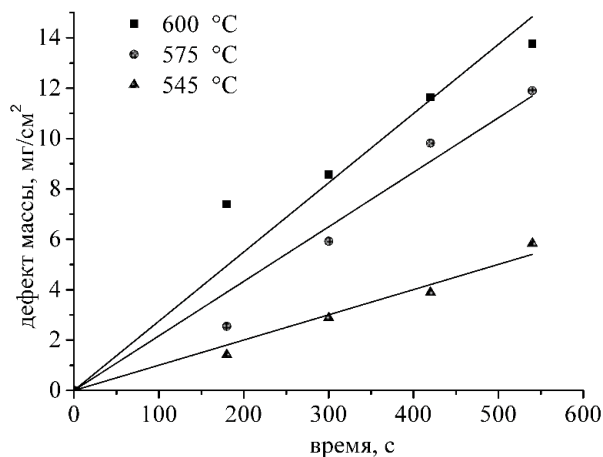
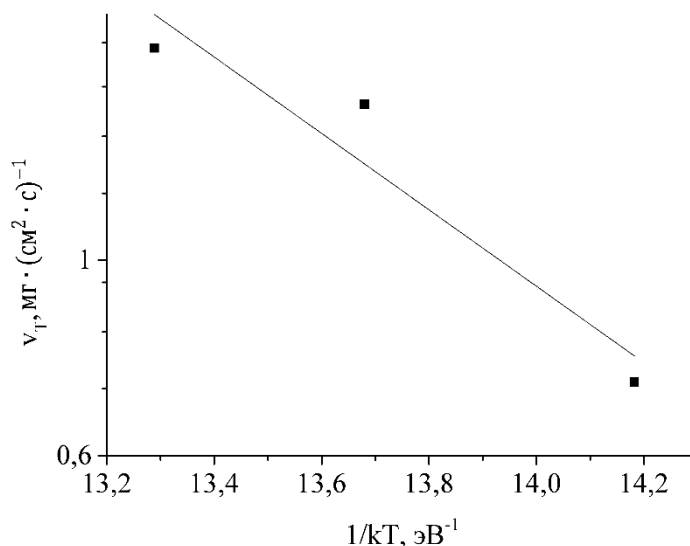


Рисунок 2 – Приведенное к единице площади изменение массы  $g-C_3N_4$  в зависимости от продолжительности его термообработки при 545, 575 и 600 °С

Вычисленные по полученным экспериментальным данным скорости испарения  $g-C_3N_4$  составляют 0.010, 0.0216 и 0.0274 мг/(см<sup>2</sup>·с) при 545, 575 и 600 °С соответственно.

**Обсуждение.** Монотонный характер термогравиметрических кривых позволяет предположить, что испарение  $g-C_3N_4$  происходит конгруэнтно. Скорость его испарения целесообразно представить в форме аррениусовской зависимости  $v(T) = v_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right)$ , где  $v_0$  – предэкспоненциальный множитель,  $E_a$  – энергия активации испарения,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура. Графически эта зависимость представлена на рис. 3. Из него найдено, что в исследованных условиях испарение  $g-C_3N_4$  характеризуется энергией активации  $E_a = 1,18$  эВ и предэкспоненциальным множителем  $v_0 = 1,24 \times 10^{-13}$  мг/(см<sup>2</sup>·с). При предполагаемом конгруэнтном испарении данного материала полученное значение энергии активации этого процесса быстрее всего связано с термостимулированным отрывом целых молекулярных блоков от полимеризованного  $g-C_3N_4$ .

Рисунок 3 – Зависимость скорости испарения  $g-C_3N_4$  от температуры

**Заключение.** Полимеризованный  $g-C_3N_4$  температурно устойчив до 500 °С, что позволяет его использовать в стандартной технологии изготовления полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. При более высоких температурах он начинает испаряться, предположительно конгруэнтно, что требует дополнительных исследований, поскольку такая термообработка перспективна для управления толщиной и другими свойствами этого материала в пленочном состоянии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Баглов, А.В. Структурные и фотолуминесцентные свойства графитоподобного нитрида углерода / А.В. Баглов, Е.Б. Чубенко, А.А. Гнисько, В.Е. Борисенко, А.А. Малашевич, В.В. Углов.– Физика и техника полупроводников, 2020, том 54, вып. 2. - С. 176-180.
- [2] Yanling Wu. Progress in Photocatalysis of  $g-C_3N_4$  and its Modified Compounds / Yanling Wu, Yanmin Wang, Miantuo Li.– E3S Web of Conferences 233, 01114 (2021) IAECST 2020. - С. 1-4.
- [3] Чебаненко, М.И. / Синтез и фотокаталитическая активность в видимом свете нанопорошков из графитоподобного нитрида углерода / М.И. Чебаненко, Н.В. Захарова, В.И. Попков.– Санкт Петербург: Russian Journal of Applied Chemistry, 2020. С –494-501.



[4] Денисов, Н.М. Синтез легированного кислородом графитоподобного нитрида углерода из тиомочевин / Н.М. Денисов, Е.Б. Чубенко, В.П. Бондаренко, В.Е. Борисенко. – Письма в ЖТФ, 2019, том 45, вып. 3. - С. 49-51.

[5] Чебаненко, М.И. / Получение нанопорошков графитоподобного нитрида углерода и их фотокаталитическая активность под действием видимого света/ М.И. Чебаненко, Н.В. Захарова, В.И. Попков. – Журнал прикладной химии. 2020. Т. 93. Вып. 4. - С. 490 – 496.

[6] Кравченко О.В. Термобарический синтез объемных образцов кристаллического нитрида углерода / О.В. Кравченко, К.П. Бурдина, С.А. Трашин, Ю.Я. Кузяков и др. – ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 2. ХИМИЯ. 2006. Т. 47. вып 4. – С. 266 – 268.

UDC 621.315

## TEMPERATURE STABILITY OF GRAPHITIC CARBON NITRIDE

*Maksimov S.E.*

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

*Scientific adviser: Borisenko V.E. - Doctor of Physical and Mathematical Sciences,  
Professor of the Department of MNE*

**Abstract.** Bulk graphitic carbon nitride was experimentally established to start to evaporation at temperatures above 500 °C. Presumably it occurs congruently. Evaporation follows linear kinetics. Activation energy of this process is 1,18 эВ.

**Keywords:** graphitic carbon nitride,  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ , temperature stability, evaporation kinetics, activation energy.

УДК 620.3 : 535.215.1, 620.3 : 621.383.51, 544.774.4

## ПЕРОВСКИТЫ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ИХ СТАБИЛЬНОСТИ

*Медведева Н.В.*

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

*Научный руководитель: Позняк А.А. – канд. физ.-мат. наук, доцент,  
Плиговка А.Н. – канд. техн. наук*

**Аннотация.** В данной работе представлен краткий обзор способов повышения стабильности свойств перовскитов для их дальнейшего применения в качестве солнечных элементов. Было выявлено 3 способа повышения стабильности. Освещены основные причины и проблемы использования в области оптоэлектронных устройств.

**Ключевые слова:** перовскит, солнечные элементы, оптоэлектронные устройства.

**Введение.** Перовскиты являются многообещающими во многих областях применения, включая солнечные элементы [1, 2], лазеры [3], светоизлучающие диоды [4], фотоэлектрические элементы и фотоприемники [5], из-за их благоприятных свойств, таких как перестраиваемая ширина запрещенной зоны, сильное оптическое поглощение, амбиполярный перенос заряда и большая длина электронно-дырочной диффузии [6–8]. Несмотря на продемонстрированную впечатляющую производительность, остается критическая проблема, связанная с нестабильностью перовскитов в окружающей среде [9] из-за их быстрой деградации под воздействием химического и термического давления [10].

**Основная часть.** Среди солнечных элементов третьего поколения перовскитные солнечные элементы (ПСЭ) за последние несколько лет привлекли большое внимание как научного, так и промышленного сообщества. ПСЭ представляют собой новый класс фотоэлектрических технологий и стали многообещающей недорогой системой сбора солнечной энергии [11–13]. В качестве наиболее подходящего потенциального компонента галогенидные перовскиты представляют собой большое семейство соединений общей формулы:  $\text{AVX}_3$ , где А — однозарядный органический катион ( $\text{CH}_3\text{NH}_3^+$  ( $\text{MA}^+$  — метиламмоний),  $\text{CH}(\text{NH}_2)_2^+$  ( $\text{FA}^+$  — формамидиний)) или неорганический ион ( $\text{Cs}^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), В — двухвалентный катион ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ge}^{2+}$ ,  $\text{Sn}^{2+}$  или  $\text{Pb}^{2+}$ ), а X — галогенид-ион ( $\text{I}^-$ ,  $\text{Br}^-$  или  $\text{Cl}^-$ ). Существуют

как полностью неорганические ( $\text{CsPbCl}_3$  [9]) перовскиты, так и гибридные органико-неорганические ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ) [14]. Эта новая фотоэлектрическая технология, по сравнению с традиционными кремниевыми солнечными элементами, обещает быть дешевле, тоньше, легче, более гибкой, портативной и адаптируемой к широкому диапазону условий освещения. Тот факт, что с 2009 года количество ПСЭ увеличилось с 3,8% до более чем 25%, демонстрирует самую высокую динамику развития этого направления фотоэлектрической технологии и его перспективность. Основными структурами ПСЭ являются как мезоскопические (с объемным гетеропереходом), так и плоские (тонкопленочные) структуры с конфигурацией *n-i-p* и *p-i-n* (рис. 1), где перовскитный поглотитель света расположен между слоями материалов, транспортирующих электроны (*ETM* — *electron transporting materials*) и дырки (*HTM* — *hole transporting materials*) [15].

Для решения проблемы увеличения стабильности ПСЭ предлагают замену атомов элементов в составе общей формулы  $\text{ABX}_3$  для решения проблемы химической стабильности. Было представлено множество перовскитов со смешанным катионом (галогениды металлов совместно с органическим катионом на основе  $\text{Cs/FA}^+$ ,  $\text{Cs/MA/FA}^+$ ) [16]. Также, легирование элемента А существенно улучшает фотоэлектрические характеристики наряду со стабильностью и все неорганические ПСЭ даже демонстрируют лучшую долговременную стабильность и более высокую стойкость к нагреванию и воздействию влаги [14].

В обширных исследованиях влияния компонента В в составе перовскита, фазы, богатые Pb, демонстрируют лучшую оптическую поглощающую способность по сравнению с фазами, характеризующимися более высокой оптической шириной запрещенной зоны и более низким коэффициентом поглощения, на основе  $\text{Sn}^{2+}$ ,  $\text{Ge}^{2+}$  или  $\text{Ca}^{2+}$ . Перовскиты  $\text{CsPbX}_3$  ( $\text{X} = \text{I}, \text{Br}, \text{Cl}$ ) являются наиболее практичными полностью неорганическими перовскитами на основе галогенида свинца, среди которых считается, что  $\text{CsPbI}_3$  с наиболее подходящей шириной запрещенной зоны способен достигать высокой эффективности при хорошей стабильности. Кроме того,  $\text{CsPbI}_3$  без неустойчивых органических компонентов обладает высоким потенциалом для стабильных и высокопроизводительных оптоэлектронных приложений [10]. Но поиск возможной замены токсичного элемента Pb весьма актуален, поскольку рассматривается как практический способ устранения угрозы для окружающей среды.

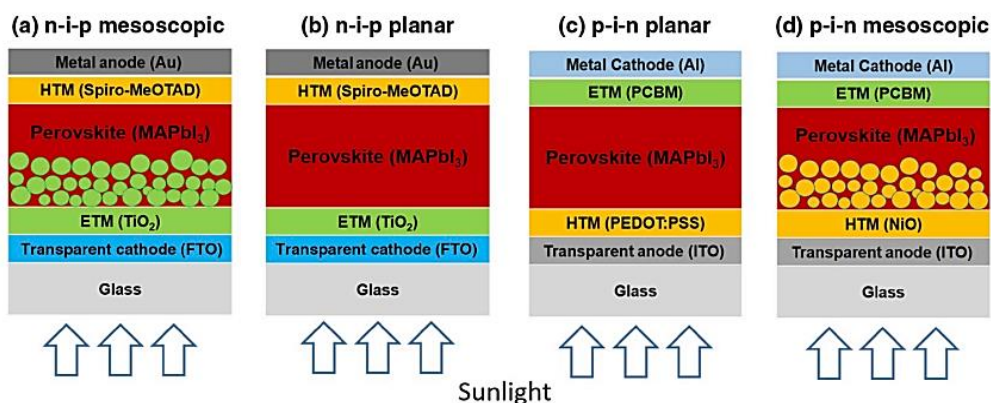


Рисунок 1 – Схематическая иллюстрация (а) *n-i-p* мезоскопических, (б) *n-i-p* плоскостных и (в) *p-i-n* плоскостных и (г) *p-i-n* мезоскопических структурированных перовскитных солнечных элементов.

Представлены наиболее часто используемые репрезентативные материалы.

Но все замены компонента X, такие как:  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}(\text{I}_{3-x}\text{Br}_x)$  и  $(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{Pb}(\text{Br}_{1-x}\text{Cl}_x)_3$ , приводят к увеличению ширины запрещенной зоны и уменьшению диэлектрической проницаемости, что означает уменьшение интенсивности поглощения и, в конечном итоге, снижению эффективности фотопреобразования.

Легирование перовскита  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  ионами  $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$  приводит к увеличению значения ширины запрещенной зоны и энергии образования электронно-дырочных пар, а также к снижению диэлектрической проницаемости. Снижение диэлектрической проницаемости предполагает низкий коэффициент поглощения, однако улучшенная стабильность соединения  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}(\text{I}_{1-y}\text{X}_y)_3$  демонстрирует большой потенциал в приложениях для оптоэлектронных устройств и, несмотря на ухудшение некоторых параметров, делает его более подходящим для промышленного использования [14]. По сравнению с галогенид-органическими перовскитами, полностью неорганические аналоги обладают превосходной кристалличностью с меньшим вредным воздействием границ зерен, что приводит к повышению стабильности и перестраиваемости ширины запрещенной зоны.

При пассивировании кристаллической поверхности нанокристалла  $\text{CsPbCl}_3$  путем его обработки 3-меркаптопропионовой кислотой (МРА) достигается превосходная стабильность в окружающей среде. Печать этих коллоидных нанокристаллов на канале графеновых полевых транзисторов (ГПТ) на твердых

подложках Si/SiO<sub>2</sub> и гибких подложках из полиэтилентерефталата была использована для получения фотоприемников с гетеропереходом и нанокристаллы CsPbCl<sub>3</sub>/ГПТ для солнечно-слепого ультрафиолетового детектирования на длине волны ниже 400 нм. Исключительные оптоэлектронные характеристики были получены на устройствах нанокристаллы CsPbCl<sub>3</sub>/графен, в том числе высокую чувствительность к ультрафиолетовому излучению, превышающую 10<sup>6</sup> А/В, быстрое время фотоотклика, равное 0,3 с и стабильность к воздействию окружающей среды с ухудшением фотоотклика менее чем на 10% через 2400 ч эксплуатации, что делает их надежными и перспективными для практического применения [9].

Что касается производительности, устройства на основе пленки CsPbBr<sub>3</sub> показали относительно хорошие свойства фотоответчика, что, вероятно, можно объяснить прямым контактом между подложкой ITO и пленкой CsPbBr<sub>3</sub>, что приводит к эффективному разделению электронов и дырок и быстрой транспортировке электроэнергии. Кроме того, стабильное многократное включение-выключение означает его превосходную воспроизводимость. Эти результаты открывают новые возможности для понимания и проектирования перовскитных материалов для будущих оптоэлектронных устройств [17].

**Заключение.** Определены несколько способов улучшения стабильности свойств перовскитов, а также сроков службы элементов на их основе такие как: замена элементов в соединении, легирование перовскитов, а также пассивация поверхности перовскитов. Полученные такими способами перовскиты, имея больший срок службы и лучшую стабильность, будут более востребованы в области создания солнечных элементов третьего поколения. Но несмотря на то, что многие исследователи посвятили себя изучению высокоэффективных перовскитных структур [18–20], все еще остается много вопросов, требующих изучения, например, какие ионные замены могут обеспечить наилучшее сочетание эффективности и стабильности.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке Министерства образования Республики Беларусь (грант для студентов, магистрантов и аспирантов № 22-3166М).

#### Список литературы

1. Sutton, R.J. *Bandgap-tunable cesium lead halide perovskites with high thermal stability for efficient solar cells* / R.J. Sutton, G.E. Eperon, L. Miranda, E.S. Parrott, B.A. Kamino, J.B. Patel // *Adv. Energy Mater.* — 2016. — Vol. 6.
2. Saliba, M. *Cesium-containing triple cation perovskite solar cells: improved stability, reproducibility and high efficiency* / M. Saliba, T. Matsui, J.Y. Seo, K. Domanski, J.P. Correa-Baena, M.K. Nazeeruddin // *Energ. Environ. Sci.* — 2016. — Vol. 9, № 6. — P. 1989–1997.
3. Xing, G. *Low-temperature solution-processed wavelength-tunable perovskites for lasing* / G. Xing, N. Mathews, S.S. Lim, N. Yantara, X. Liu, D. Sabba // *Nat. Mater.* — 2014. — Vol. 13, № 5. — P. 476–480.
4. Xin, Y.C. *Lead iodide perovskite lightemitting field-effect transistor* / D. Cortecchia, J. Yin, A. Bruno, C. Soci // *Nat. Commun.* — 2015. — Vol. 6.
5. Lee, Y. *Highperformance perovskite-graphene hybrid photodetector* / Y. Lee, J. Kwon, E. Hwang, C.H. Ra, W.J. Yoo, J.H. Ahn, J.H. Cho // *Adv. Mater.* — 2015. — Vol. 27. — P. 41–46.
6. Leijtens, T. *Stability of metal halide perovskite solar cells* / G.E. Eperon, N.K. Noel, S.N. Habisreutinger, A. Petrozza, H.J. Snaith // *Adv. Energy Mater.* — 2015. — Vol. 5.
7. Burschka, J. *Sequential deposition as a route to high-performance perovskitesensitized solar cells* / J. Burschka, N. Pellet, S.J. Moon, R. Humphry-Baker, P. Gao, M.K. Nazeeruddin, M. Grätzel // *Nature.* — 2013. — Vol. 499. — P. 316–319.
8. Chin, X.Y. *Lead iodide perovskite lightemitting field-effect transistor* / X.Y. Chin, D. Cortecchia, J. Yin, A. Bruno, C. Soci // *Nat. Commun.* — 2015. — Vol. 6.
9. Gong, M. *High-Performance All-Inorganic CsPbCl<sub>3</sub> Perovskite Nanocrystal Photodetectors with Superior Stability* / M. Gong, R. Sakidja, R. Goul, D. Ewing, M. Casper, A. Stramel, A. Elliot, J.Z. Wu // *ACS Nano.* — 2019. — Vol. 13. — P. 1772–1783. DOI: 10.1021/acsnano.8b07850.
10. Shi, J. *Inorganic CsPbI<sub>3</sub> Perovskites toward High-Efficiency Photovoltaics* / J. Shi, Y. Wang, Y. Zhao // *Energy Environ. Mater.* — 2019. — Vol. 2. — P. 73–78. Mode of Access: <https://doi.org/10.1002/eem2.12039>.
11. Green, M.A. *The emergence of perovskite solar cells* / M.A. Green, A. Ho-Baillie, H.J. Snaith // *Nat. Photonics.* — 2014. — Vol. 8. — P. 506–514. Mode of Access: <https://doi.org/10.1038/nphoton.2014.134>.
12. Kojima, A. *Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells* / A. Kojima, K. Teshima, Y. Shirai, T. Miyasaka // *J. Am. Chem. Soc.* — 2009. — Vol. 131. — P. 6050–6051. Mode of Access: <https://doi.org/10.1021/ja809598r>.
13. Lee, M.M. *Efficient hybrid solar cells based on meso-superstructured organometal halide perovskites* / M.M. Lee, J. Teuscher, T. Miyasaka, T.N. Murakami, H.J. Snaith // *Science.* — 2012. — Vol. 338. — P. 643–647. Mode of Access: <https://doi.org/10.1126/science.1228604>.
14. Zhu, S. *Optical properties of photovoltaic materials: Organic-inorganic mixed halide perovskites CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>Pb(I<sub>1-x</sub>X<sub>x</sub>)<sub>3</sub> (X = Cl, Br)* // S. Zhu, M. Jiang, J. Ye, H. Xie, Y. Qiu // *Computational & Theoretical Chemistry.* — 2018. Mode of Access: <https://doi.org/10.1016/j.comptc.2018.09.014>.
15. Wu, C. *Multifunctional nanostructured materials for next generation photovoltaics* / C. Wu, K. Wang, M. Batmunkh, Abdulaziz S.R. Bati, D. Yang, Y. Jiang, Y. Hou, Joseph G. Shapter, S. Priya // *Nano Energy.* — 2020. — Vol. 70. Mode of Access: <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.104480>.
16. McMeekin, D.P. *A mixed-cation lead mixed-halide perovskite absorber for tandem solar cells* / D.P. McMeekin, G. Sadoughi, W. Rehman, G.E. Eperon, M. Saliba, M.T. Hörlantner, A. Haghighirad, N. Sakai, L. Korte, B. Rech // *Science.* — 2016. — Vol. 351. — P. 151–155.
17. Liu, D. *Two-step method for preparing all-inorganic CsPbBr<sub>3</sub> perovskite film and its photoelectric detection application* / D. Liu, Z. Hu, W. Hu, P. Wangyang, K. Yu, M. Wen, Z. Zu, J. Liu, M. Wang, W. Chen, M. Zhou, X. Tang, Z. Zang // *Materials Letters.* — 2017. — Vol. 186. — P. 243–246. Mode of Access: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2016.10.015>.
18. Kumawat, N.K. *Near infrared to visible electroluminescent diodes based on organometallic halide perovskites: structural and optical investigation* / N.K. Kumawat, A. Dey, K.L. Narasimhan, D. Kabra // *ACS Photonics.* — 2015. — Vol. 2. — P. 349–354.
19. Kovalenko, M.V. *Properties and potential optoelectronic applications of lead halide perovskite nanocrystals* / M.V. Kovalenko, L. Protesescu, M.I. Bodnarchuk // *Science.* — 2017. — Vol. 358. — P. 745–750.
20. Jong, U.G. *Revealing the stability and efficiency enhancement in mixed halide perovskites MAPb(I<sub>1-x</sub>Cl<sub>x</sub>)<sub>3</sub> with ab initio calculations* / U.G. Jong, C.J. Yu, Y.M. Jang, G.C. Ri, S.N. Hong, Y.H. Pae // *J. Power Sources.* — 2017. — Vol. 350. — P. 65–72.

## PEROVSKITES FOR SOLAR CELLS AND WAYS TO IMPROVE THEIR STABILITY

*Medvedeva N.V.*

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

*Poznyak A.A. – Ph.D. in Physics and Mathematics, Associate Professor*

*Pligovka A.N. – Ph.D. in Technical Science*

**Annotation.** This paper provides a brief overview of ways to increase the stability of the properties of perovskites for their further use as solar cells. 3 ways of increasing stability have been identified. The reasons for the use of optoelectronic devices in the field and the main problems of implementation are highlighted.

**Keywords.** perovskite, solar cells, optoelectronic devices.

УДК 544.654

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ТОНКИХ ПЛЁНОК ОКСИДОВ НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА ДЛЯ УСТРОЙСТВ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

*Греков И.А., магистрант гр. 146801*

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

*Чубенко Е.Б. – канд. техн. наук*

**Аннотация.** Методом электрохимического осаждения получены пленки оксида кобальта и оксида никеля на подложках монокристаллического кремния. Результаты исследования методом Рамановской спектроскопии показали, что полученные пленки представляют собой поликристаллические структуры оксида кобальта (II, III) и оксида никеля (II). Методом сканирующей электронной микроскопии было установлено, что пленки оксида никеля отличаются гладкой поверхностью, в то время как оксид кобальта состоит из кристаллов пластинчатой формы. Измеренная методом вольтамперометрии удельная электрохимическая емкость пленок оксида кобальта и оксида никеля составила соответственно 14,67 и 1634,08 Ф/г. Высокая удельная электрохимическая емкость пленки оксида никеля может быть использована для создания эффективных электрохимических приборов и устройств накопления энергии.

**Ключевые слова:** оксид никеля, оксид кобальта, электрохимическое осаждение, рамановская спектроскопия, электрохимическая емкость.

**Введение.** Оксиды переходных металлов считаются одним из наиболее интересных классов материалов, демонстрирующих широкое разнообразие свойств и применений. В зависимости от структуры и состава, они могут обладать как полупроводниковыми, так и диэлектрическими свойствами [1]. Оксиды переходных металлов могут быть получены различными методами, среди которых электрохимическое осаждение имеет ряд преимуществ, таких как низкая температура процесса и возможность обработки электродов большой площади.

Среди оксидов переходных металлов оксиды никеля и кобальта представляют большой интерес для создания электрохимических устройств, таких как, аккумуляторные батареи и суперконденсаторы, благодаря распространенности, дешевизне и отличным каталитическим и транспортным свойствам.

В данной статье изучены закономерности процессов катодного электрохимического осаждения оксидов металлов NiO и Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> и их электрохимические свойства, а именно электрохимическая ёмкость, для применения в качестве материалов электродов в устройствах хранения и преобразования электрической энергии.

**Основная часть.** Синтез тонких пленок NiO и Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> проводился электрохимическим методом в двухэлектродной ячейке. В качестве анода использовался платиновый электрод. В

качестве катода – пластины монокристаллического кремния марки ЭКЭС-0,01 с кристаллографической ориентацией (111). Для очистки кремниевых пластин от органических загрязнений использовался насыщенный безводный раствор оксида хрома (VI) в концентрированной серной кислоте с последующей длительной промывкой в деионизованной воде. Далее пластины помещались на 5 мин в 4,5 % водный раствор плавиковой кислоты для удаления с их поверхности слоя оксида кремния. Оксид кобальта осаждался из водного 0,05 М раствора нитрата кобальта при температуре 80 °С, а оксид никеля – из водного 0,025 М раствора хлорида никеля с добавлением 0,54 М хлорида калия и 0,02 М гидроксида калия при температуре 40 °С. Таким же образом были получены пленки этих оксидов с добавлением изопропилового спирта (IP) 10 % от объема раствора и уменьшением температуры осаждения до 20 °С для оксида никеля и до 60 °С для оксида кобальта, так же для него была получена плёнка с увеличением  $pH$  до 7.

Для нагрева и поддержания постоянной температуры в процессе электрохимического осаждения оксидов переходных металлов использовался лабораторный электронагреватель. Все образцы получены в гальваностатическом режиме с помощью потенциогальваностата Metrohm Autolab PGSTAT 302N. Плотность тока составляла 1 мА/см<sup>2</sup>, время осаждения – 10 мин.

Анализ химического состава и кристаллической структуры полученных пленок оксидов проводился методом Рамановской спектроскопии на 3D-сканирующем лазерном спектрометре SOL Instruments Confotec NR500. В качестве источника возбуждающего излучения использовался лазер с длиной волны 473 нм. Электронные микрофотографии поперечных сколов образцов были получены с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Hitachi S-4800.

Электрохимическая емкость пленок была измерена в трехэлектродной ячейке в 1 М водном электролите Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> с помощью потенциогальваностата Metrohm Autolab PGSTAT 302N. Расчет емкости проводился путем интегрирования площади петли вольтамперограммы по формуле [2]

$$C = \frac{\int I(V)dV}{2km\Delta V}, \quad (1)$$

где  $I(V)$  – площадь петли, А;  $k$  – скорость сканирования, В/с,  $m$  – масса пленки, г,  $\Delta V$  – диапазон напряжений, В.

На рисунке 1 представлены спектры Рамановского рассеяния образцов, полученных электрохимическим осаждением из раствора, содержащего нитрат кобальта. Зарегистрированы полосы, соответствующие колебательным модам, характерным для Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Две полосы комбинационного рассеяния на 470 и 512 см<sup>-1</sup> относятся к фоновым модам  $E_g$  и  $F_{2g}$  и соответствуют характеристике тетраэдрической структуры (CoO<sub>4</sub>). Резкая полоса с положением около 676 см<sup>-1</sup>, которая является фоновой модой  $A_{1g}$ , соответствует характеристике октаэдрической структуры (CoO<sub>6</sub>). Увеличение интенсивности этого пика свидетельствует о качестве получаемой кристаллической структуры [3]. Таким образом, пленки, полученные электрохимическим осаждением из раствора, содержащего нитрат кобальта, являются поликристаллическим Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

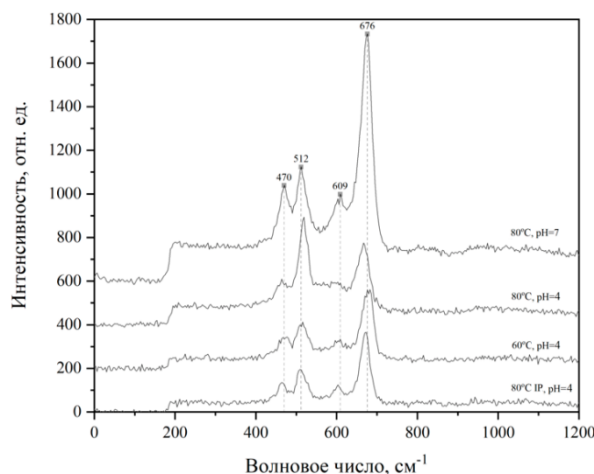


Рисунок 1 – Спектры Рамановского рассеяния пленок  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , полученных электрохимическим методом при различных условиях

Из спектров, приведенных на рисунке 1 видно, что увеличение  $pH$  раствора (начальная кислотность электролита  $pH = 4$ ) при прочих равных условиях, приводит к общему усилению Рамановского сигнала, а также значительному увеличению интенсивности полосы  $A_{1g}$ , что косвенно говорит о снижении концентрации дефектов в пленке и увеличении ее оптической плотности. На спектре пленки, полученной при температуре  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , наблюдается повышенная интенсивность полосы на  $512\text{ см}^{-1}$ , что косвенно говорит о меньшей толщине по сравнению с другими пленками. Добавление изопрпилового спирта в электролит равноценно осаждению при температуре  $60\text{ }^\circ\text{C}$ , что видно из полученных спектров Рамановского рассеяния.

На полученных спектрах Рамановского рассеяния образцов, полученных в результате осаждения из растворов, содержащих ионы никеля (рисунок 2), присутствует несколько характерных полос, расположенных на  $274, 409, 490, 535, 1080$  и  $1562\text{ см}^{-1}$ . Рамановское рассеяние в  $\text{NiO}$  происходит в результате взаимодействия излучения с однофононными молекулярными колебательными модами  $TO$  при  $400\text{ см}^{-1}$  и  $LO$  при  $500$  и  $535\text{ см}^{-1}$ , двухфононными модами  $2TO$  при  $740\text{ см}^{-1}$ ,  $TO+LO$  при  $925\text{ см}^{-1}$  и  $2LO$  при  $1100\text{ см}^{-1}$  и двухмагнонным возбуждением при  $1560\text{ см}^{-1}$ . Пик на  $400\text{ см}^{-1}$  соответствует нестехиометрическому составу пленок  $\text{NiO}$  [4]. Таким образом, сформированные в результате электрохимического осаждения из содержащих ионы никеля растворов пленки представляют собой поликристаллический  $\text{NiO}$ .

Анализ представленных на рис. 2 спектров Рамановского рассеяния показывает, что повышение температуры электролита приводит к увеличению интенсивности пиков, соответствующих колебательным модам кристаллической решетки  $\text{NiO}$ . При добавлении изопрпилового спирта появляется полоса на  $274\text{ см}^{-1}$ , которую не удалось идентифицировать, а при увеличении температуры до  $40\text{ }^\circ\text{C}$  появляется полоса на  $1080\text{ см}^{-1}$ .

Для исследования электрохимических свойств были выбраны образцы, демонстрирующие наибольшую интенсивность Рамановского сигнала, соответствующего  $\text{Co}_3\text{O}_4$  и  $\text{NiO}$ , а их условия получения приняты как оптимальные. В случае  $\text{Co}_3\text{O}_4$  был использован образец, полученный при температуре  $80\text{ }^\circ\text{C}$  без повышения  $pH$ , и в случае  $\text{NiO}$  – полученный при температуре электролита  $40\text{ }^\circ\text{C}$  без добавления спирта.

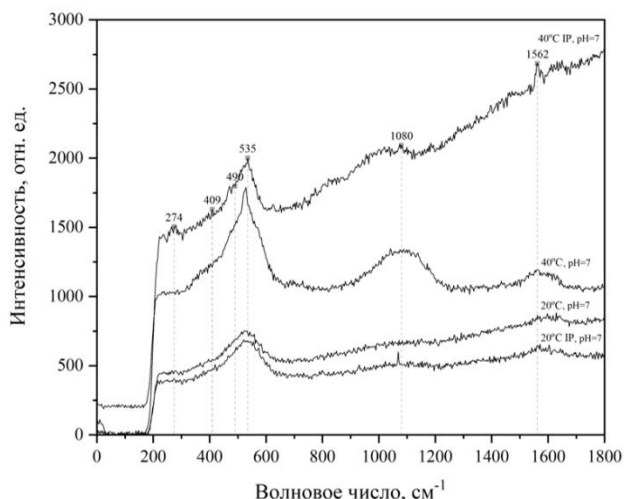


Рисунок 2 – Спектры Рамановского рассеяния пленок NiO, полученных электрохимическим методом при различных условиях

На рисунке 3 представлены изображения поперечных сколов образцов, полученные методом СЭМ. Пленка  $\text{Co}_3\text{O}_4$  представляет собой пластинчатую структуру с толщиной около 4 мкм. Пленка NiO имеет гладкую поверхность с макродефектами в виде трещин и состоит из мелких частиц округлой формы. Ее толщина составила около 500 нм. Меньшая толщина полученной пленки NiO по сравнению с пленкой  $\text{Co}_3\text{O}_4$  обусловлена вдвое меньшей концентрацией ионов никеля в растворе и уменьшением выхода по току. Анализ электронных изображений сколов показывают, что полученные пленки имеют развитую поверхность с большой удельной площадью, что важно для электродов в электрохимических устройствах.

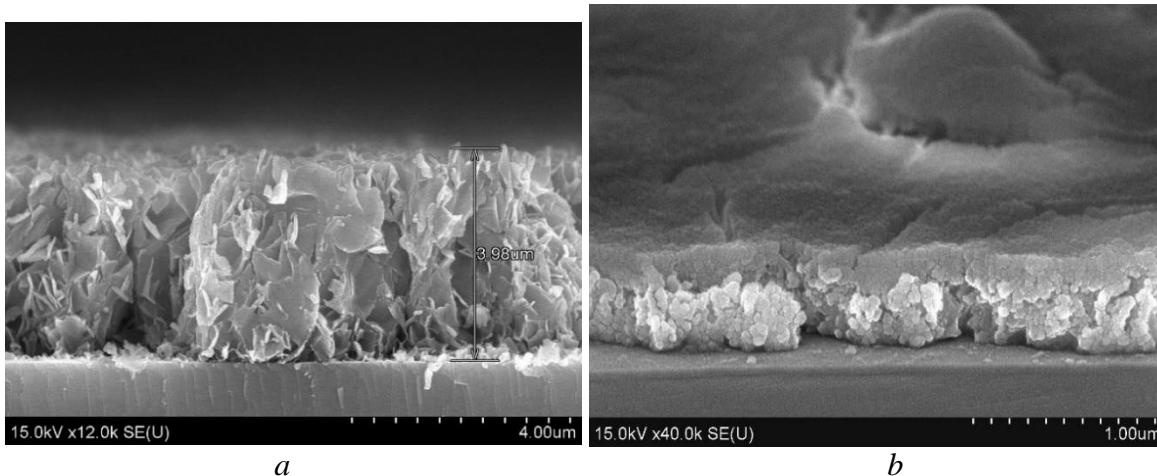
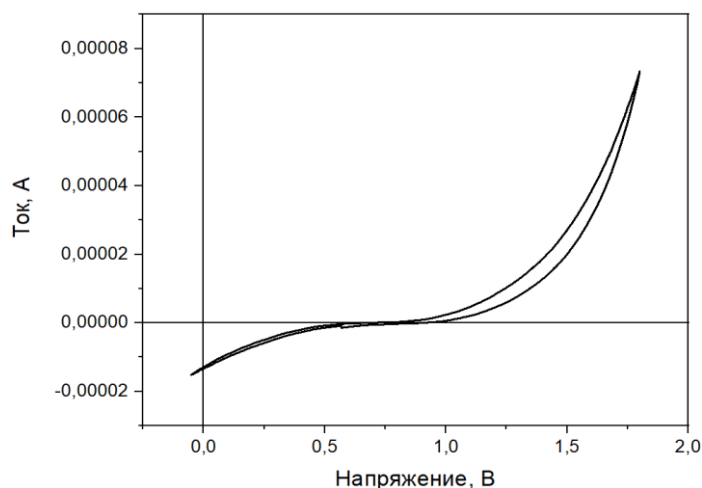
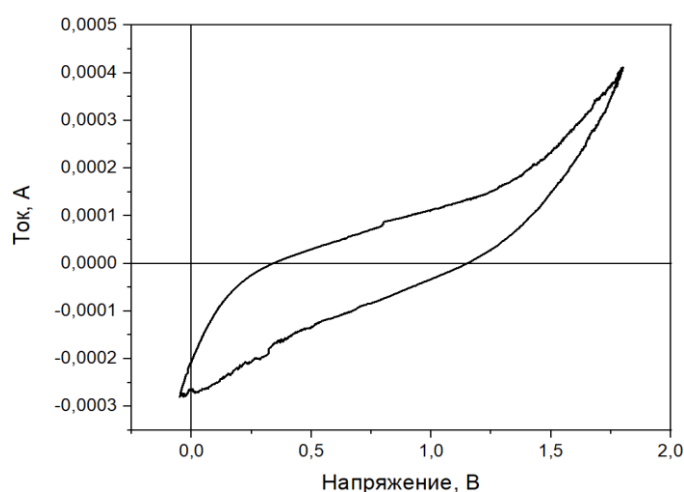


Рисунок 3 – Электронные микрофотографии поперечных сколов пленки  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , осажденной при температуре 80 °С (a), и NiO, осажденной при температуре 40 °С (b)

На рисунках 4 и 5 представлены циклические вольтамперограммы пленки  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , полученной при температуре электролита 80 °С, и пленки NiO, полученной при 40 °С, соответственно.

Рисунок 4 – Вольтамперограмма пленки  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , полученной при температуре  $80\text{ }^\circ\text{C}$ Рисунок 5 – Вольтамперограмма пленки  $\text{NiO}$ , полученной при температуре  $40\text{ }^\circ\text{C}$ 

Расчет удельной электрохимической емкости для  $\text{Co}_3\text{O}_4$  в соответствии с выражением (1) показал, что она равна  $C_{\text{Co}_3\text{O}_4} = 14,67\text{ Ф/г}$ , и для  $\text{NiO}$  –  $C_{\text{NiO}} = 1634,08\text{ Ф/г}$ . Это показывает, что полученные пленки  $\text{Co}_3\text{O}_4$  имеют низкую удельную электрохимическую емкость, по сравнению с проведенными ранее другими исследованиями ( $430,6\text{ Ф/г}$ ) [3]. Это может быть обусловлено меньшей удельной площадью поверхности полученных пленок  $\text{Co}_3\text{O}_4$ . В случае пленки  $\text{NiO}$  измеренная удельная электрохимическая емкость получилась значительно больше, чем в других исследованиях пленок  $\text{NiO}$  ( $170 - 290\text{ Ф/г}$ , в зависимости от температуры отжига) [4], так и  $\text{Co}_3\text{O}_4$  [3]. Увеличение электрохимической емкости может быть связано с высокой удельной площадью поверхности и кристаллической структурой полученных пленок  $\text{NiO}$ .

**Заключение.** Методом электрохимического осаждения получены пленки оксидов никеля и кобальта на подложках монокристаллического кремния. Анализ спектров Рамановского рассеяния показал, что пленки, полученные из растворов, содержащих ионы кобальта, представляют собой поликристаллический  $\text{Co}_3\text{O}_4$ . При электрохимическом осаждении из растворов, содержащих ионы никеля, были получены пленки поликристаллического  $\text{NiO}$ . Показано, что увеличение температуры осаждения приводит к увеличению интенсивности полос Рамановского рассеяния, соответствующих колебательным модам кристаллических решеток полупроводниковых оксидов, что указывает на рост кристаллического совершенства формируемых пленок. Измерения удельной электрохимической емкости пленки  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , полученной при температуре  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , показали, что она равна  $14,76\text{ Ф/г}$ . Удельная электрохимическая емкость пленки  $\text{NiO}$ , полученной при



температуре 40 °С, составила 1634,08 Ф/г. Это один из самых высоких показателей для пленок оксидов переходных металлов, полученных в других исследованиях.

**Список использованных источников**

1. Al-Rashedi, K. *Metal oxide thin films: a mini review* / K. Al-Rashedi, M. Farooqui, M. Mohsin, G. Rabbani // *J. of Advanced Scientific Research*. – 2016. – Vol.7, N.1. – Pp. 1–8.
2. Anwar, A. W. *Specific Capacitance and Cyclic Stability of Graphene Based Metal/Metal Oxide Nanocomposites: A Review* / A. W. Anwar, A. Majeed, N. Iqbal, W. Ullah, A. Shuaib, U. Ilyas, H. M. Rafique // *J. of Materials, Science & Technology*. – 2015. – Vol. 31, N 7. – Pp. 699-707.
3. Jang, G. *Cobalt oxide nanocubes as electrode material for the performance evaluation of electrochemical supercapacitor* / G. Jang, S. Ameen, M. S. Akhtar, H. Shin // *Ceramics International*. – 2018. – Vol.44, N 1. – Pp. 588–595.
4. Subramanian, B. *Structural, optoelectronic and electrochemical properties of nickel oxide films* / B. Subramanian, M. Mohammed Ibrahim, K. R. Murali, V. S. Vidhya, C. Sanjeeviraja, M. Jayachandran // *J. of Materials Science*. – 2009. – Vol. 20, N 10. – Pp. 953–957.

UDC 544.654

## ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF THIN FILMS OF NICKEL AND COBALT OXIDE FOR ENERGY STORAGE DEVICES

*Grekov I.A.*

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

*Chubenko E.B. – PhD*

**Annotation.** Films of cobalt oxide and nickel oxide on monocrystalline silicon substrates were obtained by electrochemical deposition from aqueous electrolyte solutions. The results of the study by Raman spectroscopy showed that the obtained films are polycrystalline structures of cobalt (II, III) oxide and nickel (II) oxide. It was found by scanning electron microscopy that nickel oxide films have a smoother surface, while cobalt oxide has a more developed structure consisting of lamellar crystals. The specific electrochemical capacity of cobalt oxide and nickel oxide films obtained under optimal conditions, measured by voltammetry, was 14.67 and 1634.08 F/g, respectively. The high specific electrochemical capacity of a nickel oxide film can be used to create efficient electrochemical devices and energy storage devices.

**Keywords:** nickel oxide, cobalt oxide, electrochemical deposition, Raman spectroscopy, electrochemical capacitance.

УДК 535.3 + 543.4

## ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕЛАМИНА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИНТЕЗИРОВАННЫХ CVD-ПОДОБНЫМ МЕТОДОМ ТОНКИХ ПЛЕНОК ГРАФИТОПОДОБНОГО НИТРИДА УГЛЕРОДА

*Буй К.Д., магистрант, Фам В.Т., аспирант*

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

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

**Аннотация.** Проведено исследование влияния массы навески меламина на процесс синтеза тонкой пленки графитоподобного нитрида углерода ( $g\text{-C}_3\text{N}_4$ ) на стеклянных подложках и монокристаллическом кремний методом химического осаждения из паровой фазы в инертной атмосфере аргона с использованием двухзонной печи. Полученный материал исследован методами оптической спектроскопии путем измерения спектров фотолюминесценции, поглощения и пропускания. Методом разложения спектров фотолюминесценции методом Гаусса были выделены отдельные излучательные переходы в  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ . Увеличение их энергии при уменьшении массы навески меламина указывает на изменение положения энергетических уровней в запрещенной зоне полупроводника, вызванное увеличением роли термического разложения в процессе роста пленки  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ . Показано, что оптическая ширина запрещенной зоны уменьшается со снижением массы навески меламина с 2,67 до 2,71 эВ, что обусловлено увеличением степени полимеризации материала. Исследованные закономерности могут быть использованы для разработки технологии изготовления светоизлучающих устройств и фотокаталитических покрытий на основе тонких пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ .

**Ключевые слова.** графитоподобный нитрид углерода, фотолюминесценция, оптическая спектроскопия, тонкие пленки, меламина

Графитоподобный нитрид углерода ( $g\text{-C}_3\text{N}_4$ ) относится к новому классу органических полупроводников. Он считается наиболее стабильным среди прочих соединений азота (N) и углерода (C). Благодаря ширине запрещенной зоны 2,7 эВ (при 300 К), соответствующей оптическому диапазону, удачному положению краев энергетических зон относительно потенциала

электрохимического восстановления водорода и кислорода, отсутствию атомов металлов в составе, низкой себестоимости, химической стойкости и нетоксичности  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  применяется в качестве материала для фотокаталитического разложения органических загрязнителей в жидких средах, фотовосстановления водорода и  $\text{CO}_2$ , электрокатализа и для изготовления датчиков [1].

Существует два основных типа кристаллического строения  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ . Первый тип, получаемый из расплава соли под высоким давлением, состоит из молекул s-триазина (ароматическое кольцо  $\text{C}_3\text{N}_3$ ). Второй тип состоит из молекул три-s-триазина ( $\text{C}_6\text{N}_7$ ), представляющих собой три объединенных друг с другом ароматических кольца. Термическая конденсация мономеров, например, меламина, циандиамида, дициандиамида, тиомочевины или мочевины, при температурах 450 – 625 °С приводит к образованию порошка или неупорядоченных слоев  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  с высокой концентрацией структурных дефектов. При этом возможность выбора прекурсоров и температуры синтеза позволяет управлять оптическими и электронными свойствами  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  [2].

В последнее время были предложены способы формирования пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  на твердых подложках. Их можно разделить на два типа: подходы «сверху вниз» и «снизу вверх». Методы «сверху вниз» включают нанесение заранее приготовленных порошков  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  или нанослоев на подложку. Методы «снизу вверх» включают термическую конденсацию пара, микроконтактную печать, сольвотермальный метод и электроосаждение. Они способны обеспечить плотный контакт пленок с подложками. Даже ультразвуковая обработка не может отделить их. К методам синтеза «снизу вверх» относится так же химическое осаждение из паровой фазы (CVD), обладающее преимуществом контроля параметров, влияющих на процесс синтеза пленки  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ , таких как температура, скорость потока пара или масса прекурсора [3]. Разработка технологий получения тонких пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  позволит использовать этот материал не только в качестве фотокатализатора, но и в оптоэлектронных приборах или фотогальванических элементах.

Для быстрой оценки свойств  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  хорошо подходят методы оптической спектроскопии: исследование спектров фотolumинесценции (ФЛ), пропускания и поглощения. На сегодняшний день опубликовано много работ, посвященных изучению зависимости фотolumинесценции от температуры, давления или влияния легирования  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ . В настоящей работе методы оптической спектроскопии были использованы для исследования влияния концентрации исходных веществ на процесс синтеза тонких пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  CVD-подобным методом осаждения [4] с использованием меламина в качестве прекурсора.

Для подготовки пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  на различных подложках использовали CVD-подобный процесс, основанный на пиролизном разложении меламина с последующей термической полимеризацией [4]. Процесс проводили в двухзонной печи в кварцевой трубе с внутренним диаметром 12 мм. Навеску прекурсора размещали в низкотемпературной зоне, нагревавшейся до 350 °С. Масса меламина составляла 70, 130 и 400 мг. Формирование  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  происходило при постоянной температуре 600 °С в течение 50 мин. В процессе осаждения через трубу продували инертный газ-носитель – аргон (Ar). После завершения процесса синтеза кварцевая труба остывала естественным путем до температуры, близкой к комнатной. В качестве подложек для осаждения  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  использовали квадратные пластинки из стекла квадратной формы размером 10x10 мм (обозначены ниже, как Glass), пластины монокристаллического кремния, покрытого слоем термического оксида кремния толщиной 100 нм (обозначены как Si/SiO<sub>2</sub>) и чистого монокристаллического кремния марки КДБ-10 (Si). На рисунке 1 представлена схема процесса синтеза тонких пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ .

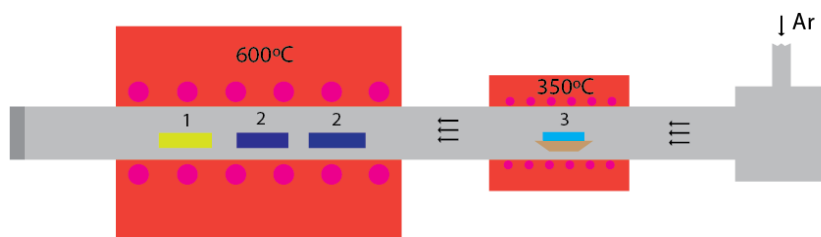


Рисунок 1 – Схема синтеза  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  методом термического разложения меламина. 1 – стеклянная подложка, 2 – подложки из монокристаллического кремния, 3 – навеска меламина

ФЛ пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  на подложках исследовали при комнатной температуре в условиях ее возбуждения монохроматическим излучением с длиной волны 345 нм, который выделялся из спектра излучения ксеноновой лампы мощностью 1 кВт с использованием монохроматора Solar TII DM 160. Спектр ФЛ регистрировали монохроматором-спектрографом Solar TII MS 7504i. Детектором излучения служила цифровая фотокамера, оснащенная кремниевой ПЗС матрицей Hamamatsu S7031. Спектры пропускания и отражения образцов в оптическом диапазоне исследовались на спектрофотометре Proscan MC121.

На рисунке 2, а приведены спектры ФЛ тонких пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ , полученных на стеклянных и кремниевых подложках при различной массе навески меламина: 70, 130 и 400 мг. Из результатов,

приведенных на рисунке 2, а, видно, что максимальная интенсивность ФЛ полученных пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  наблюдается на подложках из монокристаллического кремния (Si). На подложках Si/SiO<sub>2</sub> она несколько уменьшается. Минимальная интенсивность ФЛ измерена на стеклянных подложках. Разница в форме спектров ФЛ незначительна при изменении массы меламина, но можно отметить смещение положения максимума ФЛ в длинноволновую область при увеличении массы навески прекурсора. Для детального анализа процессов рекомбинации в полученных пленках  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  в соответствии с существующими представлениями о возможных излучательных переходах между энергетическими уровнями в  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  (рисунок 2, б) было применено разложение спектров ФЛ на отдельные компоненты, имеющие форму симметричного распределения Гаусса, в программном обеспечении OriginPro. Зависимость положения пиков ФЛ от массы исходной навески меламина представлены на рисунке 3.

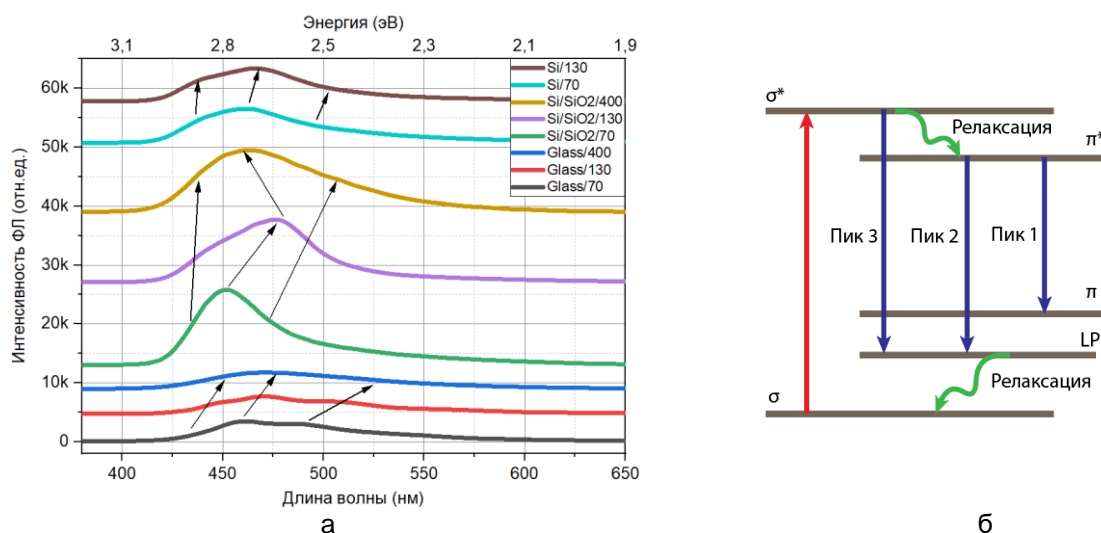


Рисунок 2 – Спектры ФЛ тонкой пленки  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  при разных условиях подложек и масс меламина (а), зонная диаграмма  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  (б)

Процессы излучательной рекомбинации  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  включают несколько возможных переходов между энергетическими уровнями в зонной структуре полупроводника. Валентная зона  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  образована  $\sigma$ -связями с  $sp^3$ -гибридизацией и  $\pi$ -связями C-N с  $sp^2$ -гибридизацией (рисунок 2, б) [5]. Зона проводимости является результатом суперпозицией  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в возбужденном состоянии (обозначены  $\sigma^*$  и  $\pi^*$  соответственно) [5]. Переход от системы, образованной  $\sigma$ -связями, к энергетической системе, обусловленной наличием  $\pi$ -связей, происходит при увеличении степени полимеризации материала за счет образования большего числа связей между молекулами три-с-триазина и полимерными цепочками мелона [6]. В энергетической структуре материала обычно также присутствуют уровни, связанные с неподеленными электронными парами азота ( $LP$ ), расположенные вблизи потолка валентной зоны в системе  $\sigma$ - $\sigma^*$ , но ниже уровня, соответствующего  $\pi$ -связям. Поэтому наблюдаемые на спектрах ФЛ после разложения пики могут быть связаны с переходами  $\pi^*$ - $\pi$  (пик 1),  $\pi^*$ - $LP$  (пик 2),  $\sigma^*$ - $LP$  (пик 3) [5].

Графики на рисунке 3 показывают, что максимум энергии пиков для всех образцов уменьшается с увеличением массы навески меламина. На образцах, полученных на стеклянных подложках, также при малой массе меламина (70 и 130 мг) наблюдаются дополнительные пики при меньших энергиях в области 2,2 – 2,4 эВ.

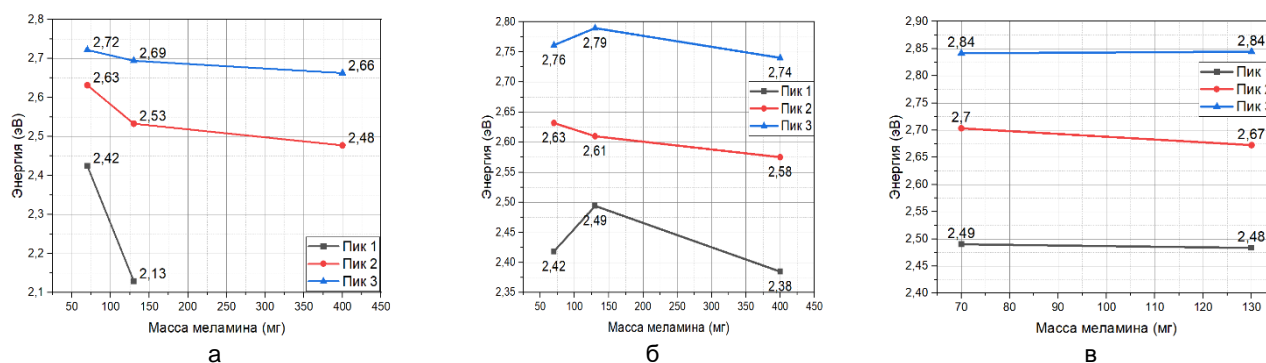


Рисунок 3 – Зависимость положения отдельных пиков ФЛ пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  в зависимости от массы навески меламина на различных подложках Glass (а), Si/SiO<sub>2</sub> (б) и Si (в)

Также были сняты спектры поглощения и пропускания тонких пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  на стеклянных подложках, полученных при различной массе навески меламина (рисунок 4). Они показывают увеличение пропускания света при росте массы прекурсора меламина в диапазоне длин волн 450 – 800 нм (1,55 – 2,76 эВ). По полученным данным по методу Swanпоэля были рассчитаны показатель преломления  $n$  (рисунок 4, г) и толщина тонкой пленки  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ , равная 732, 1030 и 5667 нм для образцов, полученных при массе меламина 70, 130 и 400 мг, соответственно. Спектры поглощения, перестроенные в координатах Тауца, позволяют графическим методом определить значение энергии ширины запрещенной зоны  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  (рисунок 4, в). Полученное таким образом значение непрямой запрещенной зоны увеличивается с ростом массы прекурсора и составляет 2,67, 2,68 и 2,71 эВ соответственно для массы навески меламина 70, 130 и 400 мг.

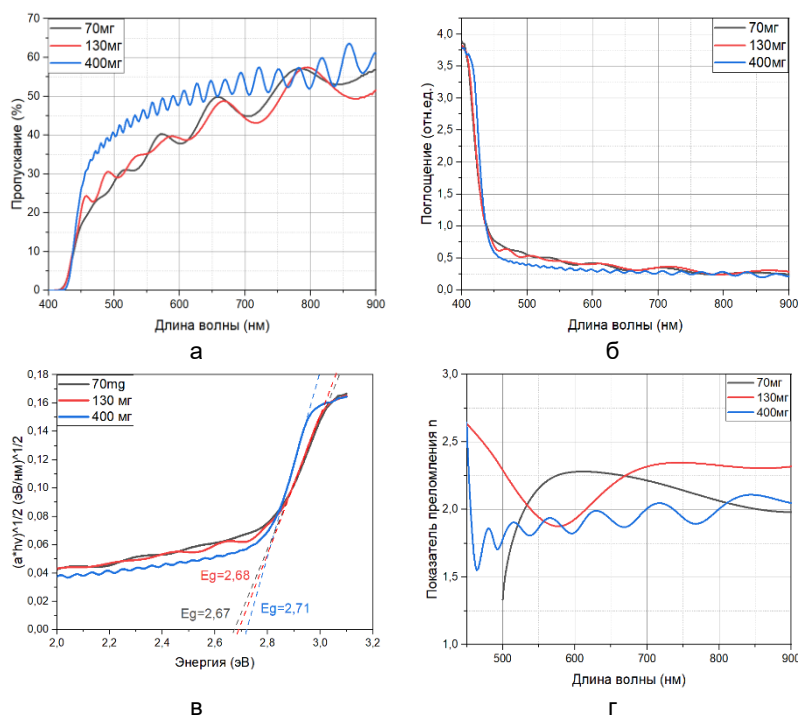


Рисунок 4 – Спектры пропускания (а), спектры поглощения в линейных координатах (б) и координатах Тауца (в), спектральная зависимость показателя преломления  $n$  (г) тонких пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ , полученных на стеклянных подложках при различной массе навески меламина

Значение показателя преломления  $n$ , полученного из спектра пропускания тонких пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  на стеклянных подложках, рассчитывалось по формуле [6]:

$$n = \sqrt{2s \frac{T_M - T_m}{T_M T_m} + \frac{s^2 + 1}{2} + \sqrt{\left(2s \frac{T_M - T_m}{T_M T_m} + \frac{s^2 + 1}{2}\right)^2 - s^2}} \quad (1)$$

где  $T_M$  и  $T_m$  - касательные, огибающие интерференционные максимумы и минимумы спектра пропускания соответственно. Показатель преломления стеклянной подложки  $s$  был выбран равны 1,51.

Экспериментальные данные показывают, что изменение массы навески меламина приводит к изменению оптических свойств тонких пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ , формируемых на стеклянных и кремниевых подложках. Осаждение  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  в используемом методе происходило при испарении меламина в низкотемпературной зоне печи при 350 °С и последующем транспорте паров за счет движения газа носителя (Ar) и собственной диффузии. Процесс испарения длился достаточно длительное время (50 мин), в течение которого происходило практически полное испарение прекурсора, контролировавшееся по остаточной массе меламина после осаждения. Можно предположить, что навеска меньшей исходной массы предоставляла меньшую площадь испарения, поэтому скорость образования паров и их конденсации на поверхности подложки за счет меньшей концентрации пара у ее поверхности были меньше. Образующаяся в таких условиях пленка может характеризоваться большей степенью полимеризации [7], которая обычно приводит к уменьшению оптической ширины запрещенной зоны, наблюдавшемуся в исследованной серии образцов, полученных при различной массе навески меламина.

Формирование  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  при заданной достаточно высокой температуре синтеза  $600\text{ }^\circ\text{C}$  протекает в условиях динамического баланса между полимеризацией мелона и разложением образующегося материала за счет испарения углеродсодержащих веществ [6]. Уменьшение давления паров меламин может увеличивать роль процессов разложения в формировании структуры и оптических свойств получаемых пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ . Сдвиг положения энергетических уровней в запрещенной зоне, соответствующих дефектам кристаллической структуры (в частности,  $LP$ ), в пленках  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ , полученных с использованием навески меньшей массы, может приводит к изменению энергии оптических переходов, наблюдаемому по результатам математического анализ спектров ФЛ (рисунок 3). Однако необходимо также учесть возможное влияние эффекта интерференции, обычно возникающего при увеличении толщины тонкой пленки на подложке из других материалов, усложняющего результаты спектрального анализа ФЛ.

Таким образом, был проведен анализ влияния условий синтеза на оптические и структурные свойства тонких пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ , сформированных CVD-подобным методом на стеклянных подложках и монокристаллическом кремнии. Установлено, что при уменьшении массы исходной навески меламин, служившего в качестве источника материала для полимеризации  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ , происходит сдвиг оптической ширины запрещенной зоны, определенной по спектрам пропускания в оптической диапозоне, в область меньших энергий. Это связано с увеличением степени полимеризации полупроводника, формируемого в условиях меньшей скорости роста при уменьшении давления паров меламин, скорость выделения которых убывает с массой навески прекурсора. Анализ спектров ФЛ путем разложения по методу Гаусса показал, что при изменении массы прекурсора происходит сдвиг энергии отдельных излучательных переходов, что может быть обусловлено изменением энергии связанных с дефектами кристаллической структуры уровней в запрещенной зоне  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ .

Исследованные закономерности могут быть использованы для разработки технологии изготовления светоизлучающих устройств и фотокаталитических покрытий на основе тонких пленок  $g\text{-C}_3\text{N}_4$ , полученных путем термического разложения меламин в CVD-подобном процессе.

Данная работа выполнена в рамках задания 1.4 ГПНИ Республики Беларусь «Материаловедение, новые материалы и технологии».

**Список использованных источников:**

1. Bian, J. Graphitic carbon nitride film: An emerging star for catalytic and optoelectronic applications / J. Bian, C. Huang, R.-Q. Zhang // *ChemSusChem*. – 2016. – Т.9, №19. – С.2723–2735.
2. Structural and photoluminescence properties of graphite-like carbon nitride / A.V. Baglov [et al.] // *Semiconductors*. – 2020. – Vol. 54, No. 2. – P.226–230.
3. Graphitic carbon nitride films: Emerging paradigm for versatile applications / C. Jia [et al.] // *ACS Appl. Mater. Interfaces*. – 2020. – Т.12, №48. – С.53571–53591.
4. Chemical vapor deposition of 2D crystallized  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  layered films / E. B. Chubenko [et al.] // *J. Phys. Chem. C*. – 2022. – Vol. 126, Iss. 9. – P. 4710–4714.
5. High-yield synthesis and optical properties of  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  / Y. Yuan [et al.] // *Nanoscale*. – 2015. – Vol. 7, №29. – P.12343–12350.
6. Improvement of Swanepoel method for deriving the thickness and the optical properties of chalcogenide thin films / Y. Jin [et al.] // *Optics express*. – 2017. – Vol. 25, №1. – P.440–451.
7. Graphitic carbon nitride materials: variation of structure and morphology and their use as metal-free catalysts / A. Thomas [et al.] // *J. Mater. Chem*. – 2008. – Vol. 18. – P. 4893–4908.

UDC 535.3 + 543.4

## INFLUENCE OF MELAMINE CONCENTRATION ON OPTICAL PROPERTIES OF THE GRAPHITIC CARBON NITRIDE THIN FILMS SYNTHESIZED IN CVD-LIKE PROCESS

*Bui C.D. master student, Pham V.T. PhD student*

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

*Chubenko E.B. – PhD in Technical Science*

**Annotation.** The effect of the weight of the melamine suspension on the synthesis of a thin film of graphitic carbon nitride ( $g\text{-C}_3\text{N}_4$ ) on glass substrates and single-crystal silicon by chemical vapor deposition in an inert argon atmosphere using a two-zone furnace was investigated. The obtained material was studied by optical spectroscopy by measuring the photoluminescence, absorption, and transmission spectra. Individual radiative transitions in  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  were isolated by the method of decomposition of photoluminescence spectra by the Gaussian method. An increase in their energy with a decrease in the mass of the melamine sample indicates a change in the position of the energy levels in the band gap of the semiconductor caused by an increase in the role of thermal decomposition in the growth of the  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  film. It is shown that the optical band gap decreases with a decrease in the weight of the melamine sample from 2.67 to 2.71 eV, which is due to an increase in the degree of polymerization of the material. The studied patterns can be used to develop a technology for manufacturing light-emitting devices and photocatalytic coatings based on  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  thin films.

**Keywords.** graphitic carbon nitride, photoluminescence, optical spectroscopy, thin films, melamine

## БЛОК ТАЙМЕРА/СЧЕТЧИКА 8-БИТНОГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Шепелева Е.Д.

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

Ловшенко И.Ю. – ст. преподаватель каф. МНЭ,  
зав. НИЛ 4.4 НИЧ БГУИР

Аннотация. Любой микроконтроллер содержит несколько встроенных таймеров. Причем по своему назначению их можно разделить на две категории: таймеры общего назначения и сторожевые таймеры, предназначенные для автоматического перезапуска микроконтроллера в случае сбоя при выполнении его программы. В работе рассмотрено построение таймера-счетчика и предделителя. За основу выбрана структура микроконтроллера Atmega8 компании Atmel.

Для того, чтобы микроконтроллер (МК) заработал, необходимо подать на центральный процессор тактовые импульсы, от частоты следования которых зависит время выполнения операций и потребляемая мощность. Формированием тактовых частот занимается подсистема синхронизации, элементом которой является таймер/счетчик. Таймеры общего назначения используются для формирования различных интервалов времени и прямоугольных импульсов заданной частоты. Кроме того, они могут работать в режиме счетчика и подсчитывать тактовые импульсы заданной частоты, измеряя, таким образом, длительность внешних сигналов, а также при необходимости подсчитывать количество любых внешних импульсов.

На рисунке 1 представлена структурная схема программируемого двунаправленного таймера/счетчика.

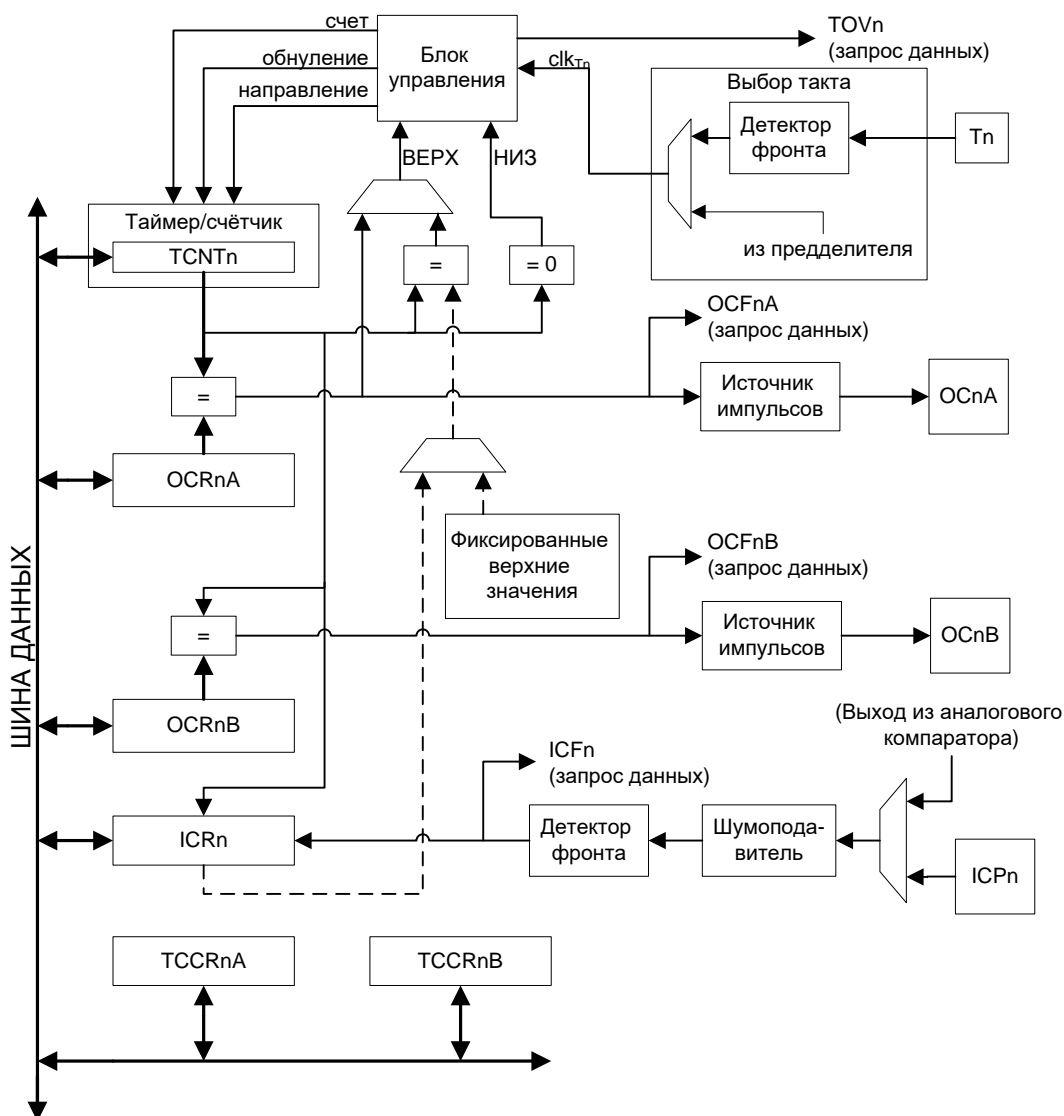


Рисунок 1 – Структурная схема таймера/счетчика

Данная реализация обеспечивает два отдельных блока сравнения, двойную буферизацию регистров порога сравнения (OCRn), один блок захвата, подавитель шума на входе блока захвата, автоматическую перезагрузку, ряд независимых источников прерывания (TOVn, OCFnA, OCFnB, ICFn). В регистре таймера/счетчика TCNTn происходит перезапись числа, соответствующего текущему значению счета. Регистр таймера/счетчика обеспечивает доступ, и для чтения, и для операций записи, к 8-разрядному модулю таймера/счетчика.

Регистры TCCRnA и TCCRnB – 8-разрядные регистры управления таймерами.

Регистры OCRnA и OCRnB – это регистры порогов сравнения, в которые занесены числа, значения регистров порогов сравнения, непрерывно сравниваются со значением счетчика. При совпадении значений сравниваемых регистров устанавливается соответствующий флаг прерываний (OCFnA/B), который в свою очередь может служить источником прерывания.

Регистр захвата (ICRn) позволяет запомнить состояние таймера/счетчика при возникновении заданного внешнего события (фронт внешнего сигнала) на входе захвата фронта ICPn или на выходах аналогового компаратора. На входе захвата фронта предусмотрена схема цифровой фильтрации (шумоподавитель) для снижения риска срабатывания схемы захвата от помехи.

Шумоподавитель повышает помехозащищенность за счет использования простой схемы цифровой фильтрации. Включается установкой соответствующего бита в регистре управления таймером/счетчиком B.

Каждый таймер микроконтроллера может работать от двух разных источников тактовых импульсов: внешних или импульсов, формируемых внутренней схемой МК. Сигнал от источника импульсов попадает на вход предварительного делителя, который предназначен для расширения диапазон формируемых частот и длительностей таймера (частота может быть изменена в 8, 32, 64, 128, 256 или 1024 раз). Также предделитель используется, когда необходимо получить большой интервал времени (используется выход на 1024) при использовании в качестве источника тактового генератора МК. Важным является выполнение сброса параметров предделителя (т.к. он работает постоянно) с учетом его совместного использования разными таймерами.

На рисунке 2 представлена структурная схема предделителя.

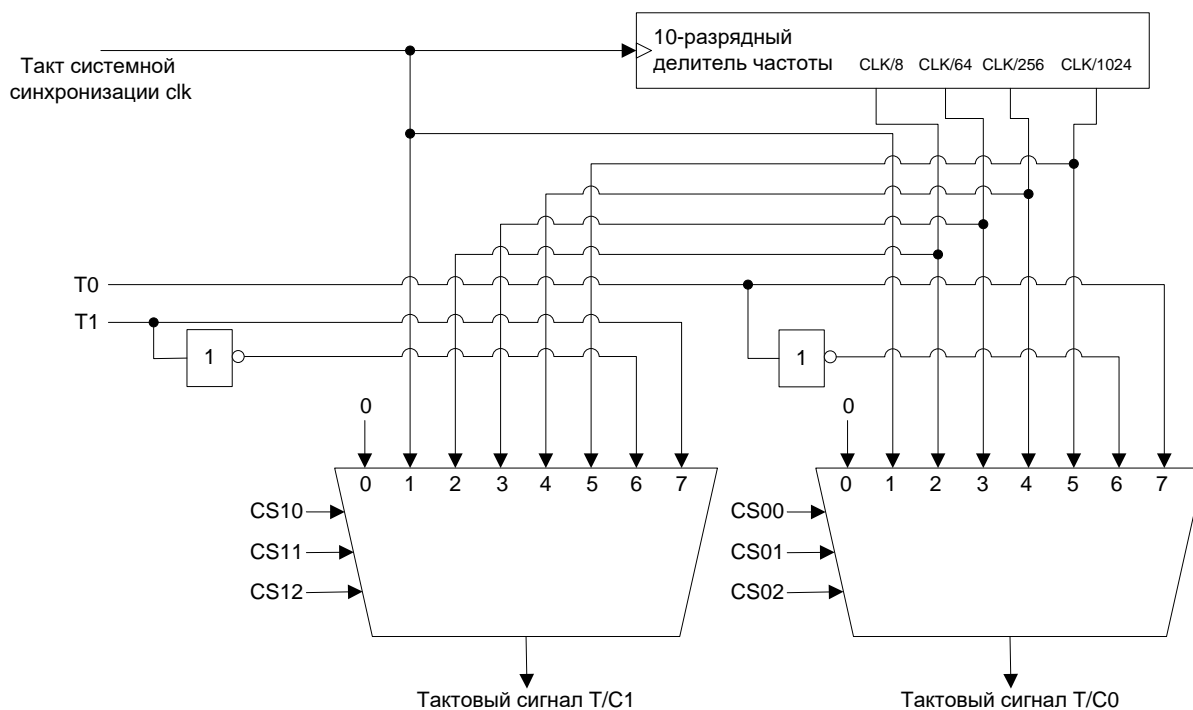


Рисунок 2 – Структурная схема предделителя

Предделитель представляет собой делитель частоты с выходным счетчиком, скомпонованным из триггеров. Группы сигналов CS0 и CS1 позволяют выбрать в качестве тактового сигнала таймеров/счетчиков (clk) необходимый выход предделителя, нулевой (что приостановит их работу) или внешний сигналы. Внешний сигнал подключается к выводу T1/T0. Вывод T1/T0 опрашивается каждый такт системной синхронизации логикой синхронизации данного вывода.

Таким образом, выбранное структурное решение таймера/счетчика может быть использовано при проектировании 8-битного микроконтроллера с архитектурой компьютера с сокращенным набором команд.

**Список использованных источников:**

1. Евстифеев, А. В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL / А. В. Евстифеев. – 5-е изд., стр. – М. : Додэка-XXI, 2008. – 250 с.

## РАЗРАБОТКА 8-БИТНОГО АРИФМЕТИКО-ЛОГИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА

Новиков П.Э.

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

Ловшенко И.Ю. – ст. преподаватель каф. МНЭ,  
зав. НИЛ 4.4 НИЧ БГУИР

Аннотация. Приведены этапы разработки и основные результаты схемотехнического моделирования арифметико-логического устройства 8-битного микроконтроллера с архитектурой компьютера с сокращенным набором команд.

Арифметико-логическое устройство (АЛУ) представляет собой многофункциональную комбинационную цифровую логическую схему, которая требует одного или двух операндов (чисел на входе), на основе преобразования которых выдает результат.

Структурная схема АЛУ, представленная на рисунке 1, позволяет выполнять арифметические, логические и побитовые операции. Логический блок представлен функциями «И», «ИЛИ», «НЕ», «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ», «ДОПОЛНЕНИЕ», арифметический – целочисленным многоразрядным сумматором, схема которого дополнена логикой, расширяющей его функциональные возможности, побитовый – операциями сдвига и сброса (установки) одного бита (всего 48 команд). Все блоки работают параллельно, выходной сигнал АЛУ формируется путем выбора выходного сигнала требуемого блока.

В целях достижения максимальной производительности и параллельности используется архитектура с отдельными памятью и шинами программ и данных. Команды в памяти программ выполняются с одноуровневой конвейеризацией. В процессе выполнения одной инструкции следующая предварительно считывается из памяти программ. Данная концепция позволяет выполнять одну инструкцию за один машинный цикл.

Помимо результирующего выхода АЛУ, также есть регистр флагов. Флаги АЛУ обычно включают флаг переноса, переполнения, отрицательный и нулевой и характеризуют выходные данные. Ряд операций использует только регистр флагов. Например, процесс реализации операции сравнения и требования к операндам такие же, как для операции вычитания, но при этом результат вычитания не сохраняется, а результат – установка флага нуля, если операнды равны, или отрицательного, если второй операнд больше первого. Данная информация может использоваться для ветвления программы по условию.

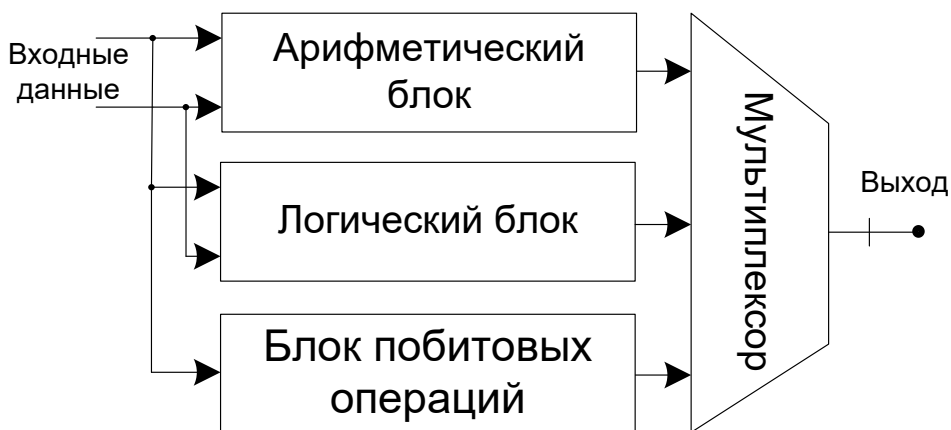


Рисунок 1 – Структурная схема АЛУ

Разработка устройства проводилась в программном комплексе компании Cadence на основе КМОП-транзисторов с проектными нормами 180 нм. В результате моделирования эксплуатационных характеристик установлено, что времена задержек сигналов на уровне 50% составили 1,1 нс, 1,0 нс, 0,7 нс и 2,1 нс при переключении из логического «0» в логическую «1», и 0,8 нс, 0,6 нс, 0,6 нс и 2,4 нс из «1» в «0» для арифметического, логического блоков и блока побитовых операций соответственно.

### Список использованных источников:

1. An optimization design approach for arithmetic logic unit / J. R. Shinde [et al.] // International Conference on Intelligent Computing and Communication Technologies, 2019. P. 707-716
2. The design off arithmetic logic unit based on ALM / H. Zhang [et al.] // International Workshop on Information and Electronics Engineering, 2012. P. 1969-1973



# АРСЕНИД-ГАЛЛИЕВЫЙ ГЕТЕРОПЕРЕХОДНЫЙ БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

Кратович П.С., Тернов Р.Е.

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

Ловшенко И.Ю. – ст. преподаватель каф. МНЭ,  
зав. НИЛ 4.4 НИЧ БГУИР

Аннотация. Представлены результаты моделирования электрических характеристик приборной структуры гетеропереходного биполярного транзистора на основе GaAs.

Актуальной задачей силовой и СВЧ-электроники является поиск и применение новых материалов, способных функционировать на заданных частотах и обеспечивать при этом стабильность электрических параметров от температуры. Полупроводниковые соединения групп  $A_{III}B_V$  (InAs, GaAs и т. д.) и  $A_{II}B_{VI}$  (CdSe, ZnS и т. д.) в отличие от кремния характеризуются большим значением ширины запрещенной зоны (возможно изменение в пределах от 0,17 эВ в InSb до 3,39 эВ – в GaN), что обеспечивает увеличение диапазона рабочих температур [1]. Также соединения  $A_{III}B_V$  отличаются малой эффективной массой носителей электрического заряда, а, следовательно, их высокой подвижностью.

Выбор используемых материалов и разработка технологического маршрута формирования гетеропереходных биполярных транзисторов (ГБТ) являются важными этапами проектирования устройства. В качестве технологии формирования слоев для воспроизведения заданной структуры предлагается использовать молекулярно-лучевую эпитаксию, которая обеспечивает: точные значения концентрации примеси без образования; возможность регулирования химического состава; формирование тонких и сверхтонких слоев [2, 3]. В дальнейшем геометрия структуры формируется с помощью фотолитографии. В качестве материалов электродов наиболее часто используются титан (для обеспечения лучшей адгезии к области контакта), платина (предотвращает диффузию золота через титан в структуру) и золото (обладает низким удельным сопротивлением) [4].

В качестве базовой выбрана приборная структура ГБТ, приведенная на рисунке 1,а [5]. Атомный состав  $Al_xGa_{x-1}As$ , работа выхода контактных областей, концентрация легирующей примеси в слоях является критически важной для моделирования эксплуатационных характеристик информации. Стехиометрический коэффициент атомного состава  $x$  в структуре равен 0,14. Работа выхода контактов эмиттер, база, коллектор равны 3,95 эВ, 5,5 эВ и 4,7 эВ соответственно. Концентрация примеси в подложке, субколлекторе, коллекторе, базе,  $n$ -эмиттере,  $p$ -эмиттере, равны  $0, 5 \cdot 10^{19}, 10^{17}, 10^{18}, 10^{17}, 10^{18} \text{ см}^{-3}$  соответственно.

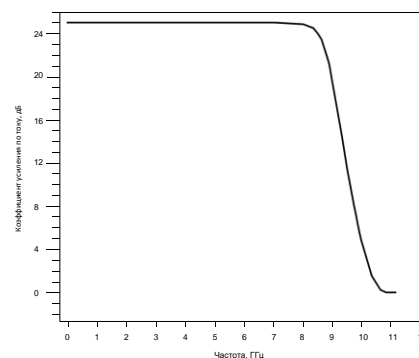
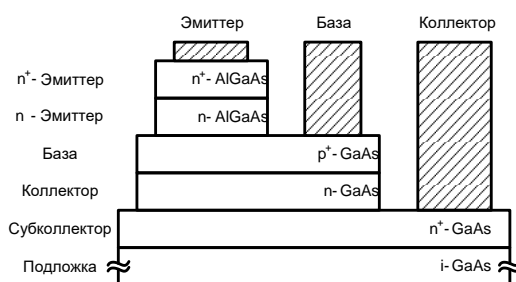


Рисунок 1 – Базовая приборная структура ГБТ (а) и зависимость коэффициент передачи по току  $h_{21}$  от частоты (б)

В данной работе структура металлизации представляет собой систему Ti/Pt/Au, такой контакт в совокупности с указанными параметрами обеспечивает работу ГБТ на граничной частоте 31,71 ГГц, и предельной частоте 603 МГц (рисунок 1,б).

### Список использованных источников:

1. Войтович, В. Si, GaAs, SiC, GaN-силовая электроника. Сравнение, новые возможности / В. Войтович, А. Гордеев, А. Думаневич // Силовая электроника. – 2010. – №. 28. – С. 4–10.
2. Fischer R. et al. GaAs bipolar transistors grown on (100) Si substrates by molecular beam epitaxy // Applied physics letters. – 1985. – Т. 47. – №. 4. – С. 397-399.
3. Colinge, J. P. Physics of semiconductor devices / J. P. Colinge, C. A. Colinge. – USA : Springer Science & Business Media, 2005. – 436 с.
4. Sze, S. M. Physics of semiconductor devices / S. M. Sze, Y. Li, K. Ng K. – USA : John Wiley & sons, 2021. – 944 с. Gao
5. G. B. Emitter ballasting resistor design for, and current handling capability of AlGaAs/GaAs power heterojunction bipolar transistors / G. B. Gao, et al. // IEEE Transactions on Electron Devices. – 1991. – Vol. 38. – №. 2. – pp. 185-196.

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ ПЕРИФЕРИЙНЫЙ ИНТЕРФЕЙС

Иванчик В.А.

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

Ловшенко И.Ю. – ст. преподаватель каф. МНЭ,  
зав. НИЛ 4.4 НИЧ БГУИР

Аннотация. Описывается разработка структурной схемы последовательного периферийного интерфейса 8-битного микроконтроллера.

Микроконтроллер (МК) – программируемое вычислительное устройство, обладающее набором периферийных устройств и применяемое для решения задач управления в технических системах. Для организации обмена данными между МК и другими устройствами могут быть использованы: последовательный периферийный интерфейс (англ. serial peripheral interface, SPI), универсальный синхронный/асинхронный приёмопередатчик (англ. universal synchronous and asynchronous serial receiver and transmitter, USART), двухпроводной последовательный интерфейс (англ. two-wire serial interface, TWI), сеть контроллеров (англ. controller area network, CAN) [1, 2], системная шина управления (англ. System Management Bus, SMBus) [3].

Преимуществами SPI-интерфейса являются:

- полнодуплексная связь в стандартном исполнении этого протокола;
- более высокая пропускная способность по сравнению с SMBus, т. к. она не ограничена максимальной тактовой частотой;
- полная гибкость интерфейса для передаваемых битов (произвольный выбор размера, содержания и назначения сообщения);
- ведомые устройства используют тактовую частоту ведущего устройства и не нуждаются в высокоточных генераторах;
- обычно более низкое энергопотребление, чем у SMBus, благодаря меньшей конфигурации;
- в отличие от CAN нет необходимости в приемо-передатчиках;
- только один уникальный сигнал шины на каждое устройство (выбор ведомого устройства);
- простая программная реализация.

Разработанная структурная схема SPI (рисунок 1) имеет следующие отличия от аналога, используемого в МК ATmega8 [4]: отсутствует блок делителя частоты тактовых сигналов; сдвиговый регистр напрямую принимает (или отдает) информацию через шину данных; регистры контроля и состояния включены в блок режима работы. В отличие от реализации, предложенной компанией Motorola [5], такая структурная схема обладает следующими особенностями: управление фазой и поляризацией осуществляется состоянием определенного бита в регистре контроля; регистры контроля и состояния включены в блок режима работы; отсутствует блок делителя частоты тактовых сигналов; введен блок синхронизации, который в соответствии с режимом работы устройства, управляет тактовыми сигналами.

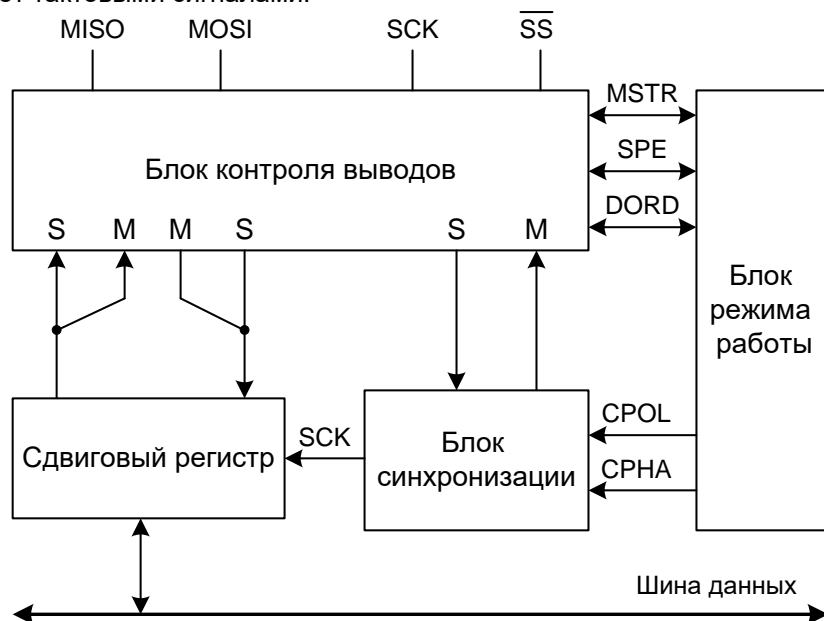


Рисунок 1 – Структурная схема разрабатываемого последовательного периферийного интерфейса

SPI состоит из сдвигового регистра, блока синхронизации, блока режима работы, состоящего из регистра состояния и регистра контроля, и блока контроля выводов. В сдвиговые регистры ведущего и ведомого устройств из общей шины данных помещаются данные для передачи. Если МК работает в ведущем режиме блок синхронизации генерирует импульсы синхронизации. В ведомом режиме – передает уже существующие. Блок режима работы переводит SPI либо в ведущий режим, либо в ведомый. Блок контроля выводов управляет направлением работы линий передачи, синхронизации и выбора ведомого.

Если бит SPE находится в состоянии логической «1», то ведущее устройство начинает генерировать последовательные тактовые сигналы на линии SCK, что приводит к взаимному обмену данными. Во время каждого такта от ведущего по линии MOSI ведомому передается один бит и от ведомого по линии MISO ведущему. Ведущий и ведомый одновременно отправляют и принимают данные в режиме полного дуплекса. Выбор ведомого устройства осуществляется с помощью подачи низкого уровня сигнала  $\overline{SS}$ .

В зависимости от состояния бита MSTR SPI выполняет роль ведущего устройства (при «1») или ведомого (при «0»). Бит DORD управляет направлением сдвига регистра: при «1» первым передается младший значащий бит (LSB), то есть бит с разрядом «0», при «0» – старший значащий бит (MSB), то есть бит с разрядом «7» [6].

Бит CPOL определяет исходный уровень сигнала синхронизации. При «0» линия синхронизации до начала цикла передачи и после его окончания имеет низкий уровень (первый фронт является нарастающим, а последний – падающим), при «1» – высокий уровень (первый фронт является падающим, а последний – нарастающим).

Бит CPHA определяет фазу синхронизации. От состояния этого бита зависит, в какой последовательности выполняется установка и выборка данных. При «0» по переднему фронту в цикле синхронизации будет выполняться выборка данных, а затем, по заднему фронту, – установка данных; при «1» установка данных будет выполняться по переднему фронту в цикле синхронизации, а выборка – по заднему.

На рисунке 2 представлена временная диаграмма работы SPI при CPHA = 1.

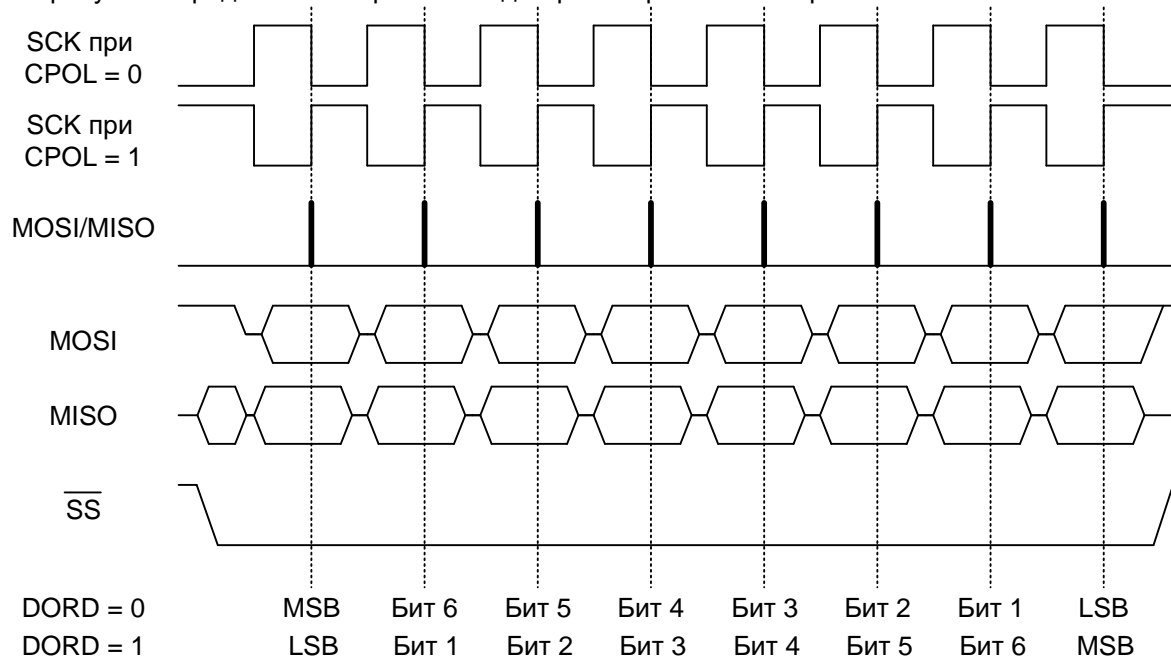


Рисунок 2 – Временная диаграмма работы SPI при CPHA = 1

Таким образом выбранное структурное решение последовательного периферийного интерфейса может быть использовано при проектировании 8-битного микроконтроллера с архитектурой компьютера с сокращенным набором команд.

**Список использованных источников:**

1. Болл Стюарт, Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров / Р. Болл Стюарт. – М : Додека-XXI, 2017 – 360 с.
2. Лалин, А. А. Интерфейсы. Выбор и реализация / А. А. Лалин – М. : Техносфера, 2005 – 168 с.
3. Спецификация SMBus [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://smbus.org/specs/>. Дата доступа: 04.04.2022
4. Микроконтроллер ATmega8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8\\_L\\_datasheet.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8_L_datasheet.pdf). Дата доступа: 05.04.2022
5. Блок SPI компании Motorola [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://web.archive.org/web/20150413003534/http://www.ee.nmt.edu/~teare/ee308I/datasheets/S12SPIV3.pdf>. Дата доступа: 05.04.2022
6. Samsung ARTIK Reference: The Definitive Developers Guide / C. Wootton // California : Apress, 2016. – P. 335-349

## БЛОК ПАМЯТИ 8-БИТНОГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА С СОКРАЩЕННЫМ НАБОРОМ КОМАНД

Корсак К.В.

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

Ловшенко И.Ю. – ст. преподаватель каф. МНЭ,  
зав. НИЛ 4.4 НИЧ БГУИР

Аннотация. Запоминающие устройства (ЗУ) служат для хранения информации и обмена ею со структурными блоками микроконтроллера. В настоящее время созданы и используются десятки различных типов ЗУ. Описывается разработка структурной схемы блока памяти 8-битного микроконтроллера.

Блок памяти микроконтроллера (МК) состоит из матрицы ячеек SRAM-памяти, представляющих собой триггерную структуру, и блоков управления, каждый из которых привязан к столбцу ячеек памяти. Ячейка SRAM-памяти состоит из триггера. На узлах триггерной структуры логические «0» или «1» сохраняются.

Существуют различные типы ячеек, состоящие от 5 до 10 транзисторов. Изменение их количества позволяет улучшать стабильность операций записи и чтения при определенных напряжениях питания. Наиболее часто используется ячейка SRAM-памяти, построенная из 6 транзисторов (6Т-ячейка), представленная на рисунке 1. Триггерная структура состоит из двух КМОП-инверторов и двух МОП-транзисторов, подключенных стоками к паре битовых линий (BT, BV) и затворами к шине слов (WL). Чтобы сформировать триггер, вход и выход одного инвертора подключаются к выходу и вход другого инвертора соответственно.

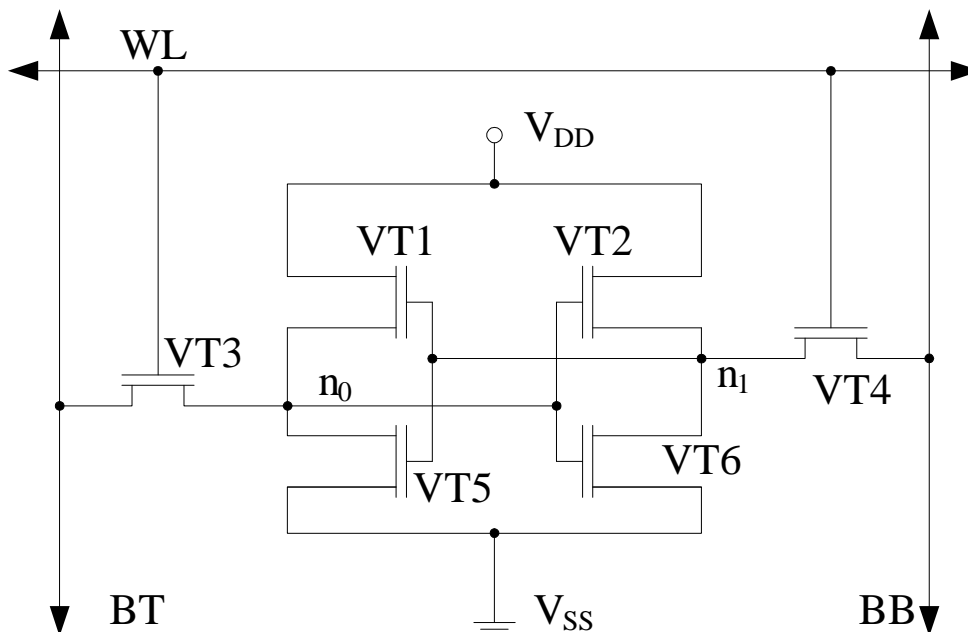


Рисунок 1 – Структурная схема 6Т-ячейки SRAM-памяти

Каждый блок управления состоит из устройств, чьими входными сигналами являются: тактовая частота CLK, сигнал записи (чтение происходит каждый такт, когда не происходит запись) WR и сигнал данных для записи в ячейку памяти IN. Эти сигналы управляют усилителями для чтения и записи.

Выходные сигналы описывают логическое состояние ячейки, т. е. записанные в неё логические «0» или «1». В каждом блоке управления происходит предварительная запись, после чего по шинам данных нужный бит записывается в выбранную ячейку памяти.

На рисунке 2 представлена функциональная схема блока памяти. На ней присутствует массив ячеек памяти, блоки управления, каждый из которых привязан к столбцу ячеек, а также демультиплексоры – по одному для выбора строк и столбцов.

Демультиплексоры предназначены для направления управляющего сигнала для выбранной конфигурации строк и столбцов.

Операция записи начинается с выбора столбца и строки. Сигнал данных (входной сигнал IN), проходя через усилитель записи, формирует соответствующее состояние на битовых линиях. При

подаче сигнала записи, состояние внутри ячейки (триггера) меняется в соответствии с записываемой информацией. Записанная информация хранится в буфере блока управления до следующей операции записи.

Чтение происходит каждый такт, когда не происходит запись в ячейку (приходит «0» на вход WR). Оно, так же, как и запись, начинается с выбора столбца и строки. Эти сигналы формируют скачок напряжения внутри ячейки, не меняя ее состояния и отправляя его по битовым линиям к усилителю чтения. После усиления данные попадают на вход триггера, выход которого принимает прочитанное значение.

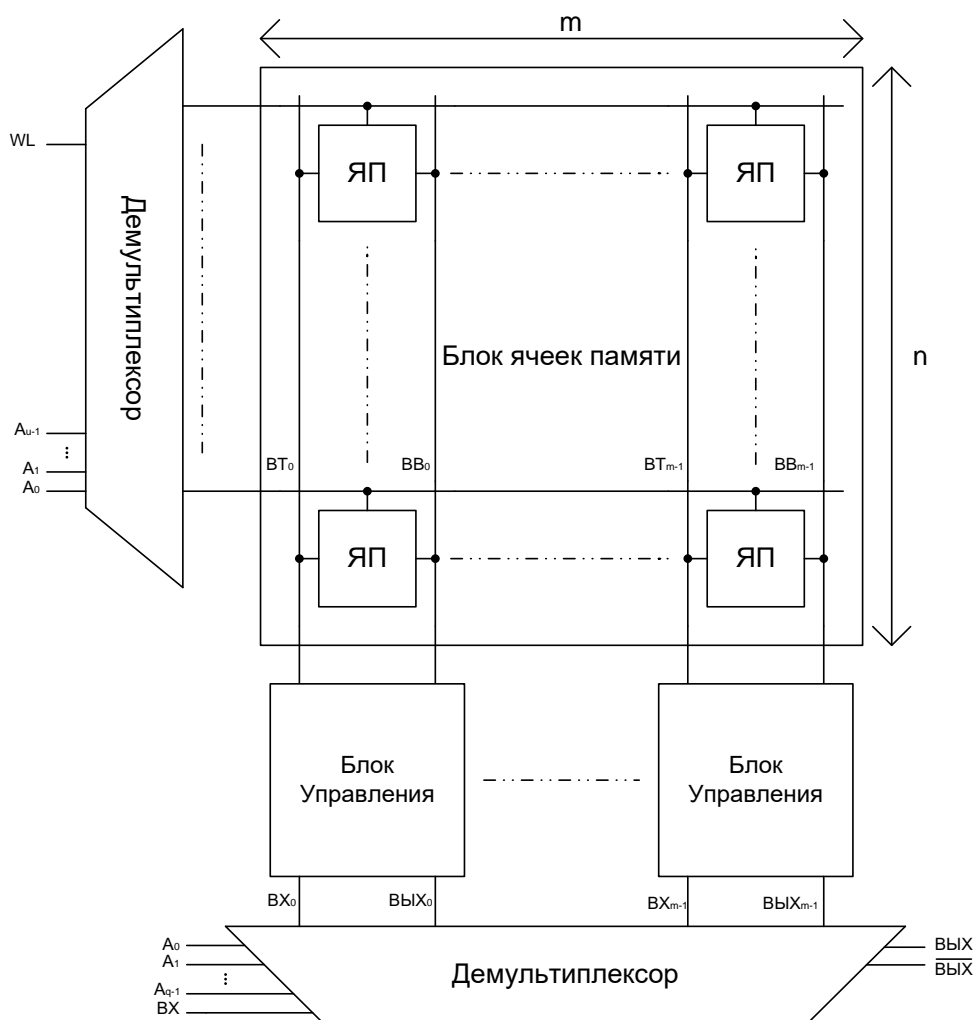


Рисунок 2 – Структурная схема блока памяти

Моделирование режимов работы блока памяти проводилось в программном комплексе компании Cadence. Данные блоки выполнены на основе КМОП-транзисторов с проектными нормами 180 нм. При моделировании эксплуатационных характеристик установлено, что среднее потребление мощности одной ячейки памяти составляет 10 мкВт, время переключения с «0» в «1» составляет 288,6 пс, а с «1» в «0» - 425 пс. Реализованный объем памяти составляет 1024 элемента по 8 ячеек памяти каждый.

Выбранное структурное решение блока памяти может быть использовано при проектировании 8-битного микроконтроллера с архитектурой компьютера с сокращенным набором команд.

Список использованных источников:

1. Osada, K. "Low power and reliable SRAM memory cell and array design, Springer Series in Advanced Microelectronics, vol. 31, 2011, pp. 5-10.
2. Understanding the Concept of Microcontroller Based Systems to Choose the Best Hardware for Applications / Y. Güven [et al.] // International Journal of Engineering and Science. – Vol. 6 Issue 9, Sep 2017. – pp. 38-44.
3. A single ended 6T SRAM cell design for ultra-low-voltage applications / J. Singh [et al.] // IEICE Electronics Express, 2018. P. 750–755.
4. Kumar, H., Tomar, V. K. (2020). A Review on Performance Evaluation of Different Low Power SRAM Cells in Nano-Scale Era. Wireless Personal Communications, 117(3), 1959–1984.

## СТАБИЛЬНОСТЬ ТОНКИХ ПЛЁНОК ДИОКСИДА ГАФНИЯ

Карженевская В.Ю., Алексеев А.Ю.

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

Мигас Д.Б. – доктор физ.-мат. наук

В ходе работы исследовались тонкие плёнки диоксида гафния ( $\text{HfO}_2$ ) с толщиной до 30 Å, имеющие различные фазы и кристаллографические ориентации. Расчёты производились с целью выявления наиболее стабильной из фаз. Определили, что при толщинах плёнки менее 20 Å наименьшей полной энергией обладают плёнки с кубической структурой, а при больших толщинах – с моноклинной структурой. 2D  $\text{HfO}_2$  с кубической структурой также являются динамически стабильными.

Использование в качестве подзатворного high-k диэлектрика диоксида гафния ( $\text{HfO}_2$ ) дало толчок к развитию производства масштабируемых МОП-структур [1]. Известно, что существует несколько объёмных фаз  $\text{HfO}_2$ . На наиболее стабильной является моноклинная фаза. При формировании тонких плёнок  $\text{HfO}_2$  стабильность таких структур будет зависеть от поверхностной энергии и энергии на границе раздела оксид/подложка, что может привести к стабилизации метастабильной в объёме фазе в виде тонких плёнок. Также возможно оценить критическую толщину таких плёнок и их электронные свойства.

Исследование тонких плёнок  $\text{HfO}_2$  производилось путём теоретического моделирования методами из первых принципов в пакете Quantum ESPRESSO. Для расчёта обменно-корреляционного потенциала использовалось обобщённое градиентное приближение. Для моделирования фононных спектров применялась теория возмущений функционала плотности.

Расчёт полных энергий тонких плёнок  $\text{HfO}_2$  с различной ориентацией производился с учетом кубической, моноклинной, орторомбической и тетрагональной фаз (рисунок 1).

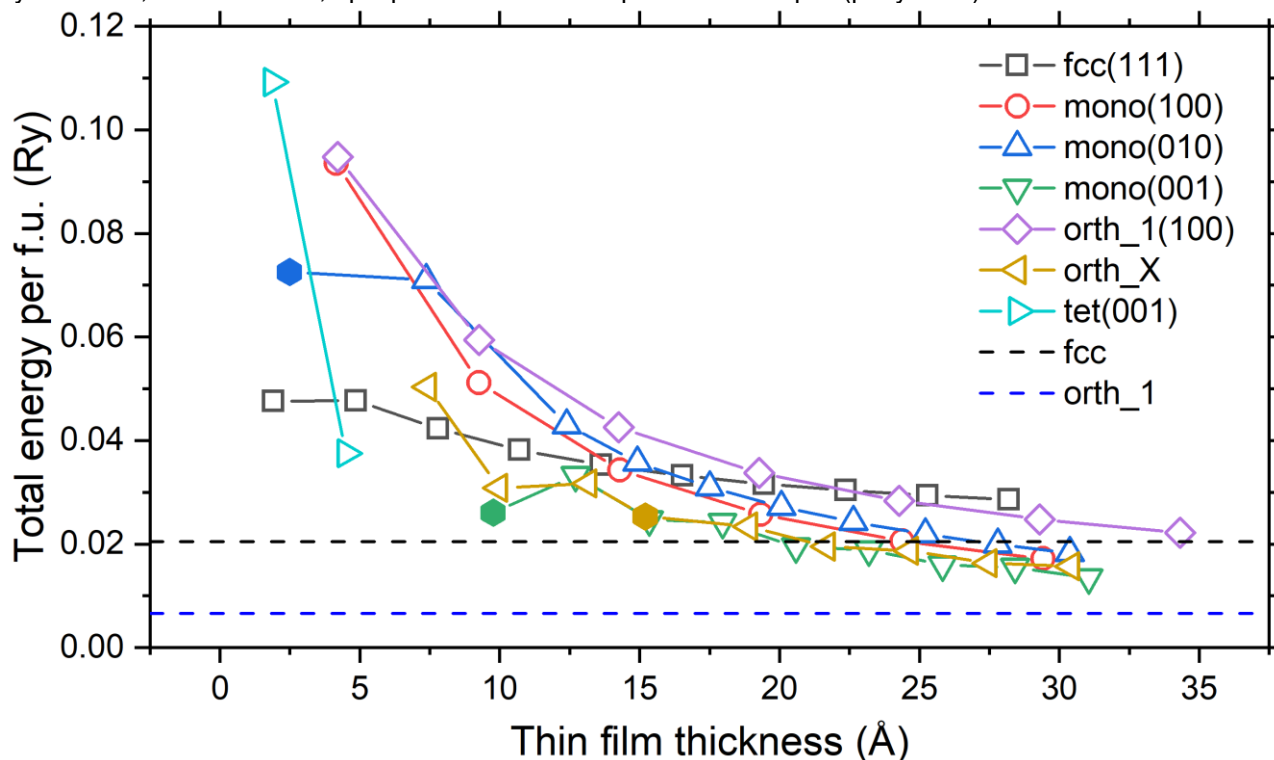


Рисунок 1 – Зависимость полной энергии от толщины плёнки для различных фаз  $\text{HfO}_2$

Кубическая гранецентрированная фаза  $\text{HfO}_2$  (fcc) является одной из наименее стабильных объёмных фаз и оказалась динамически нестабильной при стандартных давлениях и нулевой температуре [2]. Однако при формировании 2D  $\text{HfO}_2$  структуры с ориентацией (111) и толщиной в один монослой установлено, что она динамически стабильна, так как отсутствуют мнимые частоты в фононном спектре (рисунок 2), и обладает наименьшей полной энергией по сравнению с другими 2D структурами. Более того, обнаружено, что тонкая плёнка  $\text{HfO}_2(111)$  с кубической структурой и толщиной в два монослоя также динамически стабильна (рисунок 2).

По данным некоторых источников [3] в случае моноклинной фазы (mono) поверхности (100), (010) и (001) не обладают самой низкой поверхностной энергией и нужно рассматривать другие высокоиндексные поверхности, а также плёнки с нарушением  $\text{HfO}_2$  стехиометрии. В результате расчетов установлено, что данные плёнки при толщинах менее 20 Å уступают по полной энергии

пленкам других фаз. Они оказались более стабильны при больших толщинах (более 20 Å). Также выявлено, что 2D HfO<sub>2</sub>(010) структуры толщиной в один слой и HfO<sub>2</sub>(001) толщиной в четыре слоя после оптимизации претерпели значительные структурные изменения, не позволяющие считать полученные фазы моноклинными (на рисунке 1 результаты этих расчетов обозначены сплошным гексагоном).

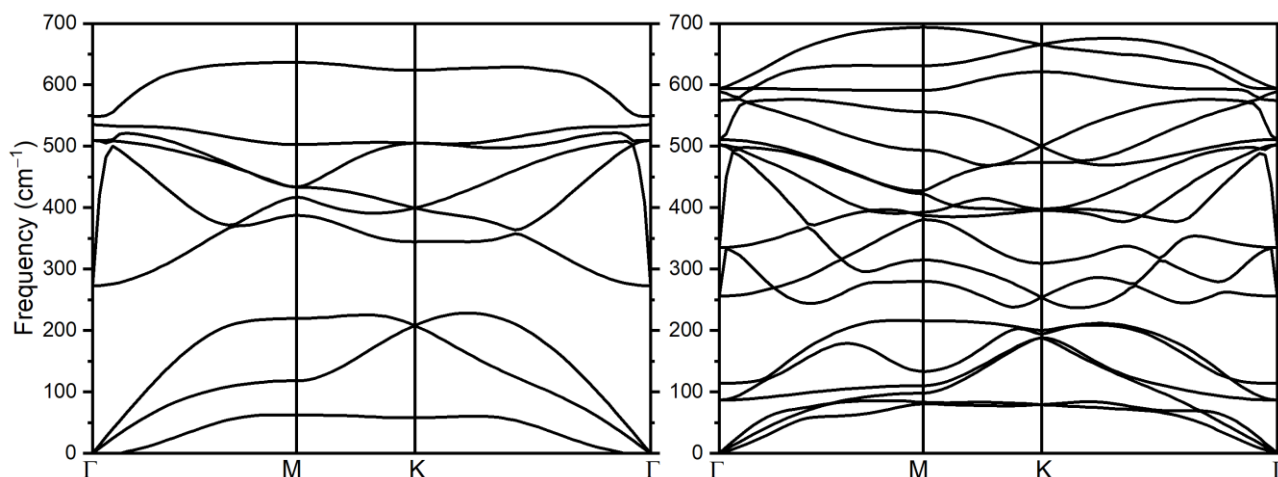


Рисунок 2 – Фононный спектр для однослойного (слева) и двухслойного (справа) 2D HfO<sub>2</sub>(111)

Также исследовались плёнки HfO<sub>2</sub>(100) орторомбической фазы и толщиной 23 Å. Установлено, что после структурной оптимизации таких плёнок происходит их трансформация в моноклинную фазу с ориентацией (100). Плёнки HfO<sub>2</sub>(001) орторомбической фазы толщиной в один или два слоя после оптимизации трансформировались в тетрагональную фазу с поверхностью (001). При увеличении толщины таких пленок наблюдаются некоторые преобразования, результаты которых нельзя соотнести ни с одной из существующих фаз, на рисунке 1 данная фаза обозначена как orth\_X. На данный момент неизвестно является ли данная объёмная фаза динамически стабильной.

Дальнейшие исследования предполагают изучение динамической стабильности тонких пленок с различными фазами и ориентациями с целью выявления тех из них, которые являются динамически стабильными с последующим расчетом их энергетического спектра. Это позволит провести сравнение результатов, полученных для fcc 2D HfO<sub>2</sub> структур и тонких пленок моно HfO<sub>2</sub>.

**Список использованных источников:**

1. Carrier transport in HfO<sub>2</sub>/sub 2/metal gate MOSFETs: physical insight into critical parameters / M. Cassé [et al.] // IEEE Transaction on Electron Devices, 2006. – Vol. 53. – P. 759-768.
2. Pathways towards ferroelectricity in hafnia / T. D. Huan [et al.] // Physical review B, 2014. – Vol. 90. – P. 064111.
3. Mukhopadhyay A. First-principles calculations of structural and electronic properties of monoclinic hafnia surfaces / A. Mukhopadhyay, J. F. Sanz, C. B. Musgrave // Physical review B, 2006. – Vol. 73. – P. 115330.

## ЗАРЯДОВЫЕ СВОЙСТВА ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ ГРАФЕН/ ДИЭЛЕКТРИК/ КРЕМНИЙ

Мельникова В.В.

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

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

В данной работе исследованы зарядовые свойства гетероструктуры графен/диэлектрик/кремний. Рассмотрена самосогласованная взаимосвязь между химическим потенциалом и концентрацией носителей заряда в зависимости от потенциала полевого электрода, емкости диэлектрика и емкости поверхностных состояний. Показано, что при существенной величине емкости поверхностных состояний зарядовые свойства графенового канала претерпевают скачкообразный переход из одного устойчивого состояния в другое.

Графен рассматривается как перспективный материал для полевых транзисторов, несмотря на отсутствие запрещенной зоны, не позволяющей напрямую применять его в цифровой электронике [1]. Однако его преимущества, такие как высокая подвижность и чувствительность к эффекту поля привлекает внимание исследователей для его использования в качестве элемента аналоговой электроники, где невозможность блокирования тока не является принципиальным ограничивающим фактором. В связи с развитием графеновой электроники встает задача проектирования

высокоскоростных графеновых транзисторов. Характеристики таких транзисторов помимо свойств самого графена существенно определяются параметрами диэлектрика, подложки, а также межфазных границ. Это требует помимо развития технологии получения самого графена и создания графеновых транзисторных структур также разработки моделей функционирования полевых графеновых транзисторов, интегрированных в существующие системы автоматизированного проектирования.

Существенное влияние на электрические характеристики транзистора с графеновым каналом оказывают толщины и материалы диэлектрических слоев, свойства подложки и интерфейсов (плотности поверхностных состояний на границе раздела двумерного канала с подзатворным диэлектриком, ПС). Эти факторы определяют такие важные электрофизические параметры как химический потенциал носителей заряда  $\mu$  и его зависимость от потенциала полевого электрода  $V_G$ , концентрация носителей заряда (электронов  $n_e$  и дырок  $n_h$ ), величина заряда канала, квантовая емкость  $C_Q$ , емкость канала  $C_{CH}$  и емкость исток-затвор  $C_G$ . Эти параметры обуславливают передаточные и выходные электрические характеристики транзистора, его крутизну и коэффициент усиления по напряжению. Поэтому наряду с совершенствованием технологии получения транзисторов с графеновыми каналами также актуальным является исследование режимов их функционирования, особенно с точки зрения влияния на них электрофизических параметров самой структуры и контактных явлений. Таким образом, значимой и актуальной является задача развития моделей высокоскоростных графеновых полевых транзисторных структур, учитывающих специфические физические особенности двумерных кристаллов, межфазные области и контактные явления.

Связь между концентрацией носителей заряда в канале и химическим потенциалом  $\mu$  самосогласованно определяется уравнением электростатики [2]

$$qV_G = \mu \left( 1 + \frac{C_{it}}{C_{ox}} \right) + \frac{q^2 n_S(\mu)}{C_{ox}}, \quad (1)$$

где  $V_G$  – потенциал полевого электрода,  $n_S = n_e - n_h$ ,  $C_{ox}$  – удельная емкость подзатворного диэлектрика,  $q$  – элементарный заряд,  $C_{it}$  – удельная ёмкость ПС,  $n_e$ ,  $n_h$  – концентрация электронов и дырок в графеновом канале, определяемая статистикой Ферми-Дирака, исходя из плотности состояний двумерного канала:

$$n_e(\mu) = \frac{2(kT)^2}{\pi(\hbar v_F)^2} \int_0^\infty \frac{u du}{1 + \exp[u - (\mu/kT)]}, \quad (2)$$

$$n_h(\mu) = n_e(-\mu), \quad (3)$$

где  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура,  $v_F$  – скорость Ферми графена,  $\hbar$  – нормированная постоянная Планка,  $u = \varepsilon/kT$ ,  $\varepsilon$  – энергия носителя заряда.

Система уравнений (1)-(3) самосогласованным образом определяет зависимости концентрации носителей заряда и химического потенциала от напряжения полевого электрода  $V_G$ , а также емкости диэлектрика и емкости ПС. В конечном итоге она определяет самосогласованную связь всех электрофизических параметров транзисторной структуры с графеновым каналом. Поэтому необходимо рассмотреть соотношения между параметрами  $V_G$ ,  $n_S$ ,  $\mu$ ,  $C_{ox}$ ,  $C_{it}$  более подробно. Для проведения расчетов использовались следующие значения  $T = 300$  К,  $v_F = 10^6$  м/с,  $C_{ox} = (5-10) \cdot 10^{-3}$  Ф/м<sup>2</sup>,  $C_{it} = (5-85) \cdot 10^{-3}$  Ф/м<sup>2</sup>,  $\kappa = 16$ ,  $d = 15$  нм. Здесь  $\kappa$  – относительная диэлектрическая проницаемость подзатворного диэлектрика,  $d$  – его толщина.

На рис.1 приведены полученные зависимости химического потенциала и концентрации  $n_S$  от напряжения полевого электрода при различных значениях емкости ПС. Как можно видеть, при относительно низкой емкости ПС зависимости  $\mu(V_G)$  и  $n_S(V_G)$  носят монотонный характер, а при увеличении  $C_{it}$  до  $(81-83) \cdot 10^{-3}$  Ф/м<sup>2</sup> появляется скачкообразное изменение  $\mu(V_G)$  и  $n_S(V_G)$ . Это связано с существенным увеличением соотношения емкостей  $C_{it}/C_{ox}$ , которое ведет к расходимости решения системы (1)-(3) в определенной критической точке, определяемой значением напряжения  $V_G$ . Физически это отражает тот факт, что высокая емкость ПС ведет к возникновению неустойчивости зарядового состояния в графеновом канале из-за невозможности постепенной (линейной) компенсации емкости ПС квантовой емкостью канала  $C_Q$ .



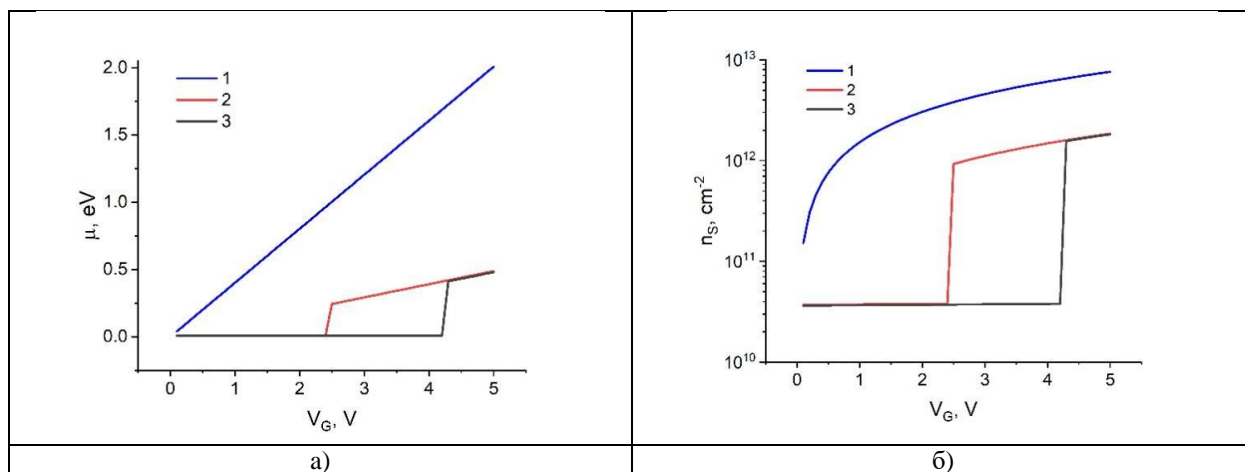


Рисунок 1 - Химический потенциал (а) и концентрация носителей заряда (б) в графеновом канале в зависимости от потенциала полевого электрода  $V_G$ :  $C_{ox}=9.44 \cdot 10^{-3} \text{ Ф/м}^2$ ,  $C_{it}=8 \cdot 10^{-3} \text{ Ф/м}^2$  (кривые 1),  $C_{it}=81 \cdot 10^{-3} \text{ Ф/м}^2$  (кривые 2),  $C_{it}=83 \cdot 10^{-3} \text{ Ф/м}^2$  (кривые 3).

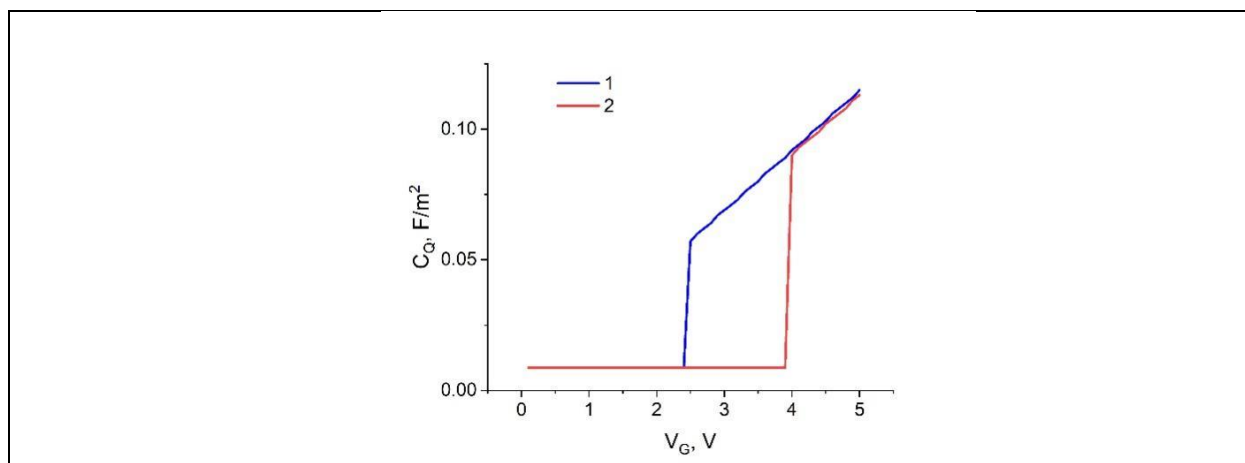


Рисунок 2 - Квантовая емкость графенового канала в зависимости от потенциала полевого электрода  $V_G$ :  $C_{ox} = 9.44 \cdot 10^{-3} \text{ Ф/м}^2$ ,  $C_{it} = 81 \cdot 10^{-3} \text{ Ф/м}^2$  (кривая 1),  $C_{it} = 82.5 \cdot 10^{-3} \text{ Ф/м}^2$  (кривая 2).

На рис.2 показана зависимость квантовой емкости графенового канала  $C_Q$  от потенциала  $V_G$ . Как можно видеть, компенсация емкости ПС и рост  $C_Q$  наступает только после преодоления неустойчивости, или переходе из одного устойчивого состояния в другое.

**Список использованных источников:**

1. F. Schwierz. Graphene transistors. Nature Nanotech. – 2010. - Vol.5. - P.487-496.
2. G.I. Zebrev. Graphene Field Effect Transistors: Diffusion-Drift Theory/ 23 Chapter in Physics and Applications of Graphene-Theory. Ed. by S. Mikhailov. – InTech, 2011. – P.476– 498.

## РОЛЬ ПОВЕРХНОСТИ И ГРАНИЦ РАЗДЕЛА В ПРОДОЛЬНОЙ ФОНОННОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СЛОИСТЫХ ПЛЕНОК Si И Ge

Хомец А.Л.<sup>1</sup>, Холяво И.И.<sup>1</sup>

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

Мигас Д.Б. – д.ф.-м.н., профессор

В данной работе представлены результаты исследования фононной теплопроводности для тонких слоистых пленок Si/Ge с (100), (110) и (111) кристаллографическими ориентациями. Было установлено, что при продольном тепловом транспорте вдоль направления [110] имеет место существенное фонон поверхностное рассеяние для тонкопленочных структур с (100) ориентацией и незначительное для (110) и (111) ориентаций. Также, дополнительным фактором снижения теплопроводности является создание свободной поверхности из одного материала.

В последние десятилетия активно ведется поиск новых термоэлектрических материалов. В связи с этим большое внимание уделяется соединениям на основе Si и Ge, так как они имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными термоэлектрическими материалами на основе Te, Bi и Sb, а именно отработанная кремниевая технология и низкая токсичность. Важнейшим недостатком термоэлектрических материалов является их низкая эффективность и как следствие низкий КПД устройств, разработанных на их основе. 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  $\kappa_l$  – соответственно электронная и решеточная составляющие теплопроводности.

Основным способом увеличения термоэлектрической добротности термоэлектрических материалов на основе Si и Ge является снижение фононной (решеточной) теплопроводности. Снижение теплопроводности в структурах с пониженной размерностью, таких как тонкие пленки, происходит из-за рассеяния фононов в широком диапазоне частот на внутренних границах раздела, а также на свободной поверхности.

В данной работе рассматривались слоистые Si/Ge тонкие пленки с (100), (110) и (111) ориентациями с резкими границами раздела, а также пленки с терминирующими слоями, в которых поверхностные слои выполнены из одного материала (в нашем случае Ge). Теплопроводность рассчитывалась вдоль [110] кристаллографического направления. Данное направление было выбрано в связи с тем, что оно присутствует у всех трех ориентации, что дает возможность сравнить вклад свободной поверхности и внутренних границ раздела на рассеяние фононов. Толщина слоев была неизменной и составляла 8 моноатомных слоев (или ~1,13 и 1,6 нм) для ориентаций (100) и (110) и 12 моноатомных слоев (или ~1,96 нм) для (111) ориентации. Количество периодов варьировалось от 1 до 48. Под периодом понимается число Si/Ge. Использовались  $p(2 \times 1)$ ,  $p(1 \times 1)$  и  $p(2 \times 1)$  поверхностные реконструкции для соответствующих (100), (110) и (111) ориентаций пленок.

Моделирование теплопроводности проводилось методом неравновесной молекулярной динамики, реализованным в программном пакете LAMMPS [1]. Для описания межатомного взаимодействия между атомами S и Ge использовался потенциал Терсоффа. Коэффициенты фононной составляющей теплопроводности определялись из закона Фурье:

$$\kappa_{\langle mnp \rangle} = - \frac{E}{2S \cdot t \cdot \left( \frac{dT}{dx} \right)} \quad (2)$$

Где  $E$  – перенесенная тепловая энергия,  $\kappa$  – коэффициент теплопроводности,  $\frac{dT}{dx_i}$  – градиент температуры в структуре,  $t$  – время моделирования,  $S$  – площадь поперечного сечения,  $2$  – коэффициент, связанный с распространением теплового потока в двух направлениях. Площадь поперечного сечения задавалась большей ~60 нм<sup>2</sup>. Для создания теплового потока в системе расставлялись термостаты с температурами 310 К для горячего слоя и 290 К для холодного слоя.

На рисунке 1 представлена зависимость фононной теплопроводности для слоистых Si/Ge тонких пленок, а также для аналогичных пленок с терминирующими слоями из Ge. Проанализировав зависимости можно сделать вывод, что при уменьшении числа периодов с 48 до 1 имеет место существенное (почти в 4 раза с 19,1 до 5,12 Вт/(м·К)) снижение фононной теплопроводности для (100) ориентации и незначительное (на ~5 (1,1 Вт/(м·К)) и ~8 % (1,9 Вт/(м·К)) соответственно) снижение для (110) и (111) ориентаций. При увеличении числа периодов повышается вклад в теплопроводность фононов, которые пересекают границы раздела и распространяются в соседних слоях [2], что и приводит к постепенному увеличению теплопроводности при увеличении числа периодов.

Также наблюдается роль влияния кристаллографической ориентации на величину теплопроводности. Для слоистых Si/Ge структур наблюдается следующая тенденция:  $\kappa^{\text{Si/Ge}(100)} < \kappa^{\text{Si/Ge}(111)} < \kappa^{\text{Si/Ge}(110)}$ . При распространении теплового потока вдоль направления [110] отличаются не только скорости фононного рассеяния, но и групповые скорости фононов. Авторами работы [3] продемонстрировано, что у пленок Si(110) график частотной зависимости средневзвешенной по всем модам групповой скорости фононов располагается выше, чем у пленок Si(100) и Si(111). Продольная фононная теплопроводность в основном определяется двумя параметрами: групповой скоростью и временем релаксации рассеяния фононов, которые для ориентации (110) являются наибольшими и наименьшими для (100), что объясняет полученную зависимость.

При добавлении к структуре Si/Ge дополнительного поверхностного слоя Ge можно также изменять фононную теплопроводность структуры. При увеличении числа периодов с 1 до 24 разница в значениях теплопроводности между Si/Ge пленками и пленками с дополнительным слоем Ge постепенно уменьшается с 23 до 3 % для (110) ориентации и с 10 до 2 % для (111) ориентации. В

данном случае дополнительное снижение теплопроводности при малом числе периодов (до 24) обусловлено большей объемной долей менее теплопроводящей фазы из слоев Ge. Как известно, теплопроводность Si в  $\sim 2,5$  раза выше, чем у Ge. При увеличении числа периодов, наоборот, объемная доля Si увеличивается и стремится к 50 % при  $\sim 48$  периодах. Для ориентации (100) вследствие более сильного фонон-поверхностного и фонон-интерфейсного рассеяния наблюдается противоположная закономерность. Для данной ориентации значения теплопроводности у структур Si/Ge при малом числе периодов остаются меньше.

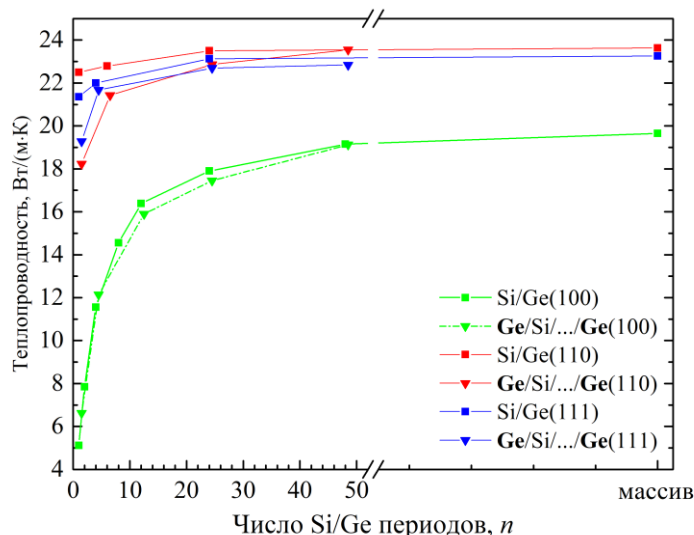


Рисунок 1 – Зависимость фононной теплопроводности в продольном [110] направлении от числа периодов для (100), (110) и (111) ориентированных тонкопленочных структур Si/Ge и Ge/Si/.../Ge

Таким образом, проведен расчет фононной теплопроводности тонких слоистых пленок Si/Ge, а также аналогичных структур с терминирующими поверхностями Ge с помощью метода неравновесной молекулярной динамики. Полученные зависимости показали, что при распространении теплового потока вдоль направления [110] ориентация (100) обладает наибольшей эффективностью рассеяния фононов в сравнении с ориентациями (110) и (111). Создание свободных поверхностей из одного материала (Ge) позволяет дополнительно снизить на  $\sim 2-4$  Вт/(м·К) теплопроводность структур, но только для (110) и (111) ориентаций, причем данный эффект быстро исчезает при увеличении числа периодов свыше 10.

#### Список использованных источников:

1. Plimpton, S. Fast Parallel Algorithms for Short-Range Molecular Dynamics / S. Plimpton // *Journal of Computational Physics*. – 1995. – Vol. 117, № 1. – P. 1 – 19.
2. Kothari, K. Phonon Surface Scattering and Thermal Energy Distribution in Superlattices / K. Kothari, M. Maldovan // *Scientific Report*. – 2017. – Vol.7
3. Aksamija, Z. Anisotropy and boundary scattering in the lattice thermal conductivity of silicon nanomembranes / Z. Aksamija, I. Knezevic // *Phys. Rev. B*. – 2010. – Vol. 82.

## ФОНОННАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ НАНОПРОВОЛОК Si/Ge

Холяво И.И.<sup>1</sup>, Хомец А.Л.<sup>1</sup>

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

Мигас Д.Б. – д.ф.-м.н., профессор

В работе проведено исследование влияния морфологии теплопроводность нанопроволок Si/Ge типа ядро/оболочка с <100>, <110>, <112> и <111> кристаллографическими ориентациями и диаметром около 5 нм. Обнаружено, что для <112>-ориентированных нанопроволок Si-ядро/Ge-оболочка при объемной доле ядра  $\sim 24$  % теплопроводность является наименьшей (5,4 Вт/(м·К)), в то время как значения теплопроводности для нанопроволок из чистого Si и Ge составляют 13,5 и 7,4 Вт/(м·К), соответственно.

Термоэлектрический эффект обеспечивает способ преобразования потерянной тепловой энергии в полезную электрическую энергию, что может привести к экономии топлива и сокращению выбросов парниковых газов. Термоэлектрические генераторы являются компактными, прочными, бесшумными и надежными, поскольку не содержат движущихся частей. Современные применения ограничены, потому что эффективность термоэлектрических материалов все еще довольно низкая [1].

Термоэлектрическая добротность непосредственно связана с эффективностью КПД термоэлектрического преобразователя, поэтому это очень удобный параметр для сравнения потенциальной эффективности преобразователей, использующих различные материалы. Эффективность термоэлектрического преобразования определяется величиной:

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

$\sigma$  – электропроводность материала,  $S$  – его термоэдс (коэффициент Зеебека),  $\kappa$  – теплопроводность,  $T$  – рабочая температура или средняя температура  $(T_1 + T_2)/2$  преобразователя,  $T_1$  и  $T_2$  – температуры холодного и горячего контактов соответственно, теплопроводность  $\kappa = \kappa_e + \kappa_L$  есть сумма электронного вклада  $\kappa_e$  и решеточного вклада  $\kappa_L$ .

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 [2].

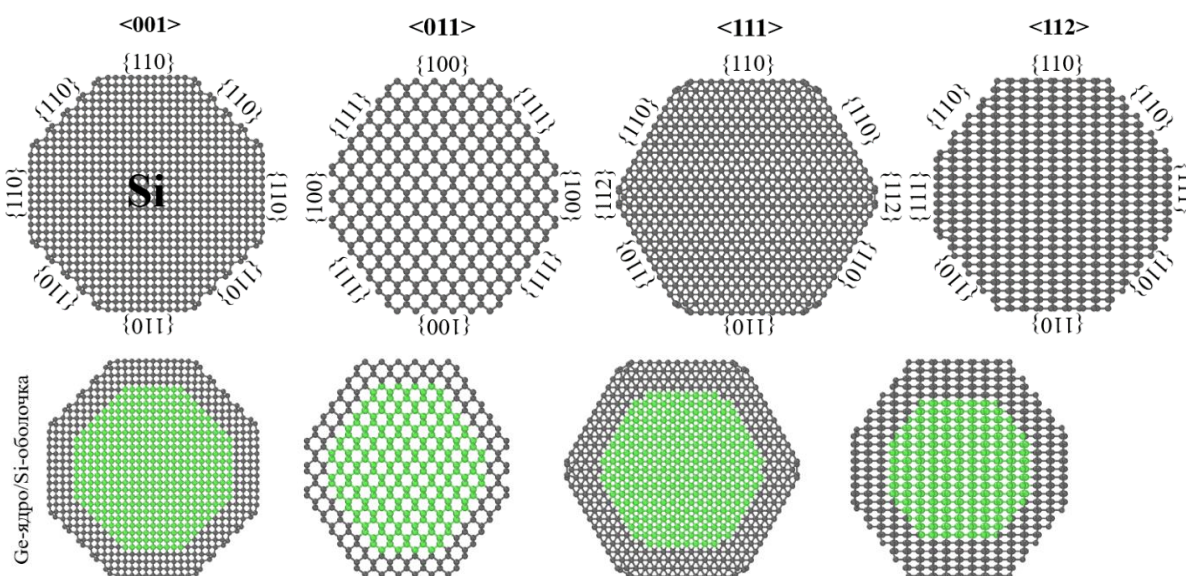


Рисунок 1 – Сечения нанопроволок Si/Ge типа ядро-оболочка с <001>, <011>, <111> и <112> направлениях роста. Все ориентации и грани обозначены.

В работе рассматривались нанопроволоки Si/Ge типа ядро/оболочка с экспериментально наблюдаемыми <100>, <110>, <112> и <111> кристаллографическими ориентациями. Модели нанопроволок вырезались из объемного кристалла вдоль направления роста с формированием внешних граней и сечением в виде шестигранника. Диаметр и длина нанопроволок составили соответственно около 5,2 нм и 100 нм (рисунок 1). Моделирование решеточной теплопроводности для рассматриваемых нанопроволок 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.

На рисунке 2 показана зависимость коэффициента теплопроводности исследуемых Si/Ge нанопроволок типа ядро-оболочка с резкими продольными границами раздела от объемного содержания ядра и его типа. Выявлено, что наибольшее снижение теплопроводности характерно для структур Si-ядро/Ge-оболочка вне зависимости от направления роста нанопроволок. Минимальная теплопроводность 5,4 Вт/(м·К) характерна для <112>-ориентированных нанопроволок Si-ядро/Ge-оболочка при объемной доле ядра ~ 24 %. Полученные закономерности можно объяснить несколькими причинами: (а) различием коэффициента теплопроводности для Si и Ge при применении их в качестве материала ядра или оболочки, (б) влиянием рассеяния фононов продольными границами раздела и (в) возникновением когерентного фононного резонанса, свойственным структурам с архитектурой типа ядро-оболочка [3].

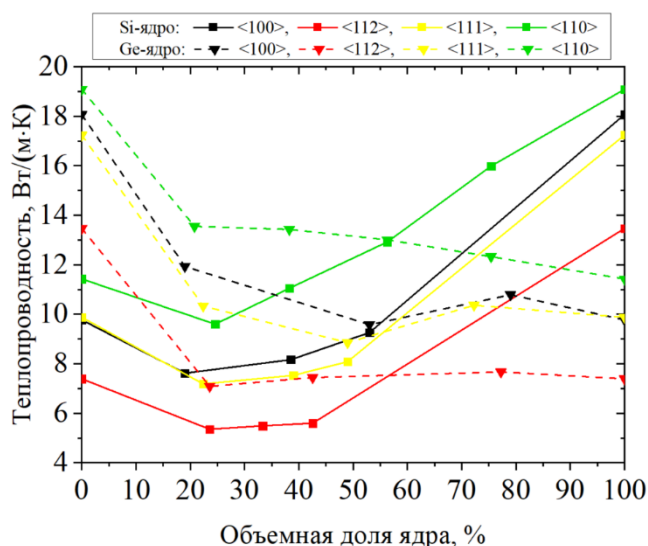


Рисунок 2 – Зависимость теплопроводности нанопроволок Si/Ge типа ядро/оболочка с различными ориентациями от объемной доли ядра

В результате работы была исследована теплопроводность нанопроволок из кремния и германия типа ядро-оболочка, которые наблюдались экспериментально. Результаты свидетельствуют о потенциальной возможности применения Si/Ge нанопроволок со структурой типа ядро-оболочка в термоэлектрических устройствах на основе Si и Ge. Предлагается использовать нанопроволоки с ориентацией <112> и структурой типа Si-ядро/Ge-оболочка в термоэлектрических устройствах, так как данный тип морфологии позволяет наиболее эффективно снизить теплопроводность.

**Список использованных источников:**

1. Yang, L. *High performance thermoelectric materials: Progress and their applications* / L. Yang, Z.-G. Chen, M. S. Dargusch, J. Zou // *Advanced Energy Materials*. – 2017. – Vol. 8., N 6.
2. Goktas N. I. *Nanowires for energy: A review* / N. I. Goktas, P. Wilson, A. Ghukasyan, D. Wagner // *Applied Physics Reviews*. – 2018. – Vol. 5, N 4.
3. Jie, C. *Impacts of Atomistic Coating on Thermal Conductivity of Germanium Nanowires* / J. Chen, G. Zhang, and B. Li // *Nano Lett.* – 2012. – Vol. 12. N. 6. – P. 2826–2932.

## ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУР С ПЛЕНКАМИ ТИТАНАТА БАРИЯ НА КРЕМНИИ

Корнилова Ю.Д.

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

Гапоненко Н.В. – д-р физ.-мат. наук, проф.

Золь-гель методом синтезированы пленки титаната бария при температурах термообработки 450 и 750 °С. Сформированы структуры на подложках КДБ-20, представляющие собой трехслойные пленки титаната бария и титаната бария, легированного эрбием, с верхними контактными площадками из никеля. Получены вольт-амперные характеристики в условиях освещения и в темновом режиме.

Оксидные соединения со структурой перовскита, к которым принадлежат титанат бария, широко используются в областях нелинейной оптики, пироэлектрических детекторов, электрооптических модуляторов, тонкопленочных конденсаторов и оптических запоминающих устройств [1, 2]. Поликристаллические пленки перовскитов титаната стронция и титаната бария вызывают растущий интерес в материаловедении и электронной технике благодаря высокому значению диэлектрической проницаемости и зависимости электрофизических свойств от электрического поля.

Свойства структур на основе титаната бария зависят от способа и условий его синтеза. Пленки титаната бария формируют лазерной абляцией и ионно-лучевым испарением [3, 4], а также золь-гель методом [5]. Представляет интерес фоточувствительность пленочных структур титанат бария/кремний [6]. Легирования титаната бария лантаноидами может изменить спектральную чувствительность структуры.

В данной работе представлены измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) структур с пленками титаната бария, полученных золь-гель методом. Исследовались как нелегированные пленки, так и легированные эрбием пленки с освещением и без освещения.

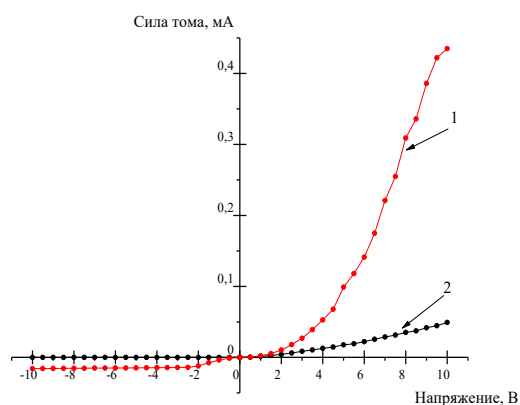
Для получения пленок титаната бария использовался золь на основе тетраизопророксида титана и ацетата бария, которые последовательно растворяли в смеси уксусной кислоты и ацетилацетона, массовая концентрация для золь составляла 60 мг/мл. Для пленок титаната бария с эрбием в исходный золь был добавлен нитрат эрбия в количестве, необходимом для итогового содержания эрбия в пленке 1 ат. %. Полученные золи методом центрифугирования со скоростью 2700 об/мин наносились на подложки из кремния марок КДБ-20. После нанесения каждого слоя проводилась сушка в течение 10 мин при 200 °С и последующий отжиг в течение 30 мин при 450 °С или 60 мин при 750 °С. Были изготовлены образцы с трехслойными пленками титаната бария. На пленку титаната бария наносились контактные площадки из никеля со стороной 0,8 мм, а также электрод большей площади, обеспечивающий омический контакт. Также для сравнения был изготовлен образец, где контактные площадки были нанесены на саму кремниевую подложку.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) структур регистрировались при комнатной температуре в интервале напряжений  $U = \pm 10$  В от стабилизированного источника питания ТЕС-23. Напряжение и ток измерялись электронным цифровым вольтметром В7-23 и амперметром В7-27А. Исследовались темновые ВАХ, а затем при освещении «белым» светом с интенсивностью 57 мВт/см<sup>2</sup>. Структуры освещались со стороны пленки титаната бария. В качестве источника освещения использована галогенная лампа КГМ с цветовой температурой вольфрамовой нити накаливания 2850 °С.

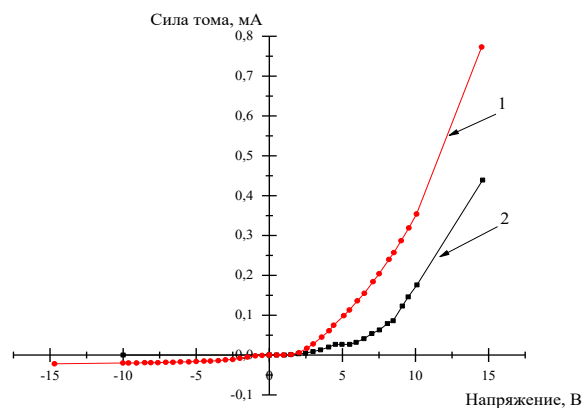
Полученные пленки титана бария различаются по своему кристаллическому строению. Пленки, отожженные при 450 °С, являются рентгеноаморфными. Пленки, отожженные при 750 °С, как показывают рефлексы на дифрактограммах, имеют поликристаллическое строение. Согласно эллипсометрическим измерениям, толщина трехслойной пленки титаната бария при отжиге 450 °С составила 220 нм, толщина пленки, отожженной при 750 °С, составила 175 нм. Толщины трехслойных пленок титаната бария, легированного эрбием, при 450 °С составили 197 нм, при 750 °С - 173 нм.

На рисунке 1 представлены ВАХ полученных структур, где кривая 1 соответствует измерениям с освещением, кривая 2 - измерениям без освещения. Согласно полученным данным, фототок на прямой ветви ВАХ структур с пленками титаната бария уменьшается по сравнению с ВАХ подложки КДБ-20 без пленки (рисунок 1,г). На обратной ветви в структурах появляется фототок, отличный от нуля. В случае с аморфной трехслойной пленкой (рисунок 1,а) фототок выходит на насыщение при -2,5 В и равен -15 мкА. Ток при отсутствии освещения отсутствует.

В структурах с пленками, легированными эрбием, при температуре термообработки 450 °С максимальный ток обратной ветви равен -20 мкА (рисунок 1,б). После отжига при температуре 750 °С ток обратной ветви повышается в два раза до -41 мкА и выходит на насыщение при -1,5 В (рисунок 1,в) .



а



б

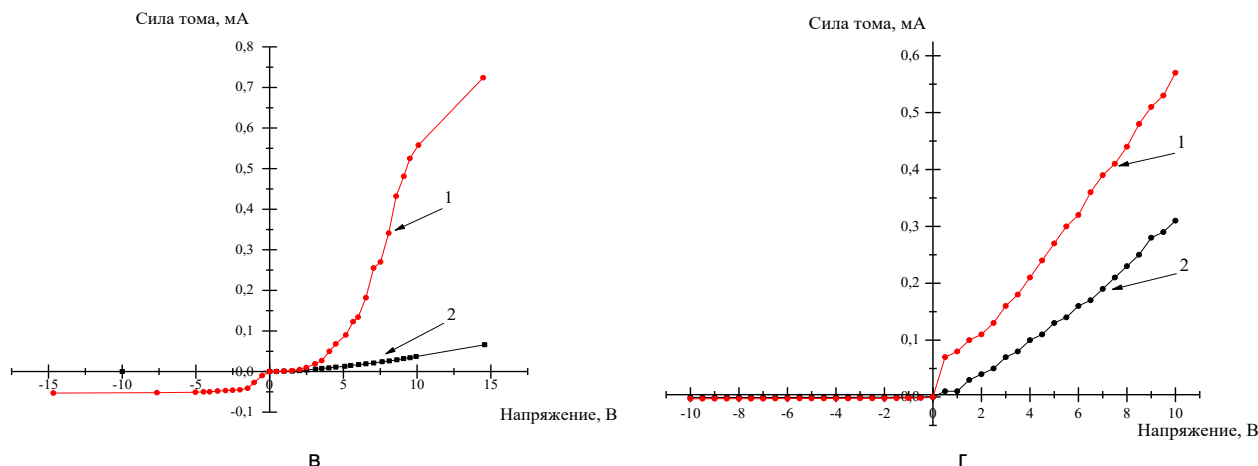


Рисунок 1 – Вольт-амперная характеристика: а – трехслойной пленки титаната бария при отжиге 450 °С; б – трехслойной пленки титаната бария, легированного эрбием, при отжиге 450 °С; в – трехслойной пленки титаната бария, легированного эрбием, при отжиге 750 °С; г – кремниевой подложки КДБ-20.

Получены структуры кремний / титанат бария / никель, которые пригодны для измерения электро-физических характеристик. Показано, что полученные структуры с пленками титаната бария демонстрируют фототок при прямом и обратном смещении.

Термообработка пленок титаната бария, легированного эрбием, при 750 °С увеличивает ток на обратной ветви вольт-амперной характеристики при освещении структуры в два раза.

**Список использованных источников:**

- Hill, N. Why are there so few magnetic ferroelectrics? / N. Hill // *J. Phys. Chem. B.* – 2000. – Vol. 104. – P. 6694-6709.
- Schrott, A. Ferroelectric field-effect transistor with a  $\text{SrRu}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$  channel / A. G. Schrott, J. A. Misewich, V. Nagarajan, R. Ramesh // *Appl. Phys. Lett.* – 2003. – Vol. 82. – P. 4770.
- Norton, M. G. Pulsed- laser deposition of Barium Titanate thin films / M. Grant Norton, Kathryn P. B. Cracknell, C. Barry Carter // *Journal of the American Ceramic Society.* – 1992. – Vol. 75. – P. 1999-2002.
- Li, G.Q. Effects of chemical composition on humidity sensitivity of Al/BaTiO<sub>3</sub>/Si structure / G. Q. Li, P. T. Lai, S. H. Zeng, M. Q. Huang, B. Y. Liu // *Appl. Phys. Lett.* – 1995. – Vol. 66. – P. 2436-2438.
- Kamalasanan, M.N. Dielectric and ferroelectric properties of BaTiO<sub>3</sub> thin films grown by the sol- gel process / M.N. Kamalasanan, Kumar N. Deepak, S. Chandra // *J. Appl. Phys.* – 1993. – Vol. 74. – P. 5679.
- Холов, П.А. Золь-гель синтез и перспективы применения пленок титаната бария / П.А. Холов, М.В. Руденко, Н.В. Гапоненко // *Доклады БГУИР.* – 2017. – Т. 106, № 4. – С. 32-36.

## ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ В РАЗБАВЛЕННОМ МАГНИТНОМ ПОЛУПРОВОДНИКЕ $\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{S}$

Белько И.В., студент гр.942791

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

Баранова М.С. – научный сотрудник НИЧ БГУИР

**Аннотация.** В данном тезисе описываются исследования магнитных свойств в разбавленном магнитном полупроводнике  $\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{S}$ . Описываются полученные значения постоянных решетки, межатомных расстояний, индекса искажения, дисперсии угла связи, энергии магнитокристаллической анизотропии, магнитного момента

Энергия магнитокристаллической анизотропии (англ. *Magnetocrystalline Anisotropy Energy*,  $E_{\text{MAE}}$ ) — это внутренняя энергия намагничивания, которая отражает симметрию кристалла. Возникновение магнитокристаллической анизотропии в кристалле определяет наличие анизотропных взаимодействий, а именно спин-орбитального взаимодействия [1]. Данное взаимодействие напрямую влияет на магнитную анизотропию и зависит от симметрии кристалла.

**Актуальность** исследования магнитных свойств полупроводниковых материалов связана с развитием новых технологических направлений и востребованностью разработок новых функциональных устройств, работающих на спиновых эффектах.

Разбавленные магнитные полупроводники (РМП) — это класс материалов, в котором наблюдался высокотемпературный ферромагнетизм [2].

**Целью настоящей работы** является установление зависимости магнитных свойств РМП  $\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{S}$  от структурных характеристик.

Расчеты структурных и магнитных свойств кристалла ZnS с примесью переходного металла, а именно Fe, проводились посредством *ab initio* моделирования. Визуализация полученной конфигурации суперячейки для моделирования проводилась в программе VESTA [3]. Выполнена релаксация суперячейки ZnS (72 атома) с внедренными атомами железа в программном пакете VASP [4]. Исследуя полученную структуру выявлено, постоянные решетки равны  $a=b=5,557 \text{ \AA}$ , и  $c=6,077 \text{ \AA}$  соответственно.

Кристалл ZnS характеризуется тетраэдрическими комплексами, которые состоят из центрального атома Zn и атомов лигандов S (рисунок 1). Атом Fe замещает атом Zn в узлах кристаллической решетки и вносит искажения. Установлено, что в тетраэдрэдрическом комплексе с примесью переходного металла Fe в центре и лигандами S межатомное расстояние составляет  $2,254 \text{ \AA}$ . Вдоль кристаллографического направления с обнаружено увеличение длины связи на  $0,084 \text{ \AA}$ .

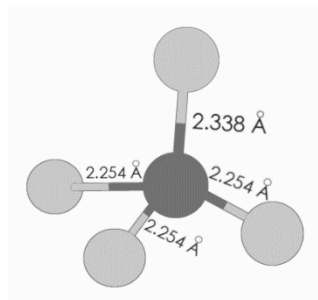


Рисунок 1 – Тетраэдрический комплекс с переходным металлом Fe

Индекс искажения (D) рассчитывается по следующей формуле [5]:

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|l_i - l_{cp}|}{l_{cp}}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество связей;

$l_i$  – расстояние от центрального атома до каждого координационного атома,  $\text{Å}$ ;

– средняя длина связей,  $\text{Å}$ .

Индекс искажения для этой конфигурации равен  $0,0138$ , в то время как для не подверженных искажению частей суперячейки он равен  $0,00122$ .

Дисперсия угла связи ( $\sigma$ ) рассчитывается по следующей формуле [6]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\phi_i - 108^{\circ}28')^2}, \quad (2)$$

где  $m$  – количество углов связей;

–  $i$ -тый угол связи, град.

Дисперсия угла связи для кластера с переходным металлом равна  $4,688^{\circ}$ , что намного превышает стандартный показатель по ячейке равный  $0,28^{\circ}$ .

Энергия магнитокристаллической анизотропии  $E_{MAE}$  рассчитывается как разница значений энергии, необходимых для намагничивания кристалла в трудном ( $E_{10011}$ ) и легком ( $E_{11001}$ ) направлениях [7]. Для учета спин-орбитального взаимодействия при расчете  $E_{MAE}$  в программном пакете VASP подключается функция LSORBIT. Установлено, что для суперячейки ZnS с примесью переходного металла (Fe) энергия магнитокристаллической анизотропии равна  $E_{MAE} = 0,23 \text{ мэВ}$ , а магнитный момент –  $m = 3,91 \mu_B$ .

Получена плотность электронных состояний (ПЭС) для суперячейки ZnS с примесью Fe (рисунок 2).



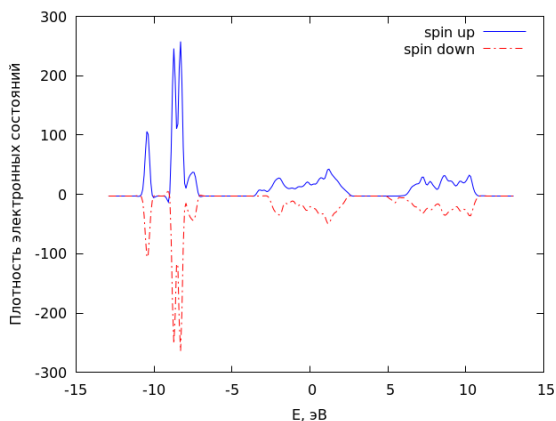


Рисунок 2 – Плотность электронных состояний для суперячейки ZnS с примесью Fe

Уровень Ферми смещен в ноль по шкале энергии. Глубокие уровни, с хорошо выраженными пиками, находящиеся в пределах от -13 эВ до -4 эВ принадлежат атомам Zn. Верхняя кривая, которая отображает ПЭС для электронов со спином вверх, симметрична ПЭС электронов со спином вниз. Следовательно, атомы Zn не вносят вклад в результирующий магнитный момент.

ПЭС расположенная между -5 эВ и 5 эВ соответствует электронным состояниям атомов Fe и S. В данной области симметричность кривых нарушена разрешенными состояниями, которые заселены электронами со спином вниз, а также разрешенными состояниями в области выше уровня Ферми, то есть свободными разрешенными состояниями для электронов со спином вниз, следовательно формирование магнитного момента происходит за счет внедренных атомов Fe и S.

Таким образом, выполнено моделирование из первых принципов кристалла ZnS с примесью Fe. Установлено, что внедрение примеси в кристаллическую решетку вносит существенные искажения, которые выражаются в удлинении одной связи между Fe и S, искажении углов в тетраэдрическом комплексе. Определено, что формирование магнитного момента происходит только за счет Fe.

**Список использованных источников:**

1. *Magnetic materials. Wide Bandgap Power Semiconductor Packaging* / D. Azuma // 2018. – P. 97-107.
2. *Magnetic Percolation in Diluted Magnetic Semiconductor*// L. Bergqvist [et. al.]// 2004. – P. 93.
3. Momma, K. VESTA: a Three-Dimensional Visualization System for Electronic and Structural Analysis//K. Momma, F. Izumi// National Museum of Nature and Science 2013. – P. 163.
4. Kresse, G. VASP the guide: tutorial / G. Kresse // Austria, University of Vienna. – 2003.
5. *The geometry of polyhedral distortions. Predictive relationships for the phosphate group* / W. H. Baur // 1974. – P. 1195-1215.
6. *Robinson K. Quadratic Elongation: A Quantitative Measure of Distortion in Coordination Polyhedra* / K. Robinson, G.V. Gibbs, P.H. Ribbe // 1971. – P. 567-570.
- 7 Kabir, A. *First principles study of magnetization and magnetic anisotropy energy of small Co-Pt clusters*//A. Kabir, E. Ahmed// Department of Physics, University of Dhaka 2020. – P. 8.

УДК 378.162.33

Секция «Микро- и нанoeлектроника»

## ИЗМЕРИТЕЛЬ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Закаблук А.Ю.

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

Научный руководитель: Шульгов В.В. – старший преподаватель

**Аннотация.** Разработан прибор, позволяющий методом амперметра-вольтметра измерять вольт-амперные характеристики исследуемых резисторов, диодов, биполярных и полевых транзисторов и выводить информацию на встроенный индикатор или на персональный компьютер.

**Ключевые слова:** вольт-амперная характеристика, метод амперметра-вольтметра, Arduino IDE, Processing, ATmega2560.

**Введение.** В связи с бурным развитием информационных технологий остаются актуальным вопрос усовершенствования и пополнения современными образцами оборудования материальной базы ССУЗов и ВУЗов. Зачастую для решения этой проблемы закупается дорогостоящее

оборудование или усовершенствование материальной базы не происходит, что может привести к неактуальности полученных знаний учащимися и студентами. Для развития и совершенствования учебной и лабораторной базы при обучении студентов по дисциплине «Полупроводниковые приборы и элементы интегральных микросхем» был разработан измеритель характеристик полупроводниковых приборов.

**Основная часть.** В данном устройстве ВАХ полупроводниковых приборов определяются при помощи базового метода их измерения – метода вольтметра-амперметра. В соответствии с этим методом к электродам полупроводникового прибора подключаются управляемые источники (генераторы) ЭДС или тока и с помощью измерительных приборов вольтметров и амперметров (миллиамперметров) измеряются напряжения и токи в цепях полупроводникового прибора при различных значениях ЭДС или тока источников. Общие базовые схемы измерения вольт-амперных характеристик по данному методу для двух- и трехэлектродных полупроводниковых приборов приведены на рисунке 1 [1].

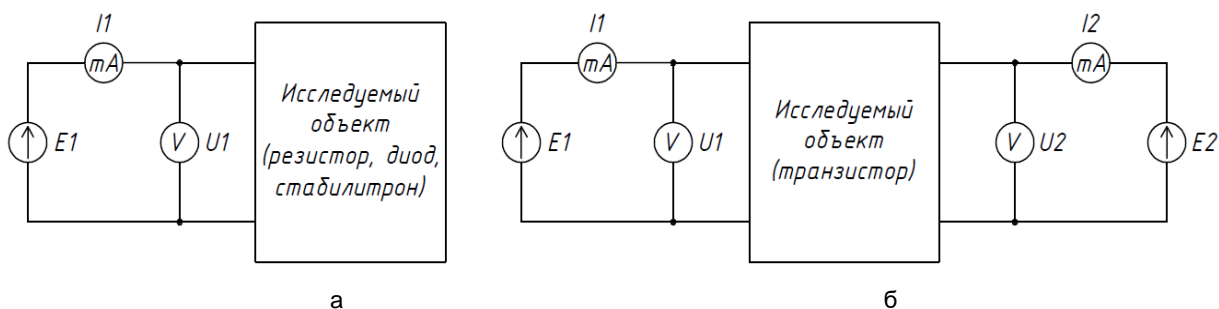


Рисунок 1 – Общие схемы измерения вольт-амперных характеристик методом вольтметра-амперметра для двух- (а) и трехэлектродных (б) объектов исследования

3D- модель измерителя характеристик представлена на рисунке 2. Измеритель был разработан на основе микроконтроллера ATmega2560 [2], который в настоящее время является популярным для прототипирования и разработки несложных устройств. Для измерителя тока и напряжения была использована микросхема INA219 [3], которая позволяет измерять напряжения до 26 вольт и ток до 3,2А. В рамках разработанного прибора данные диапазоны были ограничены до 10 вольт и 100 мА. Реализованный прототип имеет встроенный цветной дисплей, позволяющий выводить текущую информацию, также предусмотрена возможность вывода информации на монитор персонального компьютера. Предусмотрена съемная измерительная панель, которая позволяет расширить функционал прибора без изменения конструкции. Одной из возможных дополнительных функций является изучения влияния температуры окружающей среды на вольтамперные характеристики изучаемых приборов.

Для программирования микроконтроллера использовалась среда разработки Arduino IDE [4], а для реализации программного обеспечения для персонального компьютера – язык программирования Processing [5], основанный на Java.

Измеритель позволяет получить характеристики широкого номинала резисторов, диодов и транзисторов (рисунок 3).



Рисунок 2 – 3D- модель измерителя характеристик полупроводниковых приборов

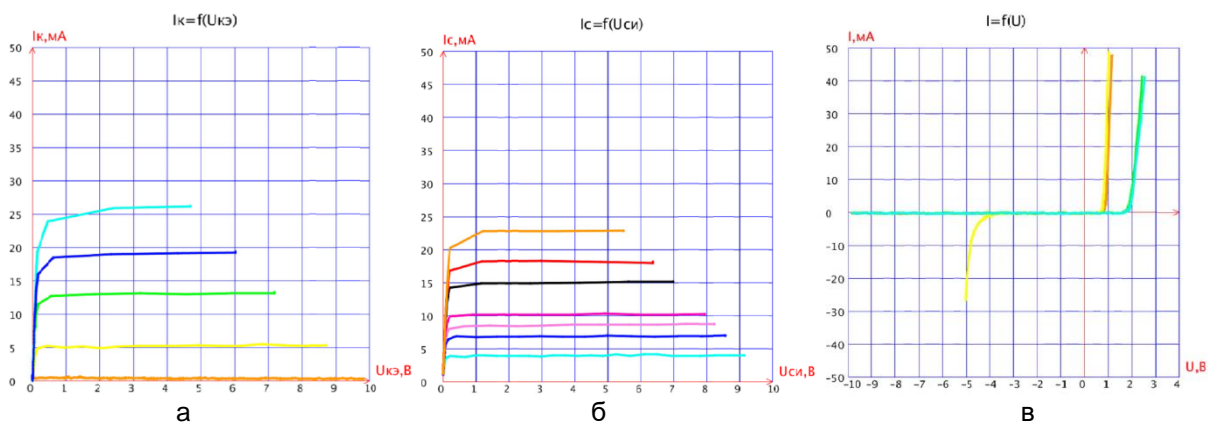


Рисунок 3 – Вольт-амперные характеристики полученные с использованием измерителя полупроводниковых приборов: выходные характеристики биполярного (а) и полевого транзистора (б), характеристики диодов (в)

**Заключение.** Разработанный измеритель полупроводниковых приборов является оптимальным вариантом для изучения работы и характеристик полупроводниковых приборов в рамках учебного процесса. Это обусловлено компактностью прибора и небольшим рабочим напряжением питания в 12В. Наличие встроенного дисплея и возможности отображения информации на мониторе персонального компьютера, позволяет работать с прибором индивидуально и в группе. Возможна реализация прибора с управляющей и обрабатывающей частью на персональном компьютере или мобильных устройствах в качестве программных приложений и отдельной измерительной частью, что позволит сократить затраты на изготовления прибора.

**Список использованных источников:**

1. Исследование параметров и характеристик полупроводниковых приборов с применением интернет-технологий. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / Н. М. Егоров, А. С. Глинченко, В. А. Комаров, А. В. Сарафанов. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008.
2. Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V 8-bit: Datasheet / Atmel Corporation. – Режим доступа : <https://datasheet-pdf.com/PDF/ATMEGA2560-Datasheet-ATMELCorporation-51703>.
3. INA219 Zero-Drift, Bidirectional Current/Power Monitor With I2C Interface: Datasheet / Texas Instruments. – <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina219.pdf>.
4. Джереми, Б Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства; пер. с англ. / Б. Джереми. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015.
5. Орлов, П. А. Программирование для дизайнеров: учеб. пособие / П.А. Орлов; под ред. проф. В.М. Иванова – М.: АВАТАР, 2015.

## ФОРМИРОВАНИЕ НАНОТРУБОК ОКСИДА ТИТАНА В ЭЛЕКТРОЛИТАХ НА ОСНОВЕ ХЛОРИДА НАТРИЯ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Минск, Республика Беларусь

Стешиц Н.Н., Антипов К.А., Дудич В.В.

**Введение.** Нанотрубчатый оксид титана привлекает внимание исследователей из-за своих уникальных структурных и электрофизических свойств. Высокие значения внутренней удельной поверхности нанотрубок обеспечивают увеличение фотокаталитической активности этого материала при его использовании для очистки воды от органических загрязнений [1]. Поэтому исследования, направленные на формирование наноструктурированного оксида титана и изучение его свойств, являются актуальными как для экологии, так и для других применений, включая электронику, оптику и медицину.

В данной работе проведено формирование нанотрубчатого оксида титана в электролитах на основе хлорида натрия электрохимическим анодированием титана, а также проведено исследование морфологии сформированных структур.

**Основная часть.** При формировании исследуемых пленок использовали титановую фольгу толщиной 100 мкм. Концентрацию раствора хлорида натрия варьировали в диапазоне от 0,1 до 10 %, плотность анодного тока от 5 до 200 мА/см<sup>2</sup>.

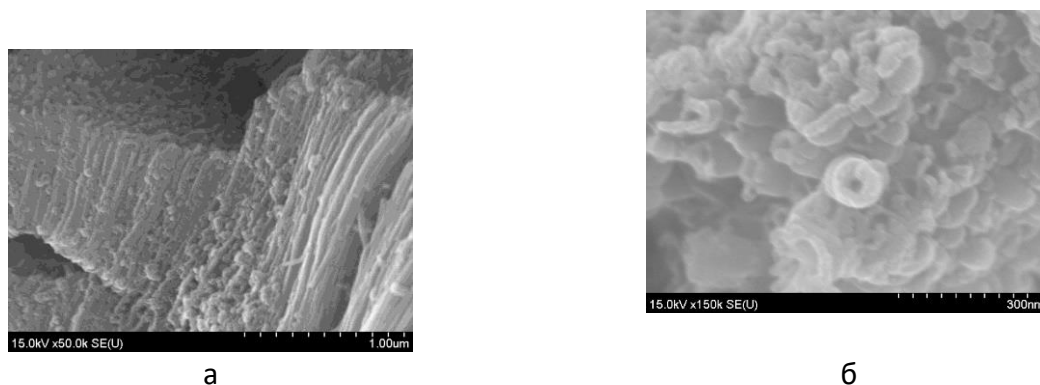


Рисунок 1 - Микрофотографии (изображения растрового электронного микроскопа) трубчатой структуры оксида титана, сформированной в 1% растворе NaCl при плотности анодного тока  $100 \text{ mA/cm}^2$ : а – поперечное сечение, б – вид сверху.

На рисунке 1 приведены микрофотографии сформированных структур, сделанные при помощи электронной микроскопии. Как видно из рисунка сформированные пленки состоят из плотноупакованных трубок, расположенных перпендикулярно исходной обрабатываемой поверхности. Полученные результаты отличаются от ранее опубликованных тем, что в данном случае размеры внешнего диаметра трубок находятся в диапазоне от 30 до 100 нм, в то время как для известных наноструктур, формируемых в электролитах на основе фторида аммония этот диапазон составляет 70 – 300 нм [2]. Также рекордно низким является значение анодного напряжения, при котором формируются трубчатые структуры. В частности, рост трубок в используемых электролитах наблюдался при напряжении 14 - 20 В, в то время как при использовании известных электролитов на основе фторида аммония рост трубок имеет место при напряжениях от 25 до 120 В [3].

**Заключение.** На основании вышеотмеченного следует, что сформированные трубчатые структуры оксида титана имеют более высокие значения удельной внутренней площади поверхности и следовательно, они будут обладать более высокой фотокаталитической активностью, что открывает новые возможности для их использования при фотокаталитической очистке воды. *Список литературы*

1. *Fabrication of double-walled titania nanotubes and their photocatalytic activity / K. Liang, Beng Kang Tay, Olga V. Kupreeva, Taisiya I. Orekhovskaya, Sergei K. Lazarouk, Victor E. Borisenko // ACS Sustainable Chem. Eng. – 2014. – Vol. 2, № 3. – P. 991– 995.*
2. *Effect of the electrolyte temperature on the formation and structure of porous anodic titania film / S.K. Lazarouk, D.A. Sasinovich , O.V. Kupreeva , T.I. Orehovskaia , N. Rochdi , F. Arnaud d'Avitaya, V.E. Borisenko // Thin Solid Films. – 2012. – Vol. 526. – P. 41-46.*
3. *Механизм формирования трубчатого оксида титана электрохимическим анодированием / С.К. Лазарук, О.В. Купреева, Д.А. Циркунов, Д.А. Сасинович, В.В. Дудич, Г.Г. Рабатуев // ЖТФ. – 2020. – Т. 90, № 5. – С. 746-755.*

## ФОРМИРОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОДЫ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Аксючиц А.В., аспирант, Манцевич Д.А., студент гр.843201  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Котов Д.А. - Доцент кафедры МНЭ

**Аннотация.** В статье описывается конструкция разрядной системы для формирования плазмы диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении с поверхностью воды и материалы, используемые для её создания.

**Актуальность**

В последнее время плазменные методы модификации поверхности (в том числе и её активация) привлекают к себе большой интерес. Технология плазменной обработки при атмосферном давлении позволяет достичь высокого уровня дезинфекции и обработки пищевых продуктов, медицинских инструментов, живой биологической

ткани, может применяться при лечении различных видов кожных заболеваний и другое.

Разряды плазмы генерируют химически активные частицы, которые обладают высокой окислительной способностью (пероксид водорода ( $H_2O_2$ ), атомарный кислород ( $O\bullet$ ), гидроксил-радикал ( $HO\bullet$ ), гидропероксид-радикал ( $HO_2\bullet$ ), озон ( $O_3$ )).[2]

В таблице 1.1 показаны значения известных окислительных потенциалов некоторых частиц

Таблица 1.1 – Окислительные потенциалы активных частиц, генерируемых в электроразрядной плазме.[2]

Окислитель	Окислительный потенциал, (мВ)
Гидроксил радикал	2,56
Озон	2,07
Атомарный кислород	1,78
Пероксид водорода	1,77
Кислород	1,23

В ходе данной работы была собрана экспериментальная конструкция разрядной системы, которая формирует плазму диэлектрического барьерного разряда с поверхностью воды. Схематическое представление системы показано на рисунке 1.

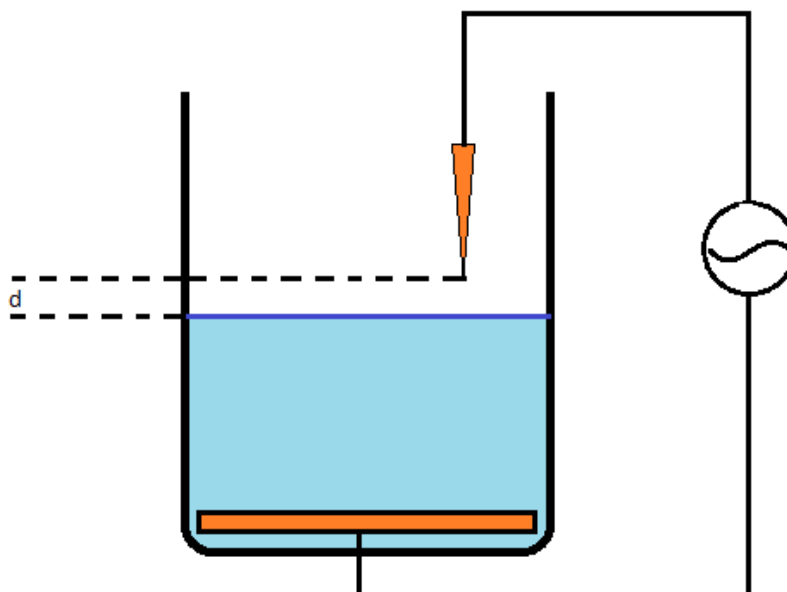


Рисунок 1 – Схематическое представление конструкции разрядной системы [1]

Разрядная система представляет собой плоский медный электрод, находящийся на дне емкости с водой и проволочный электрод, находящийся на расстоянии  $d$  от поверхности воды.

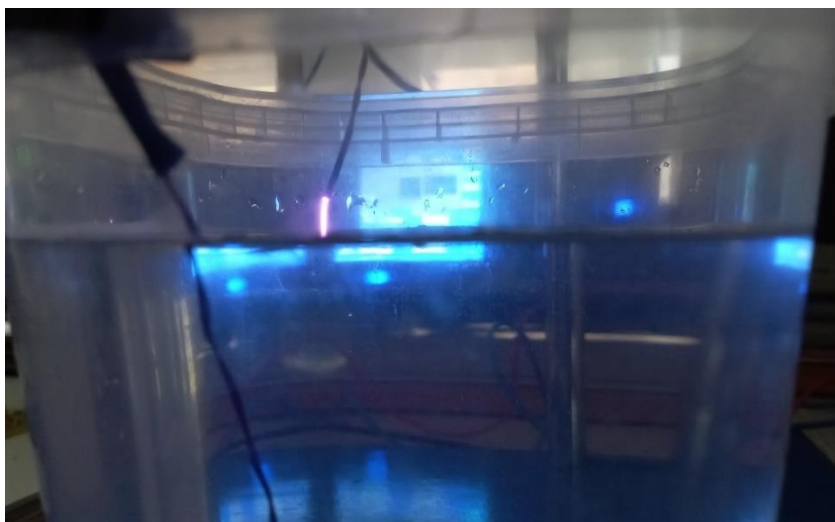


Рисунок 2 – Внешний вид разрядной системы для формирования плазмы диэлектрического барьерного разряда

Напряжение формирования разряда является одной из основных характеристик барьерного разряда.

Было установлено, что на параметры разряда оказывает важное влияние величина разрядного промежутка. При увеличении его значения также необходимо увеличивать напряжение, подаваемое между электродами для поддержания стабильного горения плазмы.

Таблица 1.2 – Зависимость расстояние между электродами и напряжения

Расстояния между электродом и поверхностью воды, (мм)	Необходимое напряжение, (кВ)
2	3,017
4	5,6
6	8,28
8	12,16
10	14,67
12	17,22
14	20,888
16	22,36
18	24,3



Рисунок 3 – Зависимость напряжения зажигания плазмы от расстояния между электродами

Из графика видно что при увеличении расстояния  $d$  между электродом и поверхностью воды необходимо также увеличивать напряжение между электродами для поддержания стабильного формирования плазмы.

В результате экспериментальных исследований установлено, что при увеличении рабочего напряжения до 24 кВ становится возможным установить расстояние между электродом и водой до 18 мм, что позволяет увеличить объем рабочей зоны для обработки материалов в области формирования плазмой химически активных веществ.

**Список использованных источников:**

1. Thomas M., Mittal K. L. (ed.). *Atmospheric pressure plasma treatment of polymers: Relevance to adhesion.* – John Wiley & Sons, 2013.
2. Якушин П.В., Колесников В.А. *Интенсификация процессов в водных растворах и использованием плазмы.* – Москва, 2015.

## СИСТЕМА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАЗМЫ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА ПЛАНАРНОГО ТИПА ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Лямков В.Г., студент гр.942791, Запороженко Ю. В. аспирант каф. МНЭ  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Аксюциц А. В. аспирант каф. МНЭ

**Аннотация.** В статье описывается конструкция разрядной системы для формирования плазмы диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении и материалы, используемые для её создания. Были установлена зависимость напряжения формирования плазмы от зазора между поверхностями электродами.

**Ключевые слова.** Атмосферная плазма, диэлектрический барьерный разряд, разрядный промежуток, напряжение зажигания

Исследование газового разряда представляет научный и практический интерес. В настоящее время атмосферная плазма является эффективной альтернативой вакуумной плазме, поскольку для её генерации не требуются дорогостоящие вакуумные системы. Плазма атмосферного давления позволяет производить локальную обработку – очистку и активацию поверхности полимеров, металлов, керамики стекла и др. Создавая на поверхности химически активный слой, плазменная обработка значительно улучшает качество покрытий. Этот эффект достигается без применения химических реагентов, что является важным фактором при достижении безопасности и экологической чистоты промышленных процессов. В данной работе была собрана экспериментальная планарная разрядная система, которая формирует плазму диэлектрического барьерного разряда. Схематическое представление системы показано на рисунке 1.

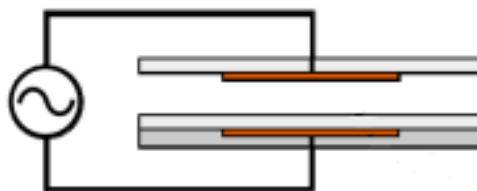


Рисунок 1 – Схематический вид конструкции планарной разрядной системы

Разрядная система представляет собой две диэлектрические подложки с сформированными на их поверхности электродами, нижний электрод заземлен и покрыт слоем диэлектрика, который используется для ограничения тока, протекающего через разрядный промежуток. Расстояние между электродами является одним из основных параметров разрядной системы, представленной на рисунке 1. Материалы, используемые в разрядной системе показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Материалы, используемые для построения разрядной системы, показанной на рисунке 1

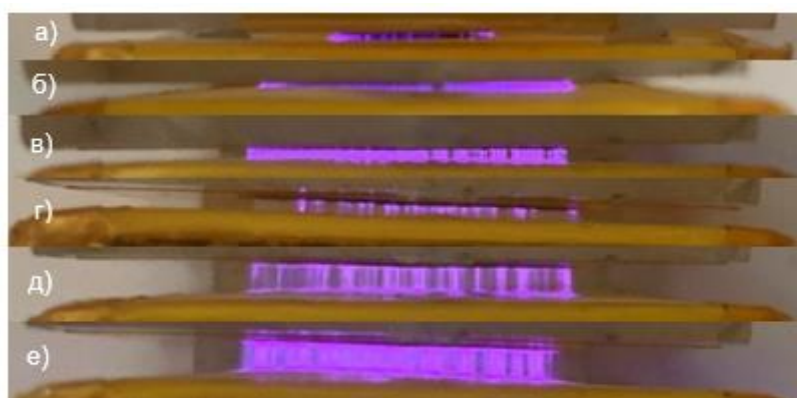
Наименование	Материал	Длина	Ширина
Верхний электрод	Медь	от 2 до 100 мм	от 1 до 50 мм
Нижний электрод			
Диэлектрик	Фторопласт	от 5 до 400 мм	
Диэлектрическая подложка	Метилметакрилат		

В настоящей работе эксперимент проводился с изменением разрядного промежутка от 0,1 до 2,2 мм и напряжении формирования плазмы диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении от 8,6 до 13,2 кВ. На рисунке 2 показано поперечное сечение диэлектрического барьерного разряда при определённой величине напряжения формирования плазмы и величине разрядного промежутка. В ходе экспериментальных исследований была получена зависимость напряжения зажигания плазмы от зазора между поверхностями электродов, зависимость показана на рисунке 4.

Внешний вид разработанной экспериментальной разрядной системы планарного типа показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид разрядной системы диэлектрического барьерного разряда



а) напряжение зажигания (V) 8,6 кВ, расстояние между плоскостями электродов (d) 0,1 мм; б) V=8,9 кВ, d=0,4 мм; в) V=9,6 кВ, d=0,8 мм; г) V=10,5 кВ, d=1 мм; д) V=11,8 кВ, d=2 мм; е) V=13,2 кВ, d=2,2 мм

Рисунок 3 – Поперечное сечение диэлектрического барьерного разряда



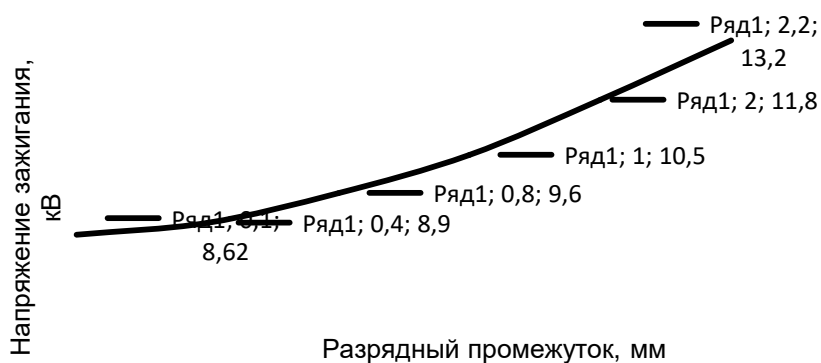


Рисунок 4 – Зависимость напряжения зажигания плазмы от расстояния между электродами

Плазму при атмосферном давлении полученной в разрядном промежутке разработанной системы можно использовать для очистки и активации поверхности материалов. Зону обработки с применением разрядных систем такого типа можно масштабировать, изменяя размер и форму электродов, это позволяет обрабатывать подложки большей площади с использованием систем конвейерного типа, что увеличивает производительность при уменьшении затрачиваемого времени.

УДК 537.523

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ БУМАГИ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ В ПЛАЗМЕ АТМОСФЕРНОГО РАЗРЯДА

*Чернец Н.С., студент гр.843201, Запороженко Ю.В., аспирант*

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

*Котов Д.А. – канд. техн. наук*

**Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментальных исследований смачиваемости поверхности бумаги после обработки в плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении. В качестве рабочего газа использовался аргон. Смачиваемость определялась методом лежащей капли. В зависимости от времени обработки наблюдалось увеличение диаметра смачивания поверхности бумаги и растекаемости капли воды от исходных 4 миллиметров до 14 миллиметров. Определены режимы работы генератора плазмы в процессе обработки поверхности бумаги, обеспечивающие наилучшие показатели ее смачиваемости.

**Ключевые слова.** Угол смачиваемости, смачиваемость, растекание, поверхность бумаги, обработка, плазма диэлектрического барьерного разряда, атмосферное давление, метод лежащей капли.

Смачивание и растекание - знакомые явления в природе и часто наблюдаемые в нашей повседневной жизни, имеющие большое значение для фундаментальных научных исследований, а также обеспечивающие решения для передовых технологий. В последние десятилетия, переняв опыт природы, уникальные свойства смачивания и растекания были биомиметически реализованы путем создания искусственных материалов, что способствовало постоянному развитию таких областей, как транспортировка жидкостей, распыление, очистка и окраска в промышленности и сельском хозяйстве, и даже повлияло на образ нашей повседневной жизни. [1]

«Холодная» или нетепловая плазма (НТП) представляет собой высокоэнергетическое состояние газа, когда электрический ток может проходить из-за высокого напряжения. До недавнего времени плазму можно было создавать только в вакуумных системах, что делало невозможным ее использование для обработки чувствительных материалов. Однако за последние несколько лет технологические разработки позволили производить холодную плазму при атмосферном давлении, используя экономически выгодные системы. [2]

Целесообразность внедрения таких технологий диктуется возможностями локального и избирательного воздействия на объекты различной природы за счет направленного физического и химического взаимодействия составляющих плазмы с поверхностью. В частности, вышесказанное относится к низкотемпературной неравновесной плазме, основными достоинствами которой являются безопасность для человека, низкая проникающая способность и возможность обработки объектов при

атмосферном давлении и температуре, близкой к комнатной. Плазма может иметь температуру в диапазоне от 25 до 40 °С. В ходе обработки не образуются, и не используются стабильные химически-агрессивные соединения, что свидетельствует об экологической безопасности генераторов плазмы. [3-5]. В связи с этим в данной статье рассматриваются вопросы влияния атмосферной плазмы на гидрофильные и гидрофобные свойства поверхности бумаги.

На рисунке 1 представлено фото обработки стандартной офисной бумаги в «холодной» плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении.

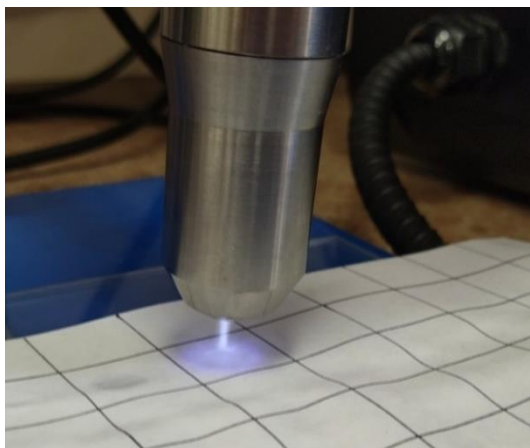


Рисунок 1 – Обработка бумаги в плазме при атмосферном давлении

Обработка поверхности бумаги, состоящей в основном из древесной целлюлозы, проводилась в плазменном факеле, формируемом диэлектрическим барьерным разрядом в потоке инертного газа - аргона. Выбор инертного газа обусловлен, как условиями плазмообразования, так и фактором слабого взаимодействия с исследуемым объектом [6].

Поверхность листа бумаги подвергалась обработке на разных участках. После первой обработки было установлено, что угол смачивания уменьшился до  $\cong 0$  градусов, поэтому было решено измерять диаметр растекаемости капли. Для оценки полученных результатов использовался метод смачивания и растекания.

В ходе экспериментов по исследованию изменения диаметра смачивания поверхности листа бумаги установлено, что максимальный диаметр смачивания от обработки поверхности бумаги достигается при расстоянии между образцом и торцом системы 10-15 мм. Поэтому при проведении исследований было выбрано расстояние обработки – 10 мм.

На рисунке 2 представлена зависимость диаметра смачивания поверхности бумаги от времени обработки.

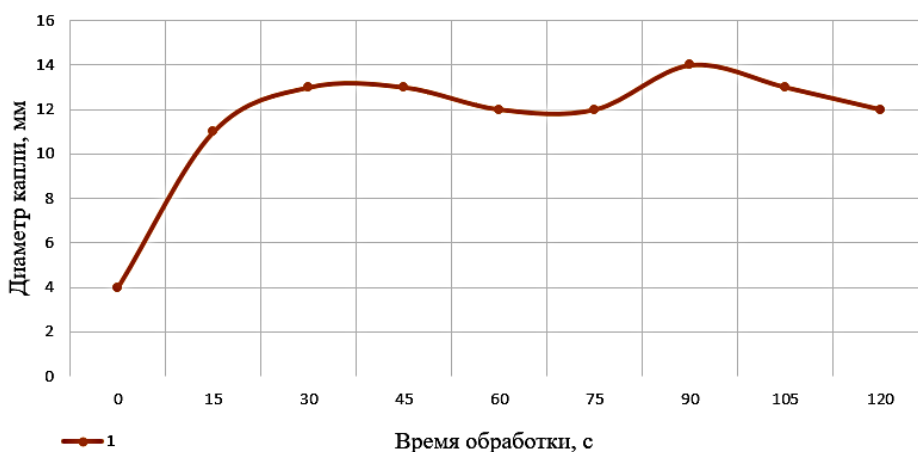


Рисунок 2 – Зависимость диаметра смачивания поверхности бумаги от времени обработки

Данная зависимость имеет «волнообразную» форму. В течении первых 15 секунд угол смачиваемости поверхности бумаги уменьшается с 80° до 0°. При обработке в течении 30 и 45 секунд диаметр растекания приобрёл одинаковые значения. Также одинаковые значения диаметра показали образцы поверхности бумаги после обработки в течении 60 и 75 секунд, при этом наблюдалось незначительное уменьшение диаметра растекания. Наибольший

диаметр растекания наблюдается при обработке поверхности бумаги в течении 90 секунд. Время обработки в интервале от 30 до 45 секунд, является наилучшим, так как позволяет достичь максимальной смачиваемости поверхности за минимальное время обработки. Более длительная обработка поверхности бумаги не приводит к существенному увеличению диаметра смачиваемости поверхности.

В результате экспериментальных исследований зависимости диаметра смачивания поверхности бумаги от времени обработки в «холодной» плазме диэлектрического барьерного разряда, установлено, что основной эффект от обработки достигается в интервале от 30 до 45 секунд и обеспечивает максимальный диаметр смачивания поверхности бумаги 14 мм (до обработки – 4 мм) при ограничении расхода газа и времени обработки.

**Список использованных источников:**

1. *Cold atmospheric plasma: Sources, processes, and applications* / L. Bárdos, H. Baráňková, // *Thin solid films* – 2010. – Vol. 518., – P. 6705-6713
2. Georghiou GE, Papadakis AP, Morrow R, Metaxas AC. Numerical modelling of atmospheric pressure gas discharges leading to plasma production. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2005; 38: 303–328.
3. *Plasma Apparatuses for Biomedical Applications* / Y. J. Kim, S. Jin, G. Han, G.C. Kwon, J.J. Choi, E.H. Choi, H.S. Uhm, and G. Cho, // *IEEE Transactions on plasma science* – 2015, – Vol. 4., –P. 944-950.
4. Matteo Gherardi, Riccardo Tonini and Vittorio Colombo // *Trends in Biotechnology* – June 2018, – Vol. 36, No. 6. – P. 583-585.
5. *Использование холодной атмосферной плазмы в стоматологии* / Новиков С.В., Тамазов И.Д., Тополянский П.А., Тополянский А.П. // *The Journal of scientific articles "Health and Education Millennium"* – 2018, – Vol. 20, No 1. – С. 124-127..
6. Sakae T. Variations in dental enamel crystallites and microstructure // *Journal of Oral Biosciences*. – 2006. – Vol. 42, № 2. – P. 85–93

## АП-КОНВЕРСИОННАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ИОНОВ $Er^{3+}$ В КСЕРОГЕЛЯХ ТИТАНАТА БАРИЯ

Лашковская Е. И., Гога А.В., Парафинюк Д.А.

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

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

Плиговка, А. Н. – канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

Представлены результаты люминесценции многослойных структур, легированных эрбием и иттербием, сформированных золь-гель методом на пористом анодном оксиде алюминия и монокристаллическом кремнии. Приведены спектры ап-конверсионной люминесценции эрбия для длины волны возбуждения 980 нм.

В настоящее время синтез материалов, демонстрирующих явление ап-конверсии, в частности, преобразование ближнего инфракрасного излучения в видимое, исследуется для различных применений (создание солнечных элементов и дисплейных устройств, чувствительных биосенсоров и др.) [1]. Люминесценция трехвалентного эрбия и других лантанидов усиливается в присутствии сенсibiliзирующих ионов, в частности, иттербия для эрбия. В данной работе приведены результаты ап-конверсионной люминесценции многослойных покрытий с ксерогелем  $Ba_{0,76}Er_{0,04}Yb_{0,20}TiO_3$ , сформированном в пористом анодном оксиде алюминия (ПАОА) на кремнии, а также в виде многослойных покрытий и с чередующимися слоями  $BaTiO_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  на монокристаллическом кремнии.

Формирование ПАОА осуществляли анодированием тонкой пленки алюминия 1300 нм, нанесенной методом магнетронного распыления на кремниевую пластину  $p$ -типа с ориентацией поверхности  $\langle 111 \rangle$ . Анодирование проводилось в специальной двухэлектродной вертикальной электрохимической ячейке из политетрафторэтилена. Электрохимическая ячейка подключалась к программируемому источнику тока Keysight N5752A и мультиметру Keysight 34470A в режиме измерения тока, которые управлялись с ПК при помощи программного обеспечения, разработанного в среде LabView. Все процессы анодирования проводились при постоянном перемешивании электролита и задании начальной температуры электролита 21 °С. Все экспериментальные образцы были сформированы в гальваностатическом режиме при плотности тока 6 мА/см<sup>2</sup>. На рисунке 1 представлены кинетики формирования ПАОА в водных растворах щавелевой и винной кислоты. Первый образец формировали в 0,6 М водном растворе щавелевой кислоты. Продолжительность анодирования составляла 786 секунд, что соответствует времени оксидирования 1300 нм алюминия и толщине ПАОА – 1820 нм. Второй и третий образец анодировали в 0,6 М водном растворе винной кислоты. Продолжительность анодирования второго образца составляла 563 секунд, что соответствует времени оксидирования 940 нм алюминия и толщине ПАОА – 1310 нм. Продолжительность анодирования третьего образца составляла 680 секунд, что соответствует

времени оксидирования 1133 нм алюминия и толщине ПАОА – 1590 нм. Для третьего образца проводили расширение пор в селективном травителе (1,1 М водный раствор ортофосфорной кислоты и 0,65 М хромовый ангидрид) при температуре 62 °С в течение 18 минут.

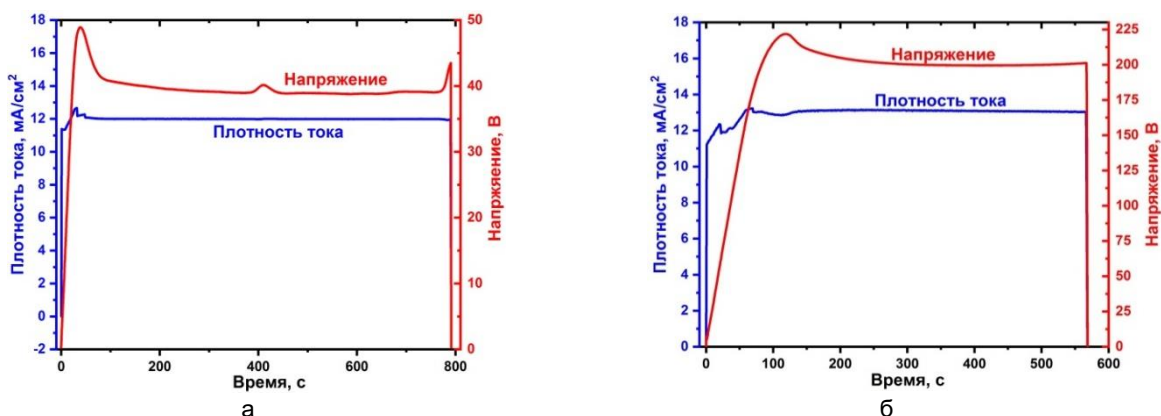


Рисунок 1 – Кинетики формирования ПАОА (а) – в водном растворе щавелевой кислоты, (б) – в водном растворе винной кислоты

Многослойные структуры на основе  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ba}_{0,76}\text{Er}_{0,04}\text{Yb}_{0,20}\text{TiO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  формировали методом центрифугирования из растворов, полученных золь-гель методом. Преимущество золь-гель метода состоит в том, что он не требует энергозатратного вакуумного оборудования и, соответственно, может быть реализован на больших площадях при относительно низкой стоимости. Окончательная температура термообработки, после которой исследовали люминесценцию, составляла для образцов на ПАОА/Si 800 °С, на монокристаллическом Si – 700 °С.

Все образцы демонстрируют при комнатной температуре регистрации ап-конверсионную люминесценцию для длины волны возбуждения 980 нм с полосами 410, 523, 546, 658, 800 и 830 нм, соответствующих переходам  $^2\text{H}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ ,  $^2\text{H}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ ,  $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ ,  $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$  и  $^4\text{I}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$  трехвалентных ионов эрбия (рис. 2).

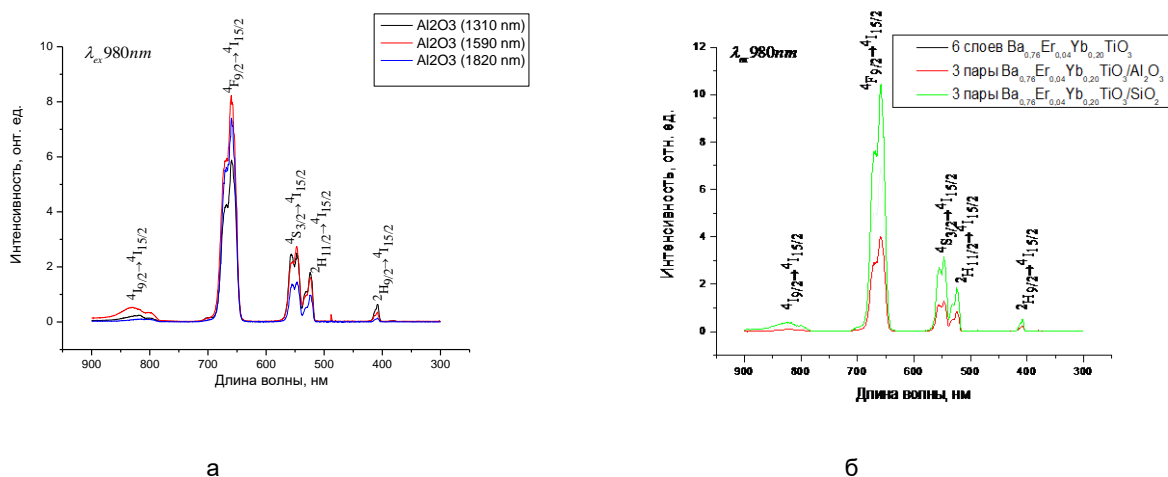


Рисунок 2 - Спектры ап-конверсионной фотолюминесценции ионов  $\text{Er}^{3+}$ : (а) – в ксерогеле  $\text{Ba}_{0,76}\text{Er}_{0,04}\text{Yb}_{0,20}\text{TiO}_3$  (8 слоёв) на ПАОА, (б) – в многослойных структурах, содержащих  $\text{Ba}_{0,76}\text{Er}_{0,04}\text{Yb}_{0,20}\text{TiO}_3$ . На вставках указана толщина  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (а) и количество и тип слоев (б).

На рисунке 3 представлено РЭМ-изображение торцевой области сформированных структур. Морфологический анализ показал однородность поверхности ксерогеля, а также пористую структуру анодного оксида алюминия.

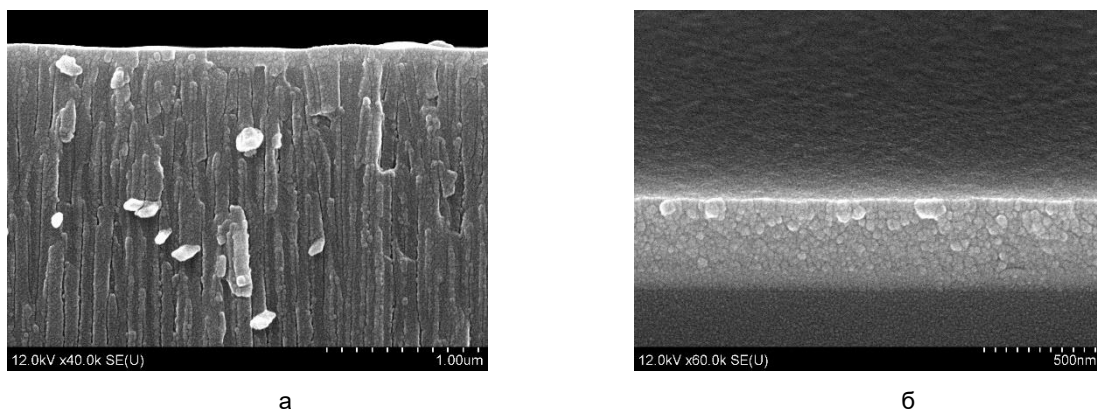


Рисунок 3 – РЭМ-изображения ксерогеля  $\text{Ba}_{0,76}\text{Er}_{0,04}\text{Yb}_{0,20}\text{TiO}_3$  (вид с торца): (а) - в ПАОА с толщиной  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1820 нм, (б) – на подложке монокристаллического кремния

Можно ожидать, что изменение режимов анодирования и морфологии пористого анодного оксида алюминия приведет к изменению соотношения интенсивностей полос люминесценции за счет перераспределения оптических мод в пористом анодном оксиде алюминия по сравнению с пленками ксерогелей, сформированными без использования оптически анизотропных матриц.

**Список использованных источников:**

1. Гапоненко, Н. В. Излучательные свойства ап-конверсионных покрытий, формируемых на основе ксерогелей титаната бария, легированных эрбием / Н.В. Гапоненко, Ю.Д. Корнилова, Е.И. Лашковская, В.Д. Живулько, А.В. Мудрый, Ю.В. Радюш, Б.А. Андреев, М.В. Степихова, А.Н. Яблонский, С.А. Гусев, R. Subasri, D.S. Reddy // Физика и техника полупроводников. – 2021. – том 55, вып. № 9. – С. 713 – 718.

## ВЛИЯНИЕ ПОДЗАТВОРНОГО ДИЭЛЕКТРИКА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ НА ГРАФЕНЕ

*Ермак В.О.*

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

*Абрамов И.И. – доктор физ.-мат. наук, профессор*

В последние десятилетия научный и практический интерес переходит от 3D материалов к 2D материалам, от твердотельной электроники к гибкой электронике. Графен находится в центре постоянно расширяющейся области исследований. Оптические, электрические и механические свойства графена идеально подходят для создания микро- и наномеханических систем, прозрачных и проводящих электродов и фотоники. Графен по сравнению с известными полупроводниковыми материалами обладает рядом уникальных свойств, что позволяет на его основе создавать перспективные приборные структуры наноэлектроники.

С применением комбинированных моделей [1,2] проводим расчет выходных характеристик двухзатворных ПГТ на однослойном графене. Расчеты осуществляли при температуре  $T = 300$  К. Программы, реализующие модель, включены в систему моделирования наноэлектронных устройств NANODEV, разрабатываемую в БГУИР с 1995 г. [1,2].

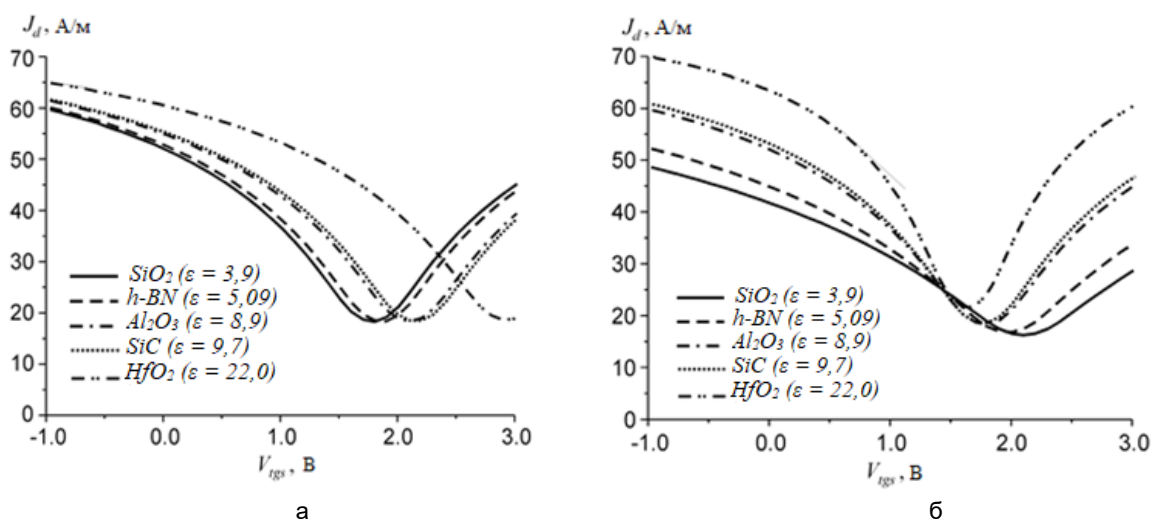


Рисунок 1 – Передаточные ВАХ двухзатворного ПГТ при различных  $\epsilon$  диэлектрика а) нижнего затвора и б) верхнего затвора

На рисунке 1а иллюстрируется влияние  $\epsilon$  диэлектрика нижнего затвора на передаточные ВАХ двухзатворного ПГТ. На рисунке 1а наглядно проявляется смещение точки Дирака в область более высоких напряжений по мере увеличения  $\epsilon$  диэлектрика нижнего затвора.

Для сравнения рассмотрим изменение диэлектрической проницаемости верхнего затвора, рисунок 1б. Здесь наблюдается обратная зависимость, т. е. чем больше диэлектрическая проницаемость, тем сильнее смещается точка Дирака в область более низких напряжений, а ток стока и соотношение максимального тока к минимальному растут. Изменение по току гораздо более заметно.

Таким образом, видно, что влияние диэлектрика верхнего затвора на ток стока сильнее, чем диэлектрика нижнего затвора, что объясняется значительным различием в емкостях затворов, которые вычисляются на основе  $\epsilon$  диэлектрика соответствующего затвора.

**Список использованных источников:**

1. Абрамов, И. И. Основы моделирования элементов микро- и наноэлектроники / И. И. Абрамов. – Germany, Saarbrücken, 2016. – 444с.
2. Абрамов, И. И. Моделирование полевых графеновых транзисторов с одним и двумя затворами / И. И. Абрамов и др. // Нано- и микросистемная техника. – 2017. – С 714–717.

## ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ХИРУРГИЧЕСКИХ ШОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ходосовская Н.А., Запорожченко Ю.В.

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

Запорожченко Ю.В. – младший научный сотрудник

В статье рассматривается изменение свойств поверхности хирургических шовных материалов. Основное внимание уделяется рассасывающимся хирургическим нитям.

В современном мире широко распространено использование в хирургии синтетических шовных материалов.

В силу того, что хирургические нити органического происхождения обладают массой недостатков, на сегодняшний день многие хирурги отказываются от их применения в пользу синтетических рассасывающихся шовных материалов (СРШМ) [1].

СРШМ обладают высокой прочностью, относительной инертностью и неплохими манипуляционными свойствами, они имеют одно несомненное преимущество перед всеми остальными шовными материалами – прогнозируемые сроки рассасывания. При этом срок рассасывания практически не зависит от таких факторов, как толщина нити, тип ткани, условия кровоснабжения, ферментативная и иммунная активность и т. п. Связано это с тем, что рассасывание

таких нитей происходит путем неферментативного гидролиза – внутренним расщеплением полимерных цепей с участием молекул воды. Гидролиз вызывает гораздо меньшую реакцию тканей в отличие от ферментативного разложения, которому подвергаются нити натурального происхождения. В настоящее время рассасывающиеся нити составляют более 80% всего арсенала нитей [1].

Поверхность полигликолида (ПГА) обрабатывались в плазме атмосферного давления.

Для обработки поверхности использовался экспериментальный комплекс, созданный в БГУИР (рисунок 1).

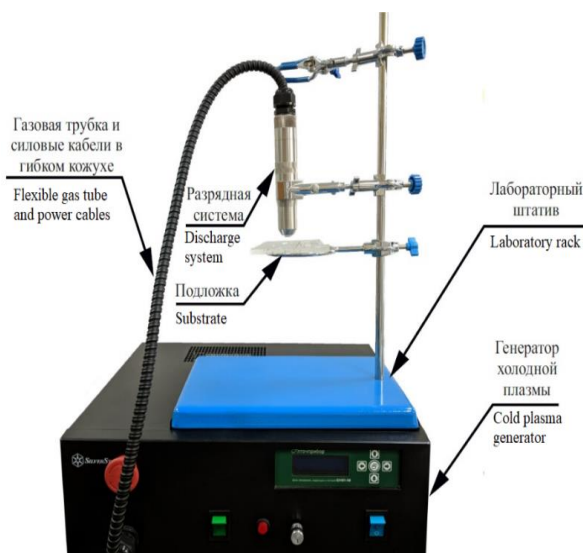
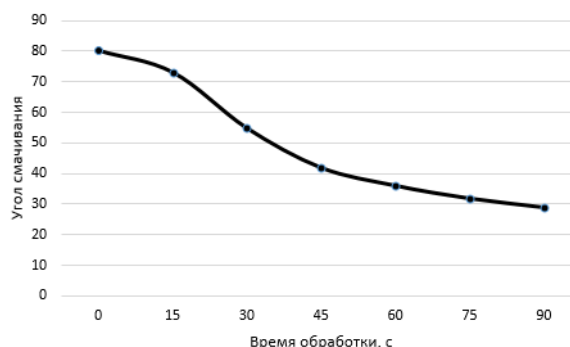
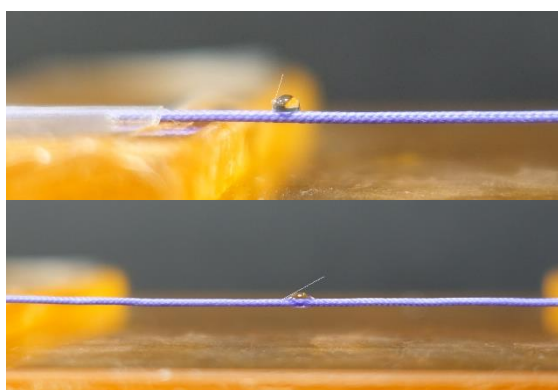


Рисунок 1 – внешний вид экспериментального комплекса

Комплекс включает разрядную систему коаксиального типа, к которой через гибкий кабель-канал подводится плазмообразующее вещество и питающее напряжение для генерации диэлектрического барьерного разряда, лабораторный штатив с обрабатываемой подложкой для размещения поверхности обрабатываемого материала.

Для исследования изменения гидрофильных свойств ПГА от времени обработки в плазме атмосферного разряда использовались шовные хирургические рассасывающиеся нити, изготовленные из данного полимера. На рисунке 2 показан результат обработки поверхности ПГА.



Результат обработки поверхности ПГА в плазме атмосферного разряда и зависимость угла смачивания поверхности ПГА от времени обработки

На полученном графике видно, что за 90 секунд обработки угол смачивания уменьшился в 2,7 раза от 80° до 29°. Такое изменение объясняется процессом активации поверхности. Значительное понижение угла смачивания после обработки поверхности ПГА в плазме атмосферного разряда говорит о том, что данный метод может эффективно использоваться для модификации поверхности данного полимера.

**Список использованных источников:**

1. Третьяк, С.И. Хирургический шовный материал : методические рекомендации / Третьяк С.И., Маркевич Е.В., Буравский А.В. – М.: БГМУ, 2011. – 16-19 с.

# ФОРМИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО АЛЮМИНИЯ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО АНОДИРОВАНИЯ В РАСТВОРЕ ХЛОРИДА НАТРИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Минск, Республика Беларусь

Казимиров Н.А. Томашевич Л.П

Лазарук С. К. – доктор. физ.-мат. наук, доцент

## Введение

Наноструктурированный алюминий (НА)— это перспективный материал для создания суперконденсаторов. Преимущества, из-за которых алюминиевые электролитические конденсаторы нашли широкое применение — их высокий коэффициент удельной емкости. Это дает возможность производства конденсаторов с емкостным сопротивлением до 1 Ф. Алюминиевые электролитические конденсаторы обеспечивают высокую производительность пульсации тока вместе с высокой надежностью и с отличным соотношением «цена — характеристики».

Аккумуляторные элементы питания на основе алюминия заряжаются в течение нескольких минут, выдерживают тысячи циклов перезарядки без деградации, гибкие и недорогие в изготовлении. Также такие элементы питания гораздо безопаснее популярных литий-ионных, более устойчивы к механическим повреждениям, а также более экологичны.

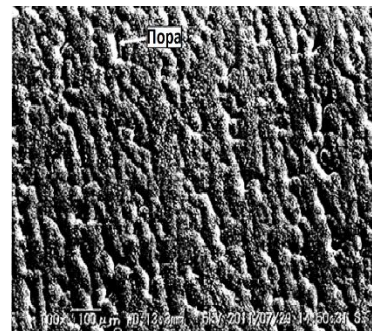


Рис. 1- Изображение пористой алюминиевой фольги.

## I. Свойства структур на основе НА

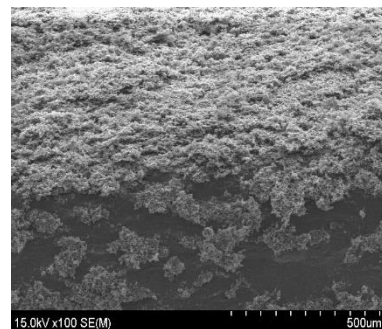
Применение НА в качестве материала для конденсаторов позволяет сделать их, в девять раз более емкий, чем литий-ионный его емкость составляет примерно 8,1 МДж/кг. Это обусловлено развитием рабочей поверхности токоведущего слоя анодной пленки, чем увеличивается площадь взаимодействия с электролитом и, как следствие, удельная емкость электролитического конденсатора. Батареи достаточно иметь в своем составе 52% алюминия, чтобы достигать емкости 8,1 МДж/кг [1].

Активная площадь пористого алюминия, играет немаловажную роль, так как влияет на электрофизические параметры конденсаторной структуры. Работоспособность суперконденсаторов не зависит от температуры. Так же стоит выделить, что суперконденсаторы не токсичны, большинство используемых в конструкции веществ химически не так активны, как литий и потому являются более безопасными.

## II. Получение конденсаторных структур на основе НА

Эксперименты по формированию пористого алюминия проводились на образцах из алюминиевой фольги толщиной 500 мкм. Площадь полученных образцов составляла 0,16 см<sup>2</sup>. Формирование конденсаторных структур происходило в три этапа: формирование на алюминиевой фольге слоя пористого алюминия, формирование оксида алюминия, формирование верхней обкладки. Для формирования пористого алюминия в качестве электролита использовался 1 % водный раствор хлорида натрия NaCl, напряжение формовки составляло 50 В, плотность тока – 100 мА/см<sup>2</sup>, время проведения процесса – 5 минут.

Далее проводилось повторное анодирование в 1% водном растворе лимонной кислоты C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub> для формирования на ее поверхности оксида. Формирование оксида проводили при напряжении формовки от 100 до 200 В, что соответствует толщине оксида от 140 до 280 нм соответственно. Время проведения процесса составило 30 минут. Температура электролита поддерживалась постоянной в диапазоне 21 ± 1 °С.



## III. Применение получаемых структур

Формирование пористого алюминия с заданными структурными и электрофизическими свойствами для конденсаторных структур повышенной емкости позволит уменьшить размер элементов и в конечном счете увеличить степень интеграции микросхем. Научная идея состоит в том, чтобы получать данные структуры на основе наноструктурированного пористого алюминия, формируемого методом электрохимического анодирования, и его анодного оксида.

В результате проведенного исследования, было установлено, что применение пористого алюминия в производстве суперконденсаторов является весьма перспективным, так как позволяет на порядок увеличить емкость таких структур по сравнению с конденсаторными структурами на основе планарного алюминия.

Список использованных источников:

1. Made for minds [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://p.dw.com/p/3Jlku>. – Дата доступа : 03.11.2021.



# ОБМЕННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОСРЕДСТВОМ ЭЛЕКТРОНОВ ПРОВОДИМОСТИ В УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ С ФЕРРОМАГНИТНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

Зайцев В.А.

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

Данилюк А.Л. – канд. физ.-мат. наук

В данной работе, на основе полученных ранее микроскопических параметров нанокompозитов на основе углеродных нанотрубок исследовано дальнедействующее косвенное обменное взаимодействие между ферромагнитными наночастицами, встроенными внутрь нанотрубок. Используется модельный гамильтониан, учитывающий диаметр, хиральность, химический потенциал и спин-орбитальное взаимодействие в системе.

Ферромагнитные наночастицы (ФМНЧ), локализованные внутри углеродных нанотрубок (УНТ), представляют особый класс нанокompозитов, в которых магнитные свойства определяются не только размером и магнитными свойствами ФМНЧ, но их локализацией относительно многостенных УНТ (снаружи, внутри или между стенок) и природой связи ФМНЧ через УНТ [1]. При этом электронные свойства УНТ оказывают существенное влияние на магнитные параметры нанокompозита. Для определения этого влияния необходимо выявить связи между макроскопическими и микроскопическими магнитными параметрами системы. В наноструктурированных ферромагнетиках такие связи описываются в рамках модели случайной намагниченности [2,3]. В ряде работ, на основе анализа закона выхода на насыщение нанокompозитов с ФМНЧ цементита, локализованными строго внутри УНТ, были получены такие параметры, как обменное поле и поле магнитной анизотропии, эффективная константа магнитной анизотропии, константы Блоха и обменная [1,4]. ФМНЧ имели диаметр 30 нм, т.е. являлись однодоменными. Были также вычислены корреляционные функции осей магнитной анизотропии. Эти исследования были проведены для разной концентрации ФМНЧ [1,4,5]. Было получено, что для малой концентрации ФМНЧ, когда они все локализованы только внутри УНТ, поле обменного взаимодействия составляет  $H_{ex} \approx 4$  кЭ [4]. Также из анализа закона выхода намагниченности на насыщение получена длина когерентности осей магнитной анизотропии, величина которой составила 200 нм, т.е. порядка среднего расстояния между ФМНЧ в УНТ [4]. Наиболее вероятной причиной обнаруженного в работе [5] дальнедействующего магнитного порядка является косвенное обменное взаимодействие между ФМНЧ через проводящие электроны УНТ [5]. Это взаимодействие типа РККИ и обуславливается  $p$ -электронами внутренней углеродной стенки.

В данной работе исследована возможность возникновения дальнедействующего РККИ взаимодействия в полупроводниковых УНТ как механизма дальнедействующих корреляций осей магнитной анизотропии ФМНЧ в УНТ. Получены результаты моделирования РККИ взаимодействия в УНТ в зависимости от диаметра, хиральности, величины химического потенциала  $E_F$  и константы спин-орбитального взаимодействия (СОВ),  $\Delta_{so}$ . В качестве базовой использовалась модель Клиновой-Лосса для одностенных УНТ [6,7]. Среднее расстояние между ближайшими ФМНЧ составляет 150-200 нм.

Рассматривается полупроводниковая УНТ с внутренним диаметром  $D$  и индексами хиральности внутренней УНТ  $(m, n)$ . Ось  $Z$  направлена вдоль оси УНТ. РККИ взаимодействие описывается статической спиновой восприимчивостью свободных электронов  $\chi$ . Учитывается также вклад СОВ, которое может быть на порядок больше, чем у графена за счет разных факторов, таких как кривизна УНТ, дефекты или примесные состояния УНТ, наличие самих ФМНЧ. Для расчета спиновой восприимчивости  $p$ -электронов вдоль оси  $Z$  в присутствии СОВ используем уравнение [6]

$$\chi(z) = \chi_0 [\text{si}(k_{+,+} \cdot |z|) + \text{si}(k_{-,-} \cdot |z|) + 2 \cos(\mathbf{K} \cdot \mathbf{R}) \text{si}(k_{-,+} \cdot |z|)], \quad (1)$$

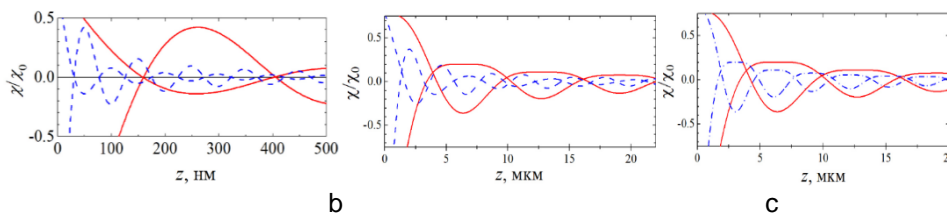
где  $\chi_0 = a^2 k_G / \hbar v_F$ ,  $v_F$  – скорость Ферми,  $k_G \approx 2N/3D$  ( $N = (m-n) \bmod 3$ ) квантованный импульс в циркулярном направлении,  $a$  – постоянная решетки,  $\hbar$  – постоянная Планка,  $\mathbf{K}$  – точка Дирака в спектре УНТ,  $\mathbf{R}$  расстояние между локализованными магнитными моментами (его проекция на ось  $Z$ ),  $\theta$  – угол хиральности,  $z$  – расстояние вдоль оси  $Z$ , интеграл синуса определяется как функция  $\text{si}(x) = \int_0^x \frac{\sin t}{t} dt - \frac{\pi}{2}$ . Используя параметры [6]  $k_{+,+} = 2k_+(E_F)$ ,  $k_{-,-} = 0$ ,  $k_{-,+} = k_-(E_F)$  и принимая во внимание постоянство высокочастотного периода осцилляция  $\chi(z)$ , который задается членом  $\cos(\mathbf{K} \cdot \mathbf{R})$  в уравнении (1) и равен 0,2–0,5 нм, рассмотрим только низкочастотную огибающую осцилляций. В этом случае получаем следующее выражение

$$\chi(z) = \chi_0 [\text{si}(2k_+ |z|) + 2\text{si}(2k_- |z|)], \quad (2)$$

где волновые векторы  $k_{\pm} = \text{Re} \left\{ \sqrt{\frac{2k_G}{\hbar v_F} \delta_{\pm}} \right\}$ . Здесь  $\delta_{\pm} = E_F - \hbar v_F k_G \mp \beta_{\pm}$  а параметр  $\beta_{\pm} = \alpha + \beta$  характеризует вклад СОВ,  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты спин-орбитального взаимодействия в гамильтониане исследуемой системы. Для УНТ они определяются как

$\beta = -\frac{\sqrt{3}\Delta_{SO}V_{pp}^{\pi}\cos(3\theta)}{3(V_{pp}^{\pi}-V_{pp}^{\sigma})(D/2a)}$ ,  $\alpha = \frac{\sqrt{3}\Delta_{SO}(V_{pp}^{\pi}+V_{pp}^{\sigma})}{18(V_{sp})^2(D/2a)}$ . Использовались следующие фундаментальные прыжковые амплитуды  $V_{pp}^{\pi} = -3,0$  эВ,  $V_{pp}^{\sigma} = 5,0$  эВ,  $V_{sp} = 5,6$  эВ [7].

В рамках используемой модели рассчитывались значения  $\chi$  как функции от  $E_F$ ,  $\Delta_{SO}$  и индексов хиральности ( $m$ ,  $n$ ), которые определяют значения  $D$ ,  $\theta$  и  $k_G$ . Расчеты  $\chi$  проводились в зависимости от параметра  $\delta_{\pm}$ , величину которого можно задать через химпотенциал  $E_F$ . Если  $\delta_{+} < 0$  и  $\delta_{-} < 0$  величина  $k_{\pm} = 0$ , что означает отсутствие обменного взаимодействия, т.е.  $\chi(z) = 0$ . При  $\delta_{+} > 0$  и  $\delta_{-} > 0$  наблюдается относительно быстрое затухание  $\chi$  вдоль  $z$ . Наиболее важный случай дальнедействующего РККИ взаимодействия возникает, когда значение  $E_F$  такое, что  $\delta_{+} > 0$  и  $\delta_{-} < 0$ , что соответствует внутри щели, открытой СОВ [6]. На рис. 1а приведены зависимости  $\chi(z)$  при  $(m,n) = (235, 129)$ , при этом  $D = 25$  нм,  $\theta = 20,45^{\circ}$ ,  $k_G = 0,027$  нм<sup>-1</sup>,  $\Delta_{SO} = 6$  мэВ. Сплошными линиями показаны зависимости спиновой восприимчивости в случае, когда  $E_F$  в точности попадает в щель, открытую СОВ,  $E_F = 18$  мэВ. Пунктирными линиями приведены зависимости, когда  $E_F$  находится выше щели СОВ,  $E_F = 30$  мэВ. В последнем случае спиновая восприимчивость затухает гораздо быстрее вдоль оси УНТ.



а

б

в

Рис. 1. Зависимость  $\chi(z)$  для  $E_F = 18$  мэВ (сплошные линии) и  $E_F = 30$  мэВ (пунктирные линии) – (а); Зависимость  $\chi(z)$  для  $E_F = 14,62$  мэВ (сплошные линии) и  $E_F = 14,63$  мэВ (пунктирные линии) – (б); Зависимость  $\chi(z)$  для  $\Delta_{SO} = 6$  мэВ (сплошные линии) и  $\Delta_{SO} = 20$  мэВ (штрих-пунктирные линии) – (в)

Установлено, что зависимость спиновой восприимчивости вдоль оси УНТ весьма чувствительно к положению химпотенциала. Например, рис.1б, при незначительном изменении положения  $E_F$  с 14,62 мэВ на 14,63 мэВ и использовании для расчетов следующих параметров УНТ:  $(m,n) = (222,221)$ ,  $D = 30,06$  нм,  $\theta = 29,93^{\circ}$ ,  $k_G = 0,022$  нм<sup>-1</sup>,  $\Delta_{SO} = 6$  мэВ щель СОВ открывается в диапазоне 14,6164 – 14,6269 мэВ. Таким образом, в первом случае уровень Ферми находится строго в щели, открываемой СОВ, а во втором – он лежит вне ее и выше по энергии. Однако, основное падение амплитуды осцилляций  $\chi(z)$  происходит на расстояниях, превышающих микроны. В то же время среднее расстояние между ФМНЧ внутри УНТ не превышает 300 нм. На нанометровой шкале расстояний малые изменения  $E_F$  не приводят к заметным снижениям амплитуды осцилляций  $\chi(z)$ .

Снизить чувствительность спиновой восприимчивости к сдвигу  $E_F$  можно путём уменьшения диаметра УНТ и, соответственно встроенных в нее ФМНЧ. Это можно реализовать вариацией параметров синтеза УНТ, что поднимет значения  $E_F$  и снизит точность его настройки в щель. Так, при диаметре УНТ 10 нм даже на расстоянии 1 мкм точность настройки  $E_F$  может достигать 10 % без существенного изменения амплитуды осцилляций  $\chi(z)$ .

Еще один параметр, который оказывает влияние на спиновую восприимчивость, это константа СОВ  $\Delta_{SO}$ . По мере роста  $\Delta_{SO}$  щель СОВ увеличивается. Рассмотрим УНТ диаметром  $D = 30,6$  нм,  $(m, n) = (222,221)$ ,  $\theta = 29,93^{\circ}$ ,  $k_G = 0,022$  нм<sup>-1</sup>,  $\Delta_{SO} = 6$  и 20 мэВ. В этом случае, для обеспечения дальнедействующего порядка РККИ взаимодействия, химпотенциал должен находиться в интервале от 14,6041 мэВ до 14,6391 мэВ. При  $E_F = 14,62$  мэВ частота осцилляций возрастает, рис.1в.

В работе установлено, что в УНТ диаметром в несколько десятков нанометров косвенное обменное взаимодействие РККИ-типа может распространяться на расстояния, большие чем 1 мкм вдоль оси нанотрубки. Необходимое условие для этого – химпотенциал должен находиться внутри энергетической щели, открываемой СОВ. Точная регулировка положения химпотенциала в энергетической щели, создаваемой СОВ, позволяет усилить РККИ обмен и обеспечить его дальнедействующий характер, до нескольких десятков микрометров.

#### Список использованных источников:

1. Interplay between exchange interaction and magnetic anisotropy for iron based nanoparticles in aligned carbon nanotube arrays / A. Danilyuk [et al.] // Carbon, 2014. – P. 337-345.
2. Magnetic properties of amorphous ferromagnets / M. Chudnovsky // J. Appl. Phys, 1988. – P. 5770-5775.
3. Ordering in ferromagnets with random anisotropy / M. Chudnovsky [et al.] // Phys. Rev. B, 1986. – P. 251-261.
4. Manifestation of coherent magnetic anisotropy in a carbon nanotube matrix with low ferromagnetic nanoparticle content / A. Danilyuk [et al.] // New J. Phys, 2015. – 17(2):023073.
5. Impact of CNT medium on the interaction between ferromagnetic nanoparticles / A. Danilyuk [et al.] // Europhys. Lett, 2017. – 117(2)27007.
6. RKKY interaction in carbon nanotubes and graphene nanoribbons / J. Klinovaja [et al.] // Phys. Rev. B, 2013. – 87(4):045422.
7. Helical modes in carbon nanotubes generated by strong electric fields / J. Klinovaja [et al.] // Phys. Rev. Lett, 2011. – 106(15):156809.

## СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ РАДИОТЕХНОЛОГИИ»

### АЛГОРИТМ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ПЕЛЕНГОВАНИЯ СРЕДСТВ РАДИОМОНИТОРИНГА

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

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

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

Исследован алгоритм первичной обработки, реализующий типичный и достаточно эффективный способ пеленгования радиосигналов, который может быть использован в радиотехнике, для определения азимутального и угломестного направлений на источники радиосигналов в условиях априорной неопределенности относительно поляризационных и пространственных параметров радиосигналов, шумов и помех. Техническим результатом применения алгоритма является повышение эффективности пеленгования радиосигналов за счет расширения поля признаков, используемых при селекции пеленгуемых радиосигналов на фоне шумов и помех.

Если принять во внимание два известных свойства электромагнитного поля в дальней зоне: ортогональность векторов магнитной и электрической составляющих к направлению распространения и ортогональность плоскости фронта фаз к направлению распространения, то известные пеленгаторы по методу радиопеленгации могут быть отнесены к двум большим группам. К первой группе относятся поляризационно-чувствительные пеленгаторы, основанные на определении направления электрического и (или) магнитного векторов напряженности поля. Ко второй группе относятся фазо-чувствительные пеленгаторы, основанные на определении ориентации поверхности равных фаз электромагнитного поля (ЭМП).

При выборе способа пеленгования предъявляются следующие требования:

- высокая точность оценки угловых координат источников радиоизлучения, наблюдаемых в широкой полосе частот, в реальном масштабе времени;
- возможность учета и компенсации искажений поля, вызванных многолучевым характером распространения электромагнитных волн;
- возможность учета и компенсации дифракционных искажений наблюдаемой картины поля;
- возможность приема радиоволн произвольной поляризации и точной оценки их параметров (требуется либо, увеличение числа элементов антенной решетки, либо использование достаточно строгих моделей или достаточно полных баз данных о комплексной векторной диаграмме направленности каждого элемента антенной решетки и специального алгоритма обработки принимаемых сигналов, позволяющего оценить поляризационные параметры принимаемого излучения: наклона поляризационного эллипса, соотношения его осей, сдвига фаз между ортогональными составляющими).

Реализуем типичный и достаточно эффективный способ пеленгования, предусматривающий формирование распределения энергии по пространству сигналов с помощью алгоритма классического формирования луча, ориентированного на обработку электромагнитного поля заданной поляризации, определяемой типом антенного элемента, например, горизонтально или вертикально расположенными электрическими вибраторами. При этом комплексная фазирующая функция не зависит от поляризации пеленгуемых радиосигналов. Структура антенной решетки представлена на рисунке 1.

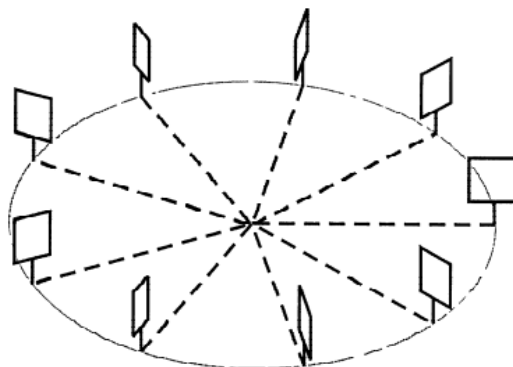


Рисунок 1 – Структура антенной решетки устройства поляризационно-чувствительного пеленгования.

Сам алгоритм можно реализовать следующим образом:

1. Принимают радиосигнал неизвестной поляризации многоэлементной антенной решеткой.

2. Формируют ансамбль радиосигналов  $x_n(t)$ , зависящих от времени  $t$  и номера  $n$  антенны,  $n = \overline{1, N}$ , где  $N$  - число антенн.

3. Синхронно преобразуют ансамбль принятых радиосигналов  $x_n(t)$  в цифровые сигналы  $x_n(z)$ , где  $z$  - номер временного отсчета сигнала.

4. Преобразуют цифровые сигналы  $x_n(z)$ , в сигнал комплексного амплитудно-фазового распределения, описывающий распределение амплитуд и фаз принятого радиосигнала на элементах решетки, который запоминают.

5. Формируют идеальный сигнал комплексной фазирующей функции, описывающий возможные направления прихода сигнала от каждого потенциального источника, в виде:

$$\dot{A}_n(\alpha_m, \beta_m) = \exp \left\{ \frac{2\pi i}{\lambda} (r_n \cos \beta_m \cos(\alpha_n - \alpha_m) + z_n \sin \beta_m) \right\} \quad (1),$$

где  $\dot{A}_n(\alpha_m, \beta_m)$  –  $n$ -я составляющая фазирующей функции  $\dot{A}$ ;  $r_n, z_n, \alpha_n$  - цилиндрические координаты антенной решетки.

6. Используя сигнал фазирующей функции, преобразуют сигнал измеренного в сигнал комплексного углового спектра  $\dot{s} = \dot{A}^+ \dot{H}$  где  $\dot{A}^+$  - матрица, эрмитово сопряженная.

7. По максимуму модуля сигнала комплексного углового спектра  $\dot{s} = \dot{A}^+ \dot{H}$  определяют пеленг на источник принятого радиосигнала.

При применении рассмотренного алгоритма достигается повышение эффективности (точности и информативности) пеленгования радиосигналов.

Повышение эффективности пеленгования достигается за счет:

- расширения поля признаков, используемых при селекции пеленгуемых радиосигналов на фоне шумов и помех;

- использования обобщенного критерия формы волнового фронта, предусматривающего проверку степени близости формы принятого и модельного волновых фронтов с учетом поляризации, в качестве признака достоверности пеленгования;

- применения новых поляризационно-чувствительных операций обработки принимаемых радиосигналов, обеспечивающих согласование принятого радиосигнала и фазирующей функции как по направлению прихода, так и по виду его поляризации.

При пеленговании сигналов неизвестной поляризации способ, ориентированный на обработку электромагнитного поля определенной поляризации, дает большие погрешности пеленгования в случае, если поляризационные характеристики антенн пеленгационной решетки не согласованы с поляризацией падающих волн или антенны решетки расположены вблизи отражателей, которые могут изменить поляризацию. В связи с этим, применение способа поляризационно-чувствительного пеленгования, ориентированного на обработку электромагнитного поля произвольной поляризации, является необходимым для получения более точных результатов пеленгования сложно поляризованных радиосигналов, например, сигналов ионосферных волн, а также в сложных условиях размещения антенной решетки пеленгатора, например, на подвижных платформах (автомобилях, кораблях, самолетах).

Данная технологии пеленгования, учитывающая поляризацию радиосигнала, при различии полезного сигнала и помех по поляризации позволяют реализовать возможность выделения полезных сигналов на фоне помех даже в случае совпадения направлений их прихода, то есть при совпадении пространственных спектров сигнала и помехи.

**Список использованных источников:**

1. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства/ Под редакцией А.М. Рембовского. – Изд. 2. – М: Горячая линия – Телеком, 2010. – 624 с.

2. Патент № 2393498 Российская Федерация, МПК G01S5/04 с определением местоположения источника излучения с помощью нескольких разнесенных пеленгаторов: заявл.18.09.2008: опубл.27.06.2010 / Шевченко В. Н., Иванов Н. М., Шевченко Е. А. – 17с.

## РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ОБУЧЕНИЯ ИСПАНСКОМУ ЯЗЫКУ НА ОСНОВЕ ЯЗЫКА РАЗМЕТКИ HTML И ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PHP

*Белоусова К.А.*

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

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

Аннотация. В статье представлены обоснования актуальности разработки веб-приложения для онлайн-обучения испанскому языку, раскрывается процесс создания и функционирования веб-приложения, рассмотрен процесс интерактивного взаимодействия преподавателя и студента с использованием интернет-технологий и новейших средств обучения. Ключевые слова. Веб-приложение, обучение, онлайн-обучение, веб-интерфейс, испанский язык.

В настоящее время веб-приложения широко используются и стали актуальной тенденцией, набирающей популярность во всём мире. Веб-приложение — клиент-серверное приложение, в котором клиент взаимодействует с веб-сервером при помощи браузера. Логика веб-приложения 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-приложения являются межплатформенными службами [1].

Процесс создания веб-приложения, включает шесть основных этапов:

- определение целей и задач проекта (на данном этапе формулируются цели создаваемого проекта, определяются требования, которым он должен удовлетворять, разрабатывается общая концепция);
- разработка структуры веб-приложения (включает всё, что касается его содержания и информационной стратегии, определяющей, как должна быть организована подача информации, чтобы будущие посетители веб-приложения могли быстро и легко её найти);
- разработка дизайн-макетов (дизайн-макет — это графическое, наглядное изображение основных элементов веб-приложения);
- html-вёрстка (вёрстка — это преобразование созданных графических макетов страниц в html-код, который бы отображался в браузере в точном соответствии с исходным макетом);
- программирование и контроль качества (процесс построения функциональных инструментов для наполнения и обработки данных);
- запуск и сопровождение, SEO-оптимизация (продвижение веб-приложения).

Обучение – это целенаправленный педагогический процесс организации и стимулирования активной учебно-познавательной деятельности обучающихся по овладению знаниями, умениями и навыками, развитию творческих способностей и нравственных этических взглядов. На сегодняшний день существует множество видов обучения, но мы рассмотрим такое обучение как онлайн-обучение.

Дистанционное или онлайн-обучение — это демократичная, простая и свободная форма получения образования, при которой преподаватель и студент взаимодействуют на расстоянии с помощью интернет-технологий и других средств, предусматривающих интерактивность (электронная почта, телефонные переговоры, переговоры с видеосвязью, телеконференции, веб-занятия и др.). Образование в онлайн-режиме может стать как основным, так и дополнительным, это связано с тем, что оно имеет ряд преимуществ: удобство и гибкость; технологичность (вы можете проходить обучение в любом месте с доступом к интернету); неограниченный выбор (можно получить знания по новейшим специальностям, выбор предметных областей, курсов и программ огромен) [2]. Студент, постоянно выполняя практические задания, приобретает устойчивые автоматизированные навыки. Теоретические знания усваиваются без дополнительных усилий, органично вплетаясь в тренировочные упражнения. Формирование теоретических и практических навыков достигается в процессе систематического изучения материалов, прослушивания и повторения за диктором упражнений на аудио и видеоносителях.

Если говорить об испанском языке, то это второй по распространённости язык в мире и на нём говорят более 450 миллионов человек. Также с 2009 по 2020 год популярность испанского языка в интернете выросла на 800%, а значит вырос и спрос на веб-приложения, обучающие этому языку. В настоящее время разработано большое количество аналогичных веб-приложений обучения испанскому языку, но почти в каждом есть свои недостатки и несоответствия части требованиям пользователей, такие как возможность бесплатного пользования веб-приложением, отсутствие тестов, отсутствие словаря и так далее. Поэтому нами предпринята попытка устранить эти недостатки и таким образом была определена тема данного исследования.

Данное веб-приложение должно быть удобным, простым и современным, а значит должны быть реализованы следующие функции:

- возможность выбора темы (в случае, когда пользователь ранее уже изучал испанский язык и ему не нужны начальные темы, у него должна быть возможность перейти к более сложным темам);
- отображение информации, содержащейся в темах;
- возможность выбора упражнений (пользователь должен иметь возможность выбрать упражнение независимо от темы, которую он проходит);
- отображение информации, содержащейся в упражнениях;
- возможность выбора текста (исходя из интереса и предпочтений пользователя);
- отображение выбранного текста (пользователю должен предоставляться выбранный им текст с параллельным переводом);
- отображение информации, содержащейся в тестах (пользователю должен предоставляться выбранный им тест с вариантами ответа);
- возможность прохождения тестов;
- возможность отображения результатов теста;
- отображение информации, содержащейся в разговорнике (возможность просмотреть предложение на испанском языке, его транскрипцию и перевод);
- возможность поиска предложений по темам в разговорнике;
- отображение информации, содержащейся в словаре (пользователь должен иметь возможность просмотреть слово на испанском языке, его транскрипцию и перевод);
- возможность поиска слов по темам в словаре;
- возможность выбора фильма;
- возможность просмотра выбранного фильма;
- для администратора должна быть предусмотрена возможность добавления и удаления различной информации (должна быть выведена база данных, с возможностью редактирования данных).

Веб-интерфейс — это совокупность средств, при помощи которых пользователь взаимодействует с веб-приложением или любым другим приложением через браузер. Веб-интерфейсы получили широкое распространение в связи с ростом популярности всемирной паутины и соответственно — повсеместного распространения веб-браузеров.

Таким образом, высокий спрос на веб-приложения обучения испанскому языку, актуальность в связи с недостатками в имеющихся аналогах, побудили нас к разработке веб-приложения обучения испанскому языку на основе языка разметки html и языка программирования php. Разработанное веб-приложение и программные оболочки, обеспечивающие доступ к образовательному контенту, максимально просты в использовании и могут быть использованы для эффективной самостоятельной работы по изучению испанского языка. Они имеют интуитивно понятный (уже известный пользователю) интерфейс, обеспечивают иерархическую организацию контента и простую навигацию по нему, в том числе с помощью гиперссылок. Интерфейс данного веб-приложения является адаптивным под различные устройства.

**Список использованных источников:**

1. Веб-приложение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Веб-приложение>. – Дата доступа: 10.04.2022.
2. Перспективы онлайн-образования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://myself-development.ru/perspektivy-onlajn-obrazovaniya>. – Дата доступа: 10.04.2022.

## **ВЗАИМНО-КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ ДВУХ КАНАЛОВ С ОДИНОЧНЫМИ РЕЗОНАНСНЫМИ КОНТУРАМИ**

Ву С. Ч.

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

*Давыденко И.Н. – канд. тех. наук, доцент*

**Аннотация:** В статье получается выражение для взаимной корреляционной функции выходных сигналов двух каналов с одноконтурными резонансными контурами.

Взаимная корреляционная функция сигналов на выходах основного и дополнительного приёмных каналов для входного сигнала в виде белого шума может быть найдена по следующей формуле:

$$R_{10}(\tau) = \frac{N_{\Pi}}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} k_1(j\omega) k_0^*(j\omega) e^{j\omega\tau} d\omega, \quad (1)$$

где  $k_0(j\omega)$  – частотная характеристика основного канала приема;  $k_1(j\omega)$  – частотная характеристика дополнительного канала приема.

Положим, что частотная характеристика дополнительного канала для случая одиночного резонансного контура записывается в виде [1, с.87]:

$$k_1(j\omega) = \frac{1}{1 + j(\omega - \omega_0 - \delta\omega_0)(T_f + \delta T_f)}, \quad (2)$$

где  $\omega_0$  – резонансная частота контура;  $T_f$  – постоянная времени контура;  $\delta\omega_0$  – рассогласование частоте;  $\delta T_f$  – рассогласование по постоянной времени.

Получено, что приближенная взаимная корреляционная функция выходных сигналов в этом случае определяется следующим выражением:

$$R_{10}(\tau) = N_{\Pi} e^{j\omega_0\tau} \frac{e^{-\frac{|\tau|}{T_f}}}{2T_f} \begin{cases} \left[ 1 - \frac{1}{2} \frac{\delta T_f}{T_f} \left( 1 - 2 \frac{|\tau|}{T_f} \right) + j \frac{1}{2} \delta\omega_0 T_f \left( 1 + 2 \frac{|\tau|}{T_f} \right) \right], & \tau \geq 0 \\ \left[ 1 - \frac{1}{2} \frac{\delta T_f}{T_f} + j \frac{1}{2} \delta\omega_0 T_f \right], & \tau \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

### Заключение

В результате проведенной работы были изучены влияние неидентичности частотных характеристик на подавления помехи одноканальным автокомпенсатором и получены выражения, определяющие взаимной корреляционной функции выходных сигналов двух взаимно-расстроенных одиночных резонансных контуров.

#### Список использованных источников:

1. Костромичий С.М., Давыденко И.Н. Вопросы радиоавтоматики адаптивных антенных решеток / М.: Беларуская навука, 2021. 174 с.
2. Брычков Ю.А., Маричев О.И., Прудников А.П. Интегралы и ряды элементарные функции / М.: Наука Главная редакция физико-математической литературы, 1981. 798 с..
3. Градштейн И.С., Прудников И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и производений / М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1963. 1100 с.

## ОНЛАЙН-ОБУЧЕНИЕ В РАМКАХ ДИСЦИПЛИНЫ «ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»

Габриневская И.А., Лось М.Н.

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

Парафьянович Т.А. – научный руководитель, канд.пед.наук, доцент

Аннотация. В статье представлены особенности работы с платформой для онлайн-обучения СЭО в рамках учебной дисциплины «Основы научных исследований и исследовательской деятельности», рассмотрена актуальность не только изучаемой тематики, но и самого онлайн-обучения, показана необходимость автоматизирования обучения, описаны модули автоматизации, выполняющие ряд функций.

Учебная дисциплина «Основы научных исследований и инновационной деятельности» (ОНИИД) относится к модулю «Специальная педагогическая подготовка» компонента учреждения высшего образования учебного плана специальности 1-08 01 01-07 «Профессиональное обучение (информатика)». Данная дисциплина обеспечивает специальную подготовку обучающихся по освоению образовательной программы высшего образования I ступени, является практико-ориентированной и предметом ее изучения являются методы и приемы проведения научных исследований, формирование навыков научного поиска, анализа информации, выбора темы научно-исследовательской деятельности, экспериментирования, проектирования инноваций в условиях профессиональной деятельности [1]. Освоение знаний по учебной дисциплине «ОНИИД», предполагает формирование у обучающихся специализированных компетенций по основам научно-исследовательской работы и умений применять теоретические и практические знания к выполнению

самостоятельной исследовательской деятельности в условиях инновационной образовательной среды, оформлению результатов исследования. Исходя из вышеприведённой информации, и из того, что в настоящее время наука играет ключевую роль в жизнедеятельности людей, и в целом, степень развития науки – это индикатор развитости общества, можно сделать вывод, что вопрос о подготовке квалифицированных кадров для научных исследований в различных сферах является весьма актуальным.

Современное онлайн-обучение – это часть общего процесса обучения в БГУИР, характеризующаяся применением инновационного подхода к получению знаний с применением дистанционных технологий [2]. Дистанционная форма обучения - это прежде всего создание единого информационно-образовательного пространства учреждения образования, куда включены всевозможные электронные источники информации: виртуальные библиотеки, базы данных, консультационные службы, электронные учебные пособия и т. д. Главным при организации дистанционной формы обучения является создание электронных курсов, разработка дидактических основ дистанционного обучения, связанных с разработкой самих курсов дистанционного обучения и методикой их использования для различных целей образования. Основа программы дистанционного курса – методические разработки курса. Онлайн-обучение полностью соответствует стандартам обучения, а также отвечает потребностям современных пользователей в освоении новых профессиональных навыков.

Цифровая образовательная платформа СЭО представляет собой информационное пространство, которое объединяет студентов и преподавателей, дающее возможность получения образования на дистанционной основе, обеспечивающее доступ пользователей к методическим материалам и информации в различных форматах, а также позволяющее проводить тестирование для мониторинга и контроля знаний обучающихся. Образовательная платформа определяется как интерактивное компьютерное приложение, используемое в сети интернет, позволяющее пользователям вводить, получать и манипулировать данными с помощью взаимодействия для обеспечения учебного процесса [2].

К преимуществам дистанционного обучения на платформе СЭО можно отнести:

- самостоятельное выделение времени для занятий;
- возможность заниматься в любом удобном месте;
- выбор собственного темпа обучения;
- возможность получения новых знаний у специалистов;
- экономия времени;
- доступность обучения вне зависимости от уровня дохода;
- возможность выбора интересующих студента курсов.

Для начала работы с образовательной платформой СЭО необходимо:

- стать студентом БГУИР (получить номер студенческого билета, который будет являться логином для входа на платформу);
- подключить возможность выхода в интернет;
- получить доступ к курсу.

Под объектом исследования понимают то явление, которое представляет изучаемую проблему, а также существует независимо от самого исследователя. Предмет исследования – наиболее важные с теоретической или практической точки зрения свойства или особенности объекта. В данном проводимом исследовании объектом является дисциплина «Основы научных исследований и исследовательской деятельности», а предметом – непосредственно онлайн-обучение по данной дисциплине.

Таким образом, целью исследования онлайн-обучения в рамках дисциплины «Основы научных исследований и исследовательской деятельности» является рассмотрение реализации процесса обучения студентов на платформе СЭО по данному учебному предмету. Для достижения данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- получить доступ к образовательной платформе;
- пройти этапы идентификации и аутентификации;
- рассмотреть доступные для студентов функции;
- провести анализ степени удовлетворённости студентов образовательной платформой;
- описать полученные результаты и сформулировать вывод об эффективности обучения с использованием дистанционных технологий.

Методика обучения представляет собой способ взаимодействия преподавателя и студентов, результатом которого является передача и усвоение знаний, умений, навыков, которые предусмотрены учебной программой. На образовательной платформе СЭО используется методика интерактивного обучения. На сегодняшний день самым приоритетным методом обучения является интерактивный, предполагающий активное взаимодействие между преподавателем и студентом. В качестве главного преимущества данной методики можно выделить реализацию вовлеченности всех студентов без исключения в образовательный процесс. Это происходит из-за наличия большого



количества творческих заданий, дискуссий, дебатов, реализуемых в видеоконференциях, а также возможности преподавателя отследить процесс работы, уровень усвоения материала студентом, что не позволяет обучающемуся просто «отсидеться в сторонке».

Что касается методических материалов для обучения дисциплине «Основы научных исследований и исследовательской деятельности» – они обязательно должны соответствовать новым научным веяниям века, что достигается благодаря возможности периодического обновления материала преподавателем, добавление им различного рода заданий, а также сопровождение образовательной платформы службой поддержки на протяжении всего жизненного цикла. Образовательная платформа СЭО [1] включает в себя ряд функций, необходимых для изучения дисциплины «Основы научных исследований и исследовательской деятельности» онлайн. При входе на сайт пользователь обязан пройти этап аутентификации, то есть ввести номер студенческого билета и пароль.

После успешной авторизации студент попадает на главную страницу. Существует два способа перехода в курс «Основы научных исследований и исследовательской деятельности». Первый – найти дисциплину в выпадающем списке «Мои курсы» в верхнем меню. Второй – выбрать учебный предмет в блоке «Мои курсы».

После перехода на курс «Основы научных исследований и исследовательской деятельности» студент попадает на страницу учебной дисциплины (рисунок 1).

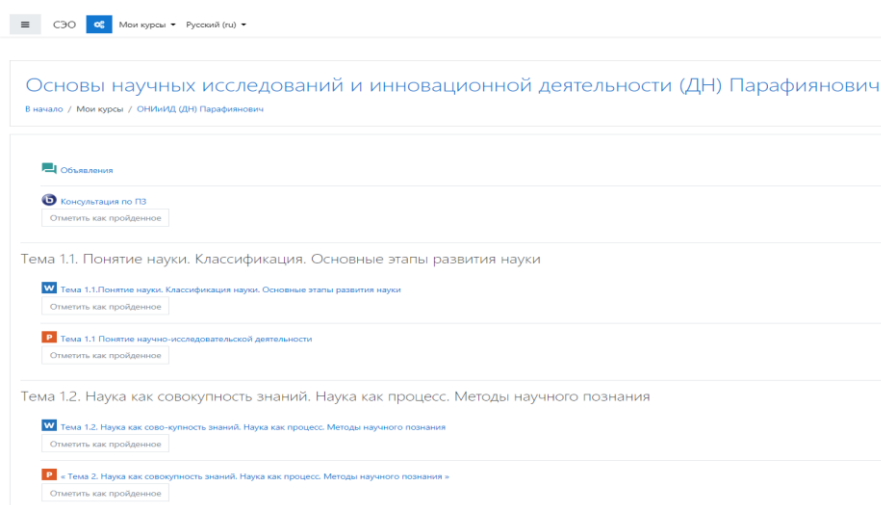


Рисунок 1 – Курс «Основы научных исследований и исследовательской деятельности»

Вся учебная информация структурирована по разделам и темам, согласно плану учебной дисциплины. Каждая тема может включать в себя различного рода информацию: текстовые, графические, мультимедийные файлы. Также есть возможность проведения контроля знаний по конкретной теме или по всему разделу. Тестовые задания включают в себя различные типы вопросов: открытые и закрытые, одиночные варианты ответов и множественные. На образовательной платформе СЭО существует возможность отправления студентом выполненного задания в различных форматах (.pdf, .txt, .docx и так далее). После изучения материала обучающийся может отметить информацию пройденной, что отразится на проценте освоения всей дисциплины (рисунок 2). Данная функция является довольно полезной для студента, благодаря возможности отслеживания собственной динамики.

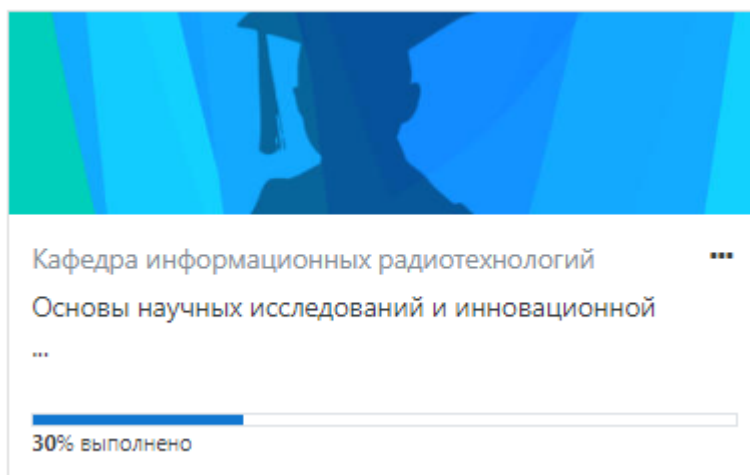


Рисунок 2 – Прогресс изучения дисциплины

Кроме того, если у студента возникли трудности в выполнении заданий или вопросы по пройденному материалу, он всегда может написать своему преподавателю личное или групповое сообщение в чат. Для этого необходимо нажать на соответствующий символ и ввести в поисковую строку фамилию преподавателя (рисунок 3).

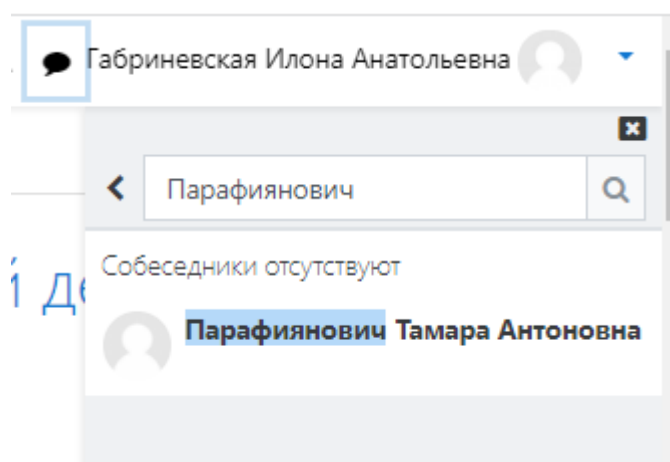


Рисунок 3 – Поиск личного чата с преподавателем

При необходимости существует возможность связи с преподавателем в видеоконференции для личной консультации или для удалённой групповой лекции.

Также стоит отметить, что образовательная платформа имеет спокойный, ненавязчивый дизайн и интуитивно понятную структуру для простоты взаимодействия с пользователем.

В рамках мониторинга учебного процесса для оценки удовлетворенности обучающихся качеством образовательных услуг, оказываемых в процессе изучения учебной дисциплины «ОНИИД» с помощью онлайн-платформы СЭО, было проведено анкетирование (выборка составила 20 человек): 50% обучающихся дали высокую оценку дистанционному курсу, ещё 35% – хорошую, 15% – среднюю. Никто из обучающихся не оценил курс ниже среднего. Диаграмма по данной статистике представлена на рисунке 4. Объем учебного материала, размещенного в дистанционном курсе на платформе СЭО 50% студентов оценили как высокий, как хороший – 45%, как средний – 5%. Никто из обучающихся не оценил объем учебного материала ниже среднего. Соответствие содержания дисциплины ее цели, такой как формирование специализированных компетенций по основам научно-исследовательской работы обучающихся, 40% оценили как высокое, 55% – как хорошее, 5% – как среднее. Никто из обучающихся не оценил соответствие содержания дисциплины ее цели ниже среднего. Уровень логичности и понятности учебных материалов в рамках дисциплины ОНИИД на платформе СЭО 50% обучающихся оценили как высокий, 40% – как хороший, 10% – как средний. Никто из обучающихся не оценил уровень логичности и понятности учебных материалов ниже среднего. Пользу изученных материалов в рамках курса ОНИИД 35% оценили как высокую, 45% – как хорошую, 20% – как среднюю. Никто из обучающихся не оценил пользу изученных материалов ниже среднего. Уровню обеспеченности курса учебными материалами 60% студентов

дали высокую оценку, 40% – хорошую. Никто из обучающихся не оценил уровень обеспеченности курса учебными материалами ниже хорошего. Уровень обеспеченности курса практическими работами 50% считают высоким, 40% – хорошим, 10% – средним. Никто из обучающихся не оценил уровень обеспеченности курса практическими работами ниже среднего. Помощи практических заданий к закреплению изученного материала на платформе СЭО 40% студентов дали высокую оценку, 40% – хорошую, 20% – среднюю. Никто из обучающихся не оценил помощь практических заданий к закреплению изученного материала ниже среднего.

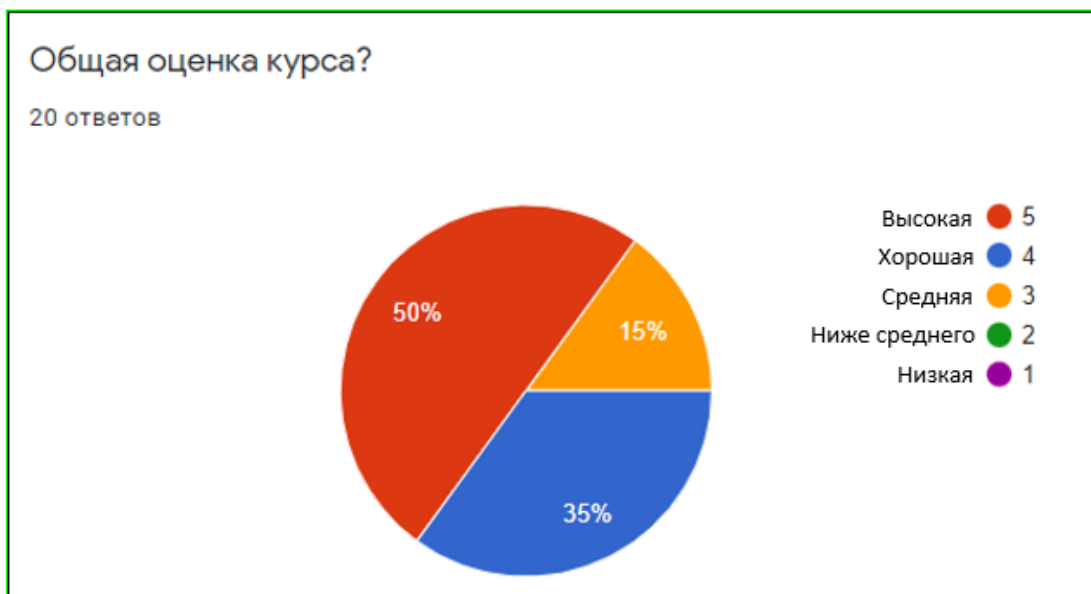


Рисунок 4 – Общая оценка курса

В процессе подготовки материалов для исследовательской работы была обоснована тема и актуальность, определены цели и задачи исследования, были подобраны источники информации по теме.

На основе проведённых исследований можно сделать вывод, что образовательная платформа СЭО соответствует всем необходимым характеристикам, обеспечивающим эффективное дистанционное обучение дисциплины «Основы научных исследований и исследовательской деятельности».

**Список использованных источников:**

1. Парафиянович, Т. А. Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Основы научных исследований и инновационной деятельности» для направления специальности: 1-08 01 01-07 «Профессиональное обучение (информатика)». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.bsuir.by/m/12\\_100229\\_1\\_154508.pdf](https://www.bsuir.by/m/12_100229_1_154508.pdf)
2. Система электронного обучения СЭО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lms2.bsuir.by>.
3. Перспективы онлайн-образования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://myself-development.ru/perspektivy-onlajn-obrazovaniya>.

## ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ОНЛАЙН-ЗАКАЗА ДОСТАВКИ ВОДЫ

Герасимчик Д.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

г. Минск, Республика Беларусь

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

Наш век можно назвать веком компьютеров, сотовых телефонов, плазменных экранов и веком интеграции. Отличительной чертой современного человечества является цифровизация всех возможных процессов, и Интернет-магазин уже стал обыденностью. Наше программное средство является его разновидностью и позволит повысить производительность труда, улучшить качество продукции, расширить возможности потребителей и упростить повседневные задачи персонала компании-заказчика.

Интернет становится все более развитой средой для осуществления коммуникаций с потребителями. В тоже время, Интернет становится удобной и достаточно дешевой «торговой

площадкой». Все большее количество фирм старается представить свою продукцию помимо обычных торговых точек или центров для заказа, еще и в online среде. С развитием Интернет-торговли развивается и само предложение. Теперь люди могут не только получать интересующую их информацию, но и совершать покупки. При этом с помощью Интернет-магазинов можно приобретать товары совершенно разных категорий, как элементарные потребительские, так и высокотехнологичные. Заказы на любую продукцию может осуществлять как частное лицо, так и компания.

Такое положение вещей обусловлено, во-первых, постоянным, стабильным ростом аудитории пользователей глобальной сети; во-вторых, нехваткой времени у людей, их занятостью и загруженностью на работе. Ведь основную часть аудитории сети Интернет составляют люди, работающие в офисах и проводящие большую часть времени за компьютером. Как правило, их образ жизни не позволяет им тратить большое количество времени на походы по обычным магазинам в поисках именно того, что им нужно. Возможность заказать интересующий продукт в Интернете является для них действительно выходом из ситуации. Кроме того, даже в пожилой возраст уже «шагнули» люди, хорошо знакомые с компьютерными технологиями и пользующиеся Интернет-доставкой. Смартфоны стали повседневностью, и вместе с ними все их пользователи приобщились к возможностям Интернета.

Разработанное нами программное средство для заказа воды в online среде предназначено для Частного торгового унитарного предприятия «ВодаТрейд», которая выступила его заказчиком.

Продукт предназначен для предоставления информации о продуктах, имеющихся в ассортименте, а также информации о типах товаров и конкретных наименованиях товаров. Целевой аудиторией сайта являются потенциальные покупатели, которые, как правило, уже использовали определенный продукт и знают приблизительные характеристики желаемого продукта и поэтому решили купить его онлайн. Однако помимо основного продукта компании – бутилированной в различную тару воды, предлагаются к доставке также и сопутствующие товары.

При разработке программного средства было выделено несколько требований, которым оно должно соответствовать:

- обеспечение удобного и эффективного пользовательского интерфейса;
- разработка дизайна, который сделает присутствие пользователя на сайте максимально удобным и приятным;
- обеспечение удобного обзора всего списка продуктов;
- удобный поиск продукта по имени;
- сортировка товара по различным категориям;
- возможность регистрации пользователей на сайте для их удобства и дополнительной безопасности;
- безопасный ввод данных, т.е. проверка правильности формата вводимых данных.

Исходя из требований, программное средство предлагает следующие возможности:

- при первом посещении сайта пользователь должен понять, для чего нужен сайт, получить общее впечатление о нем, выяснить свои потребности по отношению к сайту. Для этого у него должен быть список всех товаров, доступных для него, он должен уметь видеть ассортимент Интернет-магазина;
- если пользователь не желает пользоваться услугами магазина, он может покинуть сайт, не оставляя никаких записей о себе в базе данных сайта. Этот незарегистрированный пользователь не должен иметь доступ к бланку заказа и гостевой книге;
- если пользователь желает воспользоваться услугами Интернет-магазина, он должен зарегистрироваться, чтобы получить доступ ко всем функциям сайта.

Существуют различные аналоги с подобными функциями разрабатываемого программного средства. Одним из них является сайт доставки воды «Славная». Вода «Славная» — является абсолютно натуральной водой от природы. Она очень полезна для здоровья взрослых и детей. Прекрасно подходит для ежедневного потребления, так как является слабоминерализованной. Собственно, это конкуренты компании-заказчика. Естественно, разрабатываемый Интернет-магазин должен был взять все лучшее у данного аналога и устранить имеющиеся у него недостатки.

На рисунке представлена главная страница нашего программного средства.

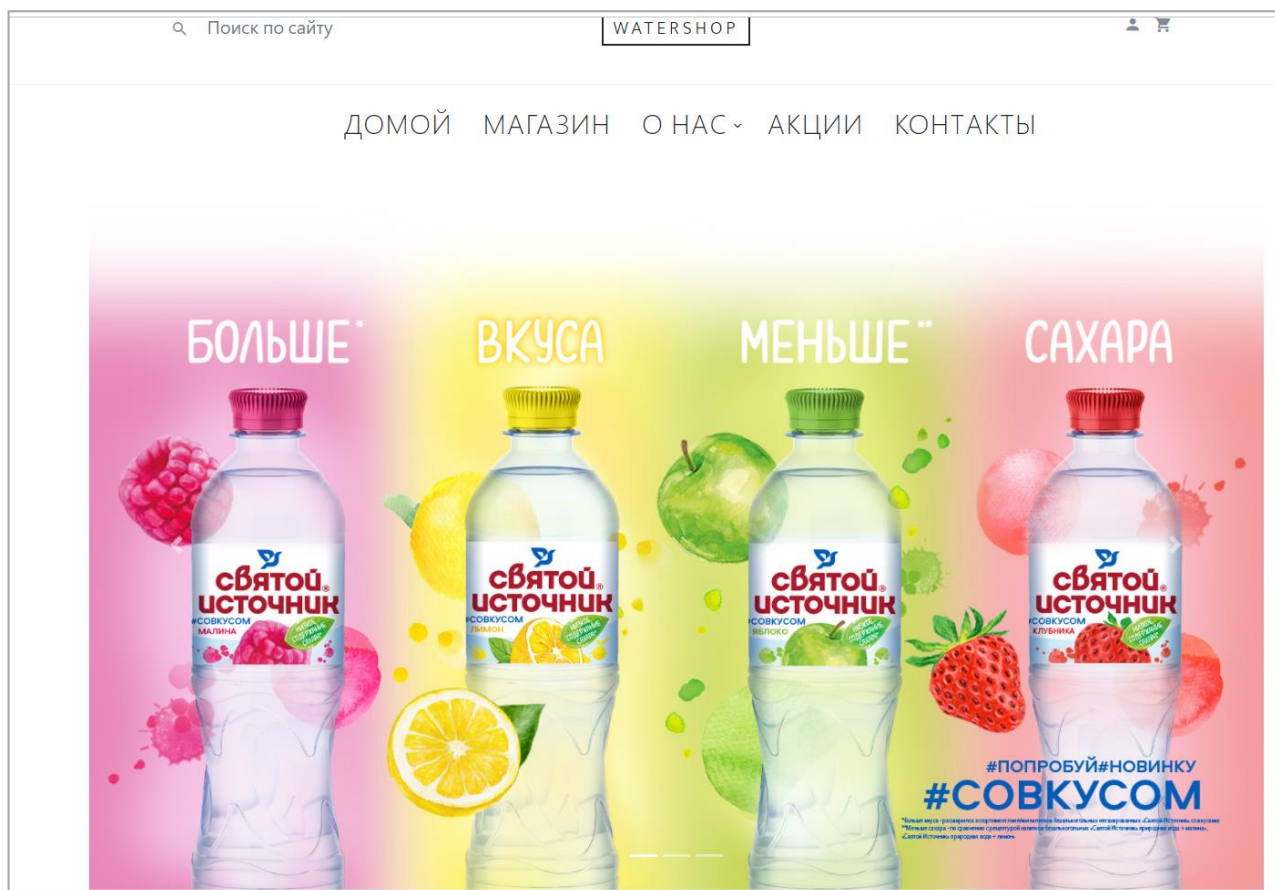


Рис. – Главная страница программного средства

При создании программного средства были использованы следующие средства разработки: интегрированная среда разработки Visual Studio, язык управления реляционными базами данных SQL, реляционная система управления базами данных MySQL, язык разметки документов HTML, язык стилей CSS, технология JSON.

Представленное программное средство значительно упрощает процесс коммуникации компании с клиентами, позволяет, не выходя из дома, за пару кликов, приобрести товар с доставкой на дом. Кроме этого, оно может выступать примером типовой разработки при обучении техников-программистов, программистов и педагогов-программистов. Такие реальные примеры, как средства обучения, позволяют реализовывать в обучении практико-ориентированный подход.

#### Список использованных источников:

1. Анкуда, С. Н. *Дипломное проектирование : разработка методического раздела : метод. рек. для студентов специальности 1-08 01 01 «Профессиональное обучение (по направлениям)»* / С. Н. Анкуда, О. В. Славинская, Ю. С. Сычёва. – Минск : МГВРК, 2013. – 28 с.
2. Бородаев, Д. В. *Веб-сайт как объект графического дизайна : Монография* / Д. В. Бородаев – Х.: «Септима ЛТД», 2006. – 288 с.
3. Демидко, М. Н. *Информатизация образования : должен меняться не инструментарий, а модель образования* / М. Н. Демидко, О. В. Славинская // *Вестник МГИРО.* – 2018. – № 1 (33). – С. 56-60.
4. Колисниченко, Д. Н. *Движок для вашего сайта. CMS Joomla!, Slaed, PHP-Nuke : учеб. пособие* / Д. Н. Колисниченко. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008. – 357 с.
5. Славинская, О. В. *Осмысление технологий медиадидактики «цифровыми мигрантами»* / О. В. Славинская, М. Н. Демидко // *Вестник МГИРО.* – 2018. – № 2 (34). – С. 82-88.
6. *MySQL 5.7 Reference Manual [Электронный ресурс].* – Режим доступа : <https://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/> – Дата доступа : 12.04.2022.
7. Ярочкин, В. И. *Информационная безопасность : учебник для студентов вузов* / В. И. Ярочкин. – М. : Академический проект; Фонд «Мир», 2003. – 640 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИГНАЛОВ GNSS

Горин А.С.

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

Казека А.А. – канд. тех. наук

Данная работа представляет собой исследование помехоустойчивости сигналов глобальных навигационных спутниковых систем. Способность системы выполнять свои функции при наличии помех, при которых нарушение функций устройства еще не превышают допустимых пределов [1].

This work is a study of the noise immunity of signals of global navigation satellite systems. The ability of the system to perform its functions in the presence of interference, in which the violation of the device's functions does not yet exceed the permissible limits [1].

## ВВЕДЕНИЕ

Глобальная спутниковая система навигации (ГНСС, англ. Global Navigation Satellite System, GNSS) – система, предназначенная для определения координат местоположения наземных, водных, воздушных объектов и низкоорбитальных космических аппаратов. Спутниковые навигационные системы используются для получения скорости движения и направления приемника, получение точного времени.

Под помехоустойчивостью системы или отдельного технического устройства в радиоэлектронике подразумевают соотношение сигнал-помеха при котором обеспечиваются заданные характеристики работы устройства. Для таких устройств и систем может быть определены такие понятия как «сигнал» и «помеха» при которых устройство может корректно функционировать. Неизбежное несовершенство любого устройства [1] позволяет определить максимальную теоретическую (расчетную) помеху, такую помеху как правило называют «потенциальная помеха» [2].

Сигнал – физическая величина, изменяемая во времени и описываемая функцией времени. Сигнал описывается функцией времени, один из параметров которой включает данные о другой физической величине. Как правило «сигналом» подразумевают то, что несет в себе информацию.

Помеха – физическое явление, которое является нежелательным, или воздействие полей, токов, напряжений из вне или внутри устройства (системы), нарушающее работоспособность устройства: ухудшает технические характеристики и его параметры.

На сегодняшний день широко распространены и используются ГНСС такие как *GPS*, *ГЛОНАСС*, *BEIDOU* и *GALILEO*. Эти системы используются в таких массовых сферах как рынок мобильных устройств, автомобильной промышленности и т.д., а также на транспорте, энергетике, оборонной промышленности и многих других сферах.

Быстроразвивающейся сфере беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) также используется системы позиционирования. На базе университета *University of Texas at Austin* в Остине были проведены испытания беспилотных летательных аппаратов. С помощью специальной имитационной аппаратуры воздействовали помехой на типовую аппаратуру *GPS* БПЛА. Результатом данного эксперимента стал уход БПЛА с заданной траектории, на которую был настроен автопилот устройства системы *GPS*. При этом эксперимент был прерван во избежание столкновения БПЛА с землей.

Другой показательный эксперимент затронул энергетическую отрасль. Была смитирована помеха при воздействии на систему *GPS* осуществлялось смещение времени в синхрофазоре (*PMU*), данный элемент является ключевыми в распределенной системы энергетики. Последствия такого воздействия на синхрофазоры опасны от рассогласования и разбалансирования систем, вплоть до отключения отдельных систем и перехода в аварийный режим.

Исходя из вышеописанного, данный вопрос помехоустойчивости сигналов ГНСС актуален на сегодняшний день. Исследование помехоустойчивости покажет возможности данной системы, что даст картину о возможности использования данных систем в определенных условиях и местах.

## ЗАДАЧА ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной задачей исследования является определение критической точки работоспособности приемников ГНСС при воздействии на него стационарного глушителя сигнала. Воздействие на приемное устройство подразумевает его движение по некоторой траектории, в частном случае, движение направлено к постановщику помех.

В случае движения приемного устройства прямо к постановщику помех мощность принимаемой помехи будет возрастать, что позволит определить уровень сигнал-помеха при котором приемное устройство не сможет корректно функционировать.

Для систем ГНСС необходима широкополосная помеха, так как диапазон работы  $L$  имеет несколько мегагерц.

Испытательный стенд подразумевает имитатор, на который ранее был записан сигнал одной из систем ГНСС. Устройство имитации помехового сигнала с возможностью изменения помехи и ее характеристик. Приемное устройство – для контроля за проведением эксперимента и получения информации о эффективности воздействия помехи [3]. Упрощенная схема испытательного стенда изображена на рисунке 1.

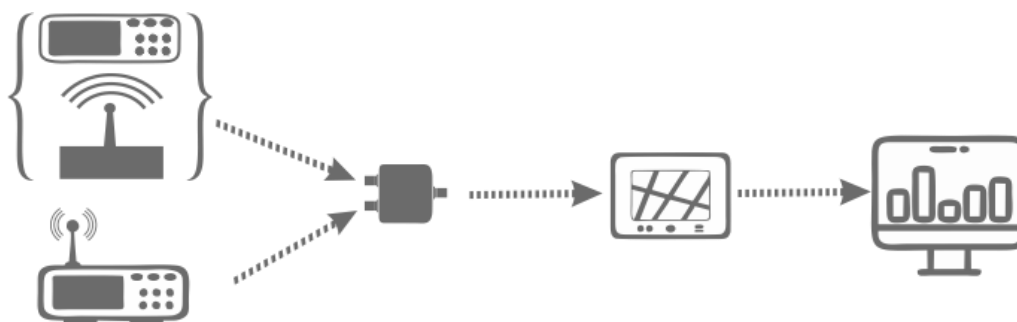


Рисунок 1 – Упрощенная схема исследовательского макета

В ходе проведения исследования также используются поверенные приборы для контроля за ключевыми параметрами макета, такие как: анализатор спектра, анализатор спектра реального времени, осциллограф и др.

Исследование проходит в два этапа:

1. На первом этапе происходит получения реального сигнала по средствам записи реального сигнала ГНСС в память запоминающего устройства для последующего его воспроизведения.
2. Второй этап является лабораторным. Записанный ранее реальный сигнал воспроизводится специальным устройством воспроизведения сигналов ГНСС и подается на вход приемного устройства. После получения исходных данных с приемника подмешивается помеховый сигнал и оценивается работоспособность и т.д.

Основным преимущество – чистота эксперимента, которая заключается в том, что единственной переменной составляющей эксперимента является помеховых сигнал, параметры которого изменяются и заранее известны. Таким образом определяется эффективность той или иной помехи воздействующей на сигнал и ее параметры. Что позволяет оценить влияние сторонних сигналов на работу системы ГНСС.

### Список использованных источников:

1. Гоноровский И. С., *Радиотехнические цепи и сигналы*, 2 изд., М., 1971;
2. Гуткин Л. С., *Теория оптимальных методов радиоприёма при флуктуационных помехах*, М., 1972;
3. Стратонович Р. Л., *Принципы адаптивного приёма*, М., 1973.

## АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДА АВТОПОДСЛЕЖИВАНИЯ

До З.М, студент гр.840401

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

Давыденко И.Н. – канд. тех. наук, доцент

**Аннотация:** В статье рассматривается анализ динамических характеристик привода автоподслеживания в измерителе угловых координат цели.

**Ключевые слова:** Анализ устойчивости и быстродействия (переходных процессов) привода автоподслеживания антенны.

### Анализ устойчивости привода автоподслеживания

Для анализа устойчивости привода автоподслеживания воспользуемся передаточной характеристикой разомкнутого контура автоподслеживания:

$$K_{\text{ПР.РАЗ}}(p) = K_{\text{И}}(p) \cdot K'_{\text{ПР}}(p) = \frac{K'_{\text{Э}}(p) \cdot K_{\text{ПР}}(p)}{1 + K'_{\text{Э}}(p) + K_{\text{ПР}}(p) \cdot K_{\text{К}}(p)}$$

где, в немодернизируемом контуре автоподслеживания:

$$K_{\text{Э}}(p) = \frac{21 \cdot (1 + 0,8p)}{12p + 1}, K_{\text{К}}(p) = \frac{3p}{1 + 3p}, K_{\text{УПР}}(p) = \frac{72 \cdot (1 + 0,5p)}{34p + 1},$$

$$K_{\text{ИСП}}(p) = \frac{4,38}{p(1 + 0,027p)^2}$$

в модернизируемом контуре автоподслеживания были продекларированы следующие передаточные функции:

$$K_{\text{Э}}(p) = \frac{1,75 \cdot (1 + 0,8p)}{p}, K_{\text{К}}(p) = \frac{3p}{1 + 3p}, K_{\text{ПР}\epsilon}(p) = \frac{14,5(1 + 0,36p)}{p^2(1 + 0,08p)(1 + 0,02p)},$$

$$K_{\text{ПР}\beta}(p) = \frac{6(1 + 0,3p)}{p^2(1 + 0,06p)(1 + 0,02p)}.$$

Для исследования запаса устойчивости по фазе старого и модернизированного приводов автоподслеживания получим таблицу:

	Старый привод $\frac{72 \cdot 4,38(1 + 0,5)}{p(1 + 34p)(1 + 0,027p)^2}$	Новый привод $\epsilon$ $\frac{14,5(1 + 0,36)}{p^2(1 + 0,08p)(1 + 0,02p)}$	Новый привод $\beta$ $\frac{6(1 + 0,3)}{p^2(1 + 0,06p)(1 + 0,02p)}$
1	старый измеритель $\omega_c=1,627$ $\Delta\varphi=33,301^\circ$	старый измеритель $\omega_c=1,713$ $\Delta\varphi=36,235^\circ$	старый измеритель $\omega_c=1,612$ $\Delta\varphi=23,294^\circ$
2	новый измеритель $\omega_c=1,629$ $\Delta\varphi=31,043^\circ$	новый измеритель $\omega_c=1,712$ $\Delta\varphi=33,902^\circ$	новый измеритель $\omega_c=1,611$ $\Delta\varphi=21,489^\circ$



Заметим, что в соответствии с таблицей запас устойчивости по фазе старого контура автоподслеживания составил величину:  $\Delta\varphi=33,301^\circ$ .

Введение новой передаточной функции измерителя углов цели привело к снижению запаса устойчивости на  $2,26^\circ$ :  $\Delta\varphi=31,043^\circ$ .

Введение новой передаточной функции привода по азимуту привело к уменьшению запаса устойчивости привода автоподслеживания на  $10^\circ$ :  $\Delta\varphi=23,294^\circ$ .

Изменение передаточной характеристики измерителя угловых координат привело к незначительному изменению запаса устойчивости по фазе: на  $2,26^\circ$ .

### Анализ быстродействия (переходных процессов) привода автоподслеживания

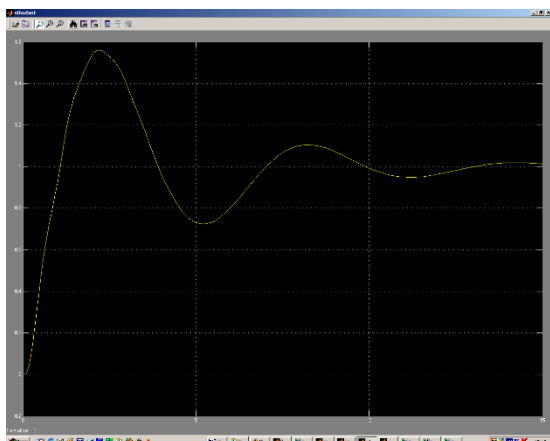


Рисунок 1. Переходной процесс нового привода по углу места

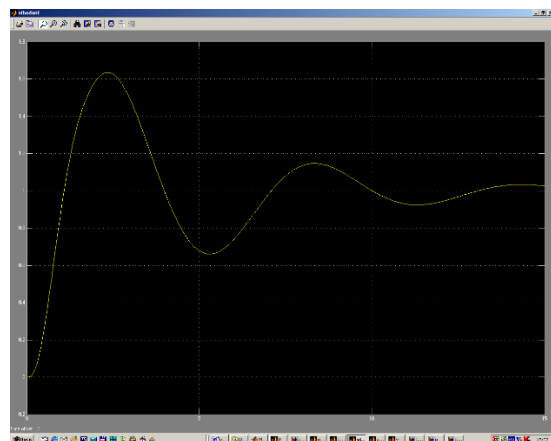


Рисунок 2. Переходной процесс нового привода по азимуту

Результат исследования возможности дальнейшего улучшения устойчивости угломестного и азимутального приводов при постоянной времени форсирующего звена измерителя 1,6 с и за счет изменения коэффициента передачи цепи гироскоррекции 10 (вместо 3) и за счет введения аperiodического звена в цепь гироскоррекции 10 с (вместо 3 с).

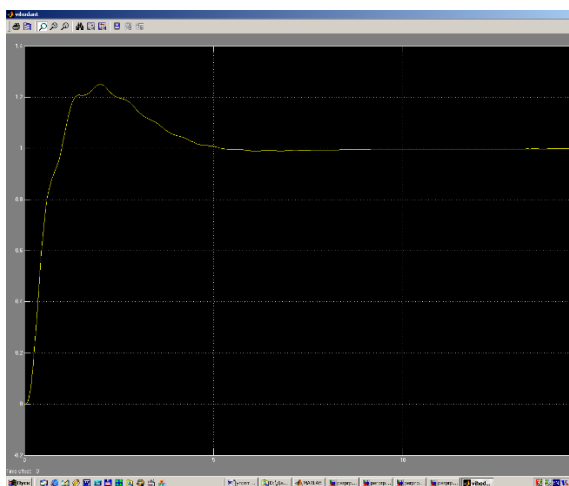


Рисунок 3. Переходной процесс нового угломестного привода при постоянной времени форсирующего звена измерителя 1,6 с. и постоянной времени основного аperiodического звена цепи гироскоррекции 10 с и коэффициенте передачи цепи гироскоррекции 10 (вместо 3 с и 3 соответственно).

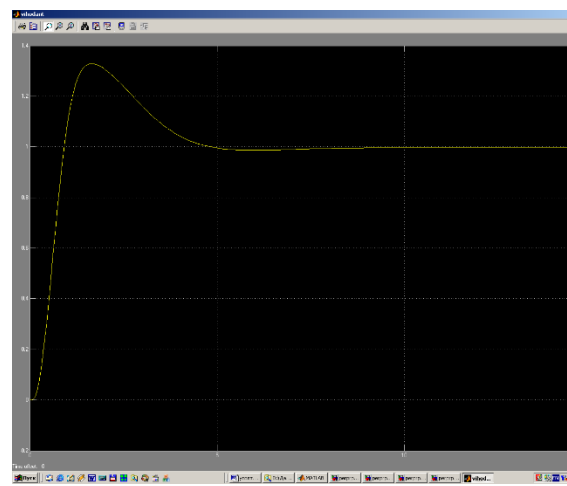


Рисунок 4. Переходной процесс нового азимутального привода при постоянной времени форсирующего звена измерителя 1,6 с. и постоянной времени основного аperiodического звена цепи гироскоррекции 10 с и коэффициенте передачи цепи гироскоррекции 10 (вместо 3 с и 3 соответственно).

Заметим, что переходной процесс на рисунке 3 носит меньший колебательный характер и содержит только 1 переколебание. Длительность переходного процесса по моменту первого пересечения установившегося значения уменьшилась и составляет 0,9 с. Величина первого переколебания составляет 25%. Такой же, переходной процесс на рисунке 4 носит меньший колебательный характер и содержит только 1 переколебание. Длительность переходного процесса по моменту первого пересечения установившегося значения уменьшилась и составляет 0,8 с. Величина первого переколебания составляет 35% вместо 63%.

### Заключение

В соответствии с продекларированными характеристиками в модернизированном приводе автоподслеживания по азимуту произошло резкое снижение запаса устойчивости по фазе из-за изменения передаточной характеристики привода. Увеличение запаса устойчивости привода автоподслеживания при постоянной времени форсирующего звена измерителя и за счет увеличения постоянной времени форсирующего звена получило свое подтверждение. Следовательно, с точки зрения устойчивости привода нет противопоказаний по указанным изменениям цепи гироскоррекции.

#### Список использованных источников:

1. Артемьев В.М. Основы автоматического управления / М.: СРЭС. 1984. 453 с.
2. Семакову В.А. Основы построения зенитного ракетного комплекса с-125М и станции наведения ракет снр-125/ МОСКВА. 1977. 183с.

## МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПИТАНИЕМ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

*Жоголь Н.А., студент гр. 841301*

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

*Дворникова Т. Н. – магистр технических наук*

**Аннотация.** В работе предложена модернизация системы питания блоков РЛС, путем применения микропроцессорной техники. И разработано программное обеспечение для микроконтроллера.

**Ключевые слова.** Радиолокационная станция, система электропитания, модуль управления питанием.

В настоящее время актуальной задачей является контроль воздушного и морского пространства, то есть контроль за передвигающимися в нём различными объектами, как военного, так и гражданского назначения. Для реализации данной задачи используется радиолокационная станция.

Радиолокационная станция, является комплексом систем, служащим, для обнаружения воздушных, морских и наземных объектов, и для определения их скорости, габаритов и дальности. Для этого используется метод радиолокации, основанный на излучении радиоволн, с последующим приёмом отражённых от объекта сигналов. Тем не менее, чтобы обеспечить необходимую дальность, точность и скорость определения объекта, необходимо воспользоваться множеством систем, что в совокупности и будут составлять радиолокационную станцию.

Одной из самых жизненно важных для комплекса систем, является система электропитания. В задачи которой входит подача питания на каждый отдельный блок, с необходимым уровнем напряжения. Сами питающие напряжения поступают на комплекс от внешних генераторов, которые входят в состав оборудования радиолокационной группы. Из-за чего на внутренней системе электропитания радиолокационной станции возможны перепады напряжений, которые могут привести к перепадам питающих напряжений и спровоцировать выход из строя блоков и систем радиолокационной станции.

В связи с этим актуальной задачей на сегодняшний день является обеспечение стабильного электропитания и поддержка необходимых уровней питающих напряжений. Для этого в состав радиолокационного комплекса включается дополнительная система управления питанием. Данная система представляет собой модуль управления питанием.

Модуль управления питанием позволяет значительно ускорить процесс запуска радиолокационных станций, параллельно с этим проверяя напряжения на блоках, для предотвращения возможной их неисправности.

В работе предлагается модернизация системы электропитания радиолокационного комплекса, путем добавления модуля управления питанием. Функционал, который будет выполнять модуль, главным образом зависит от программного обеспечения микроконтроллера, используемого в модуле управления питанием.

Для коммутации с блоками и системами используется интерфейс SPI, а для обмена данными с рабочим местом оператора используется CAN-шина. Так же через CAN-шину удобно передавать команды и вносить изменения в программу работы микроконтроллера.

В результате модернизации системы электропитания радиолокационной станции, был добавлен модуль управления питанием. В связи с этим повышена отказоустойчивость систем радиолокационной станции и уменьшено время запуска систем радиолокационного комплекса. Кроме того, разработано программное обеспечение для модуля управления питанием.

**Список использованных источников:**

1. Военно-техническая подготовка. Устройство РЛС РТВ ВВС. Радиолокационная станция П-18Р : учеб. : в 2 ч. Ч. 1 / Е.Н. Гарин, Д.Д. Дмитриев, В.Н. Тяпкин [и др.] ; ред. Е.Н. Гарин. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. – 268 с.
2. ТМ4С123GH6PZL Series Datasheet [Электронный ресурс] : Datasheet / Texas Instruments – Режим доступа : <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tm4c123gh6pz.pdf?ts=1648734194578>

## **НЕОБХОДИМОСТЬ СИНХРОНИЗАЦИИ НЕСУЩЕГО КОЛЕБАНИЯ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ ПРИ ПРИЕМЕ СИГНАЛОВ С ФАЗОВОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ**

*Зайцев И. А., магистрант гр.145201*

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

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

Работа посвящена необходимости синхронизации несущего колебания в системах связи при приеме сигналов с фазовой манипуляцией.

Современные системы связи требуют большого расстояния связи, большой пропускной способности и хорошего качества передачи. Технология синхронизации в настоящее время не перестает быть актуальной исследовательской проблемой в системах связи.

Наибольшая энергетическая и спектральная эффективность передачи дискретной информации достигается при использовании методов фазовой манипуляции, таких как BPSK, QPSK, M-PSK и M-QAM.

Технология PSK широко используется в цифровых системах микроволновой связи, системах цифровой спутниковой связи широкополосного доступа, мобильной связи и системах кабельного телевидения. Прием сигналов, модулированных в соответствии с данными методами, осуществляется по когерентной схеме.

При когерентной фазовой демодуляции предполагается, что приемник может генерировать опорные сигналы, фаза которых идентична (с точностью до постоянного смещения) фазе элементов сигнального алфавита передатчика. Затем в процессе принятия решения относительно значения принятого символа опорные сигналы сравниваются с поступающими.

При генерации подобных опорных сигналов приемник должен быть синхронизирован с принимаемой несущей.

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

Произведем моделирование системы связи с использованием фазовой манипуляции в Simulink (рисунок 1) для визуализации необходимости синхронизации.

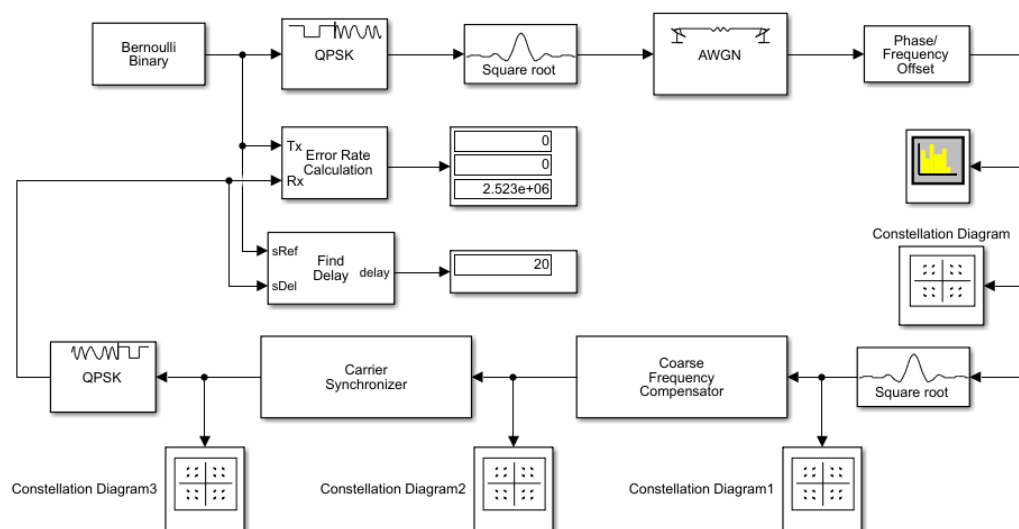


Рисунок 1 – Блок-схема системы связи

В системе связи будем использовать QPSK модуляцию.

Для симуляции канала связи между передатчиком и приемником используется блок «AWGN Channel» и так же для имитации искажения частоты и фазы в канале связи используется блок «Phase/Frequency Offset».

После прохождения фильтра на входе приемника блока «Square root» произведена коррекция амплитуды значений сигнального созвездия. Но с точки зрения частоты и фазы оно разрушено.

Блок «Coarse Frequency Compensator» позволяет компенсировать частотные искажения, внесенные блоком «Phase/Frequency Offset». Компенсация возможна благодаря грубой подстройке частоты, которая основана на спектральном анализе принятого сигнала. Алгоритм реализован при помощи такого же блока вращения фазы и частоты, при этом на вход блока подается значение частоты, на которое необходимо сместить сигнал. Для расчета этой частоты необходимо возвести входной комплексный сигнал в четвертую степень (так как в системе используется QPSK модуляция). Таким образом, из сигнала исключается модулированная составляющая и остается только тон частотного сдвига. Тон частотного сдвига можно детектировать при помощи преобразования Фурье.

После данного блока сигнальное созвездие имеет следующий вид.

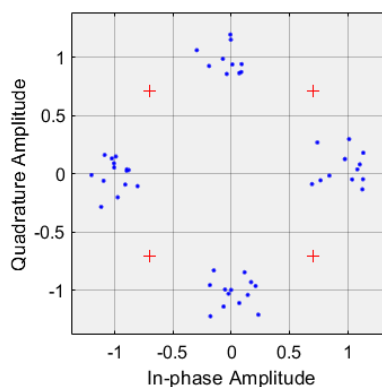


Рисунок 2 – Сигнальное созвездие после прохождения блока «Coarse Frequency Compensator» (Constellation Diagram2)

Блок «Carrier Synchronizer» представляет из себя контур фазовой автоподстройки частоты. В первую очередь он осуществляет детектирование ошибки фазы, а затем, после прохождения фильтра, выполняет формирование сигнала компенсации. На выходе данного блока формируется правильное сигнальное созвездие, которое изображен на рисунке 3.

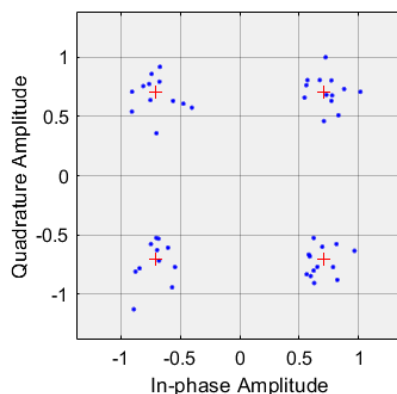


Рисунок 3 – Сигнальное созвездие после прохождения блока «Carrier Synchronizer» (Constellation Diagram3)

Моделирование показало, что полностью разрушенное, с точки зрения фазы и частоты, на выходе приемного фильтра сигнальное созвездие, после блока компенсации частотных искажений принимает вид вращающегося созвездия. После контура ФАПЧ система полностью компенсирует все внесенные каналом искажения.

Как видно из модели синхронизация по частоте и фазе является важнейшей составляющей для корректного восстановления сигнала на приемной стороне.

**Список используемых источников:**

1. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003.
2. Luise, M. and R. Regiannini. "Carrier recovery in all-digital modems for burst-mode transmissions." *IEEE Transactions on Communications*. Vol. 43, No. 2, 3, 4, Feb/Mar/April, 1995, pp. 1169-1178.

УДК

## МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ЗВУКОВЫМИ СИНТЕЗАТОРАМИ

Закерничный И.В.<sup>1</sup>, студент гр.842801

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

Ключицкий А.Ю. – ассистент кафедры электроники

**Аннотация.** Рассматривается способ организации взаимодействия с распространенными интегральными схемами (ИС) частотно-модуляционных (ЧМ) операторных звуковых синтезаторов с параллельным управлением по восьмибитной шине данных, основанный на применении современного микроконтроллера (МК), позволяющий использовать для управления различные стандарты последовательных интерфейсов.

**Ключевые слова.** Звуковой синтезатор, частотная модуляция, микроконтроллер, последовательный интерфейс.

Метод синтезирования звука с использованием ЧМ был запатентован компанией Yamaha в 70-х годах прошлого века [1] и вплоть до истечения патента в середине 90-х Yamaha сохраняла монополию на рынке ИС с применением данной технологии. В это же время происходило бурное развитие вычислительной техники, в т.ч. персональной, и в условиях серьезных ограничений по работе с цифровым аудио, в основном вызванных дороговизной и малым объемом запоминающих устройств, ИС с операторным синтезом стали основным источником полифонического звука для многих персональных компьютеров (ПК) и игровых приставок. Простота в управлении и разнообразие получаемых форм волны сделали ЧМ-синтез излюбленным музыкальным инструментом композиторов как популярной, так и ранней компьютерной музыки.

В настоящее время большая часть архива композиций для ИС с операторным синтезом остается лишь в виде кода, предназначенного для выполнения на самих ИС. Самый распространенный способ выполнения такого кода для извлечения звука в современных условиях – программный (эмуляция), подразумевающий использование эмуляторов, разработанных энтузиастами лишь на основе имеющейся в свободном доступе документации и обратной разработке целевых ИС, весьма сложных по своему строению. При таком подходе неизбежны неточности в интерпретации управляющих команд, в частности – незадокументированных, что в конечном счете приводит к искажению получаемого потока аудио, часто весьма значительному.

Избежать подобных проблем позволяет применение для звукоизвлечения самих целевых ИС. Несмотря на прекращение производства абсолютного большинства оных, из-за крайне низкого спроса их стоимость остается ничтожно малой. Однако возникает необходимость разработки системы управления, которая раньше удовлетворялась дискретной логикой или ИС специального назначения. Сейчас же для этих целей можно использовать подходящий по параметрам МК. Такое решение уже более 10 лет представлено на рынке, однако неоправданно высокая стоимость, штучный характер производства, вовсе не позволяющий на данный момент осуществить заказ; полная закрытость и жестко контролируемая расширяемость, требующая покупку цифровых ключей для получения доступа к отдельным возможностям; а также уже успевшая устареть элементная база делают его крайне неоптимальным [2].

Одной из самых распространенных ИС ЧМ-синтезатора является YM2608 (OPNA), состоящая из 6 четырехоператорных ЧМ-каналов и 3 каналов меандра. Дальнейшим ее развитием является YM288 (OPN3-L), сохраняющая совместимость и позволяющая использовать напряжение питания в 3,3 В. Структурная схема синтезатора приведена на рисунке 1. Управление им осуществляется восьмимбитной шиной (D7..D0), по которой сначала передается адрес регистра, затем данные для записи или полученные при чтении, в зависимости от состояния управляющих входов /RD и /WR [3]. Таким образом, можно с помощью МК реализовать прием управляющих данных по последовательному интерфейсу с ПК (по USB) или с MIDI-контроллера, а также, в случае с ПК, передачу полученных в ходе чтения данных.

Для выполнения этой задачи была выбрана серия МК STM32F4. Их высокая тактовая частота ядра (168 МГц) позволяет справляться с обслуживанием шины данных синтезатора, а встроенный интерфейс стандарта USB Full Speed с максимальной скоростью передачи 12 Мбит/с обеспечивает связь с ПК. Имеющиеся интерфейсы I2S после некоторого преобразования частоты сигнала LRO на счетчиках МК для преодоления отсутствия поддержки реализацией I2S длины слова в 24 бита, формируемого синтезатором, могут использоваться для передачи аудиопотока с YM288 на ПК для дальнейшей обработки или даже моментального воспроизведения на внешнем цифро-аналоговом преобразователе (ЦАП), в таком случае наличие ИС ЦАП не обязательно [4]. Таким образом, коммерческая реализация в своей минимальной конфигурации может содержать всего две микросхемы, не считая преобразователя напряжения. К тому же выводов и возможностей на самом дешевом МК серии, STM32F405RGT6, более, чем достаточно для достижения поставленной цели.

Программную часть значительно упрощают имеющиеся в среде разработки STM32CubeIDE реализация виртуального последовательного порта (VCP) и его драйвер. На одном интерфейсе USB можно эксплуатировать несколько VCP: например, один для передачи управляющих данных, второй – для передачи аудиопотока. Также возможно сделать МК составным USB-устройством из VCP и аудиоустройства, использующего системный драйвер. Тогда не будет нужды в программном обеспечении (ПО) для воспроизведения аудио, принимаемого по VCP.

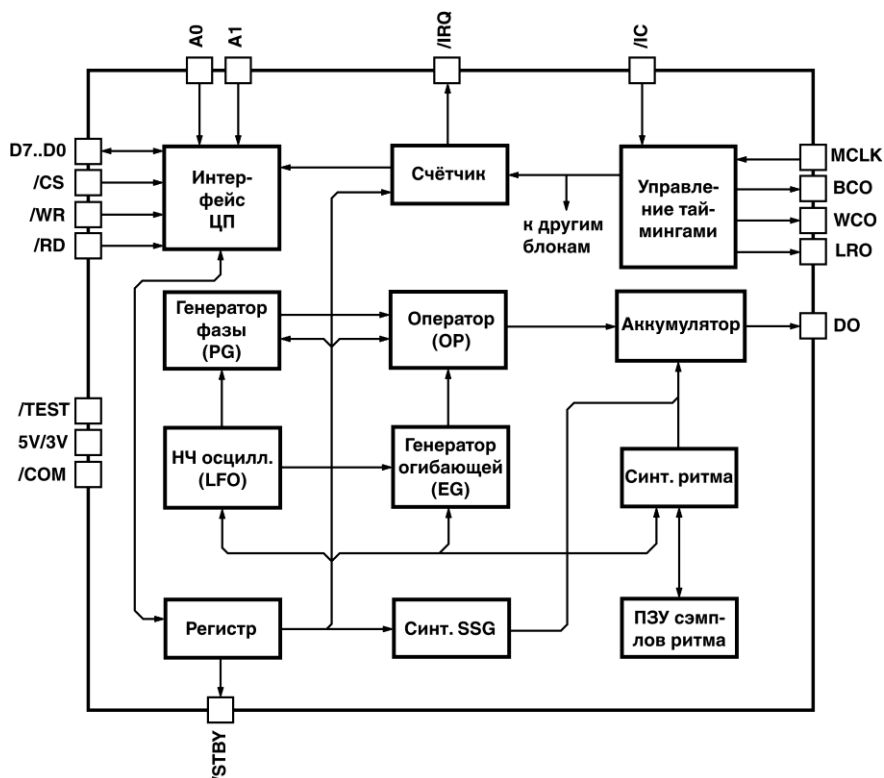


Рисунок 1 – Структурная схема ИС ЧМ-синтезатора YMF288

Формирование управляющих данных на ПК для передачи по VCP осуществляется непосредственно в ПО, использующем синтезатор. Для примера был модифицирован исходный код открытого эмулятора платформы PC-98, использовавшей в некоторых звуковых картах ИС YMF288 [5]. В функции обращения к эмулятору синтезатора был внедрен код, передающий данные на порт в системе, соответствующий управляющему VCP. Вначале передается один байт, содержащий режим работы (чтение/запись) и состояние сигнала A1. Затем в случае записи передается два байта – байт адреса и байт данных. В случае чтения после передачи байта адреса ожидается прием байта данных от МК. Также в свободных битах первого байта передаются сигналы на сброс синтезатора (/IC) и переключение режимов работы (/COM).

Реализация управления по интерфейсу MIDI отличается тем, что все управляющие данные формируются на МК. Для работы по протоколу General MIDI без использования эксклюзивных команд в ПЗУ МК содержится таблица настроек ЧМ-операторов, соответствующая 128 стандартным инструментам. Для переопределения элементов таблицы могут использоваться эксклюзивные команды. Чтение регистров синтезатора при работе по полудуплексному интерфейсу MIDI невозможно.

Рассмотренный метод управления может использоваться с огромным множеством различных ИС синтезаторов, управляемых похожим интерфейсом. В основном это ИС производителя Yamaha, в числе которых есть и линейка OPL, широко применявшаяся в периферии для IBM PC-совместимых ПК.

**Список использованных источников:**

1. Method of synthesizing a musical sound [Electronic resource] : pat. US 4018121 / John M. Chowning. – Publ. date 19.04.1977. – Mode of access: <https://patents.google.com/patent/US4018121A/en>. – Date of access: 14.04.2022.
2. G.I.M.I.C. – Режим доступа: <https://www.gimic.jp/>. – Дата доступа: 14.04.2022.
3. STM32F405xx STM32F407xx Arm® Cortex®-M4 32b MCU+FPU, 210DMIPS, up to 1MB Flash/192+4KB RAM, USB OTG HS/FS, Ethernet, 17 TIMs, 3 ADCs, 15 comm. interfaces & camera : Datasheet - production data. – STMicroelectronics, 2020. – 203 p.
4. Yamaha LSI Data Book Ongen-hen : Databukku Ongen-hen Catalog No. 7610002 1994.10. – Yamaha Corporation, 1994. – P. 2-111–2-134.
5. PC-9800 Series Emulator Neko Project 21/W. – Режим доступа: <https://simk98.github.io/np21w/>. – Дата доступа: 14.04.2022.

## METHOD OF CONTROLLING SOUND SYNTHESIZERS

Zakernichny I.V.<sup>1</sup>

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

Kliutski A.J. – assistant of the Department of Electronics

**Annotation.** A way of organizing interaction with common frequency modulation (FM) operator sound synthesizer integrated circuits (ICs) with eight-bit data bus control based on application of a modern microcontroller unit (MCU), which allows the use of different serial interface standards for control, is considered.

**Keywords.** Sound synthesizer, frequency modulation, microcontroller, serial interface.

## ПРИЛОЖЕНИЕ-ТРЕНИНГ ДЛЯ КУРАТОРОВ УЧЕБНЫХ ГРУПП И УЧАЩИХСЯ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ПО ВОСПИТАТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

Зудинов Е. Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

г. Минск, Республика Беларусь

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

В наше время автоматизируются и компьютеризируются все области человеческой жизнедеятельности. Образование не является исключением. При этом компьютеризируется как процесс обучения, так и процесс воспитания, и, в свою очередь, работа обучающихся и педагогов, в том числе кураторов учебных групп. Разработанное приложение-тренинг лежит в ряду таких современных программных средств.

Сегодня невозможно отрицать, что будущее человечества тесно связано с развитием цифровых технологий. Компьютеризация, автоматизация и последние изобретения в цифровой среде могут менять целые отрасли в обществе, открывать новые возможности и делать неприемлемыми те технологии и методы, которые применялись еще вчера. Например, массовое распространение радио- и телевидения, произвело настоящую революцию в сфере распространения информации. Радиоспектакль Ф. Г. Уэллса «Война миров» продемонстрировал огромный потенциал технологии. Благодаря новому ренессансу кинематографа в США в 1920 году миллионы людей из послевоенной Европы отправлялись целыми семьями в Новый Свет, очарованные картинкой с экрана.

С 80-90-х годов XX века, начал развиваться новый вид искусства – цифровые развлечения. Этот новый вид развлечений предложил то, что не было возможно ранее – «проживание» различного опыта. Есть много мнений о вреде или пользе компьютерных игр, но совершенно очевидно – данный вид разработок предлагает многократное «проживание» определенной ситуации, причем эту ситуацию возможно «проживать» бесчисленное количество раз, разным образом, что помогает устранить огромный минус классического образования – недостаток практического опыта. И такие разработки стали широко применяться в образовании в настоящее время.

Разработанное нами приложение-тренинг предназначено для Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», который выступил его заказчиком. Программный продукт моделирует различные распространенные ситуации в воспитательной работе с учебной группой и предлагает, если это возможно, несколько алгоритмов поведения в ней, основанных на идеях современной педагогики. Целевой аудиторией приложения являются студенты педагогической специальности и действующие педагоги-специалисты (кураторы учебных групп, методисты по воспитательной работе).

При разработке программного средства были выделены требования, которым оно должно соответствовать:

- обеспечение удобного и эффективного пользовательского интерфейса;
- разработка дизайна, который сделает использование приложения максимально простым;
- соответствие современным технологиям и методам педагогики и образования нашей страны;
- разнообразие вопросов и ситуаций, наиболее типичных для работы куратора.

Наше программное средство предлагает следующие возможности: получение информации об обучающихся учебных групп, деятельность которых «проблемна» с точки зрения вопросов воспитания; предоставления нескольких вариантов разрешения конфликтных ситуаций и прогнозируемых результатов при применении выбранных вариантов; возможность повторного выбора иного варианта разрешения и получение иного результата.

На момент начала разработки не удалось найти аналогов в обозначенной проблематике. Все похожие продукты, которые были обнаружены, рассматривают иные аспекты в области образования, совершенно не затрагивая практический воспитательный аспект.

При создании программного средства были использованы следующие средства разработки: интегрированная среда разработки Visual Studio, язык управления реляционными базами данных SQL, реляционная система управления базами данных MySQL, язык программирования C#, среда разработки Unity.

Представленное программное средство позволяет моделировать различные ситуации в рамках образовательной предметной области и получать пользователю реальный практический опыт параллельно с теоретическим.

**Список использованных источников:**

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

9. MySQL 5.7 Reference Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/> – Дата доступа : 12.04.2022.



# ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ УСТРОЙСТВ IOT С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТНОЙ И СЕТЕВОЙ ПОДДЕРЖКИ

Кабаков В.П., Чертков А.С., Способ С.А.

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

подполковник Способ С.П. – магистр тех. наук

**Аннотация.** В тезисе рассматривается информационная безопасность устройств Интернета вещей с использованием аппаратной поддержки и сетевой для эффективной работы.

*IoT – Internet of Things* (Интернет вещей) – относительно новая технология, идея о которой появилась еще в 1999 году Кевином Эштоном. В лаборатории Массачусетского университета была представлена метка *RFID* – метка идентификации, позволяющая простейшим объектом ориентировать и определять себя в пространстве с помощью радиоволн. Тогда идея о взаимодействии миллиарда устройств, находящийся на огромных расстояниях между собой казалась нереализуемой. Уже сегодня она объединяет множество устройств в сеть, позволяющую им собирать, анализировать, обрабатывать и передавать между собой данные.



Несмотря на то, что поле работы с вопросом безопасности остается огромным, сейчас существуют решения, позволяющие осуществлять развертывание *IoT* более надежно. Например, для решения проблемы устаревания программного обеспечения устройств, есть возможности эффективных стратегий автоматического обновления.

Благодаря *SOTA (Software Over the Air)* «обновление по воздуху» и *FOTA (Firmware Over the Air)* – «прошивка по воздуху», программное обеспечение

подключенных устройств и настройки можно обновлять с помощью беспроводной связи.

Очень немногие устройства используют зашифрованную связь как часть своей первоначальной конфигурации. Они чаще используют обычные веб-протоколы, которые обмениваются данными в виде простого текста, что позволяет хакерам легко наблюдать за ними и выявлять слабые места. Вот почему для всего веб-трафика крайне важно использовать *HTTPS*, безопасность транспортного уровня (*TLS*), безопасный протокол передачи файлов (*SFTP*), расширения безопасности *DNS* и другие безопасные протоколы при общении через Интернет. Устройства, которые подключаются к мобильным приложениям, также должны использовать зашифрованные протоколы, а данные, хранящиеся на флэш-накопителях, должны быть зашифрованы в качестве меры безопасности *IoT*. Только зашифровав данные, вы можете быть уверены, что вредоносное ПО не заразило устройство.

Чтобы защитить продукт компании от перенастройки, можно использовать функции аппаратного корня доверия. Например, если устройство имеет хранилище ключей, его можно использовать для шифрования потока битов или прошивки продукта, чтобы можно было запрограммировать только устройства с определенным ключом. Это эффективно, но действительно безопасно только в том случае, если устройство с ключом имеет встроенные лицензированные меры противодействия *DPA*.

Сгенерированные закрытый и открытый ключи иницируют связь, и облачный сервер с открытыми ключами отправляет каждому устройству контрольный вопрос. Если ответ правильный, предпринимаются следующие шаги для защиты связи на основе шифрования информации с помощью закрытых ключей. Обратитесь к поставщику, у которого есть инфраструктура открытых ключей (*PKI*) и *PUF* для обеспечения высочайшего уровня безопасности данных.

Другие способы реализации безопасности *IoT* включают:

– Контроль доступа к сети. *NAC* может помочь идентифицировать и инвентаризировать устройства *IoT*, подключающиеся к сети. Это обеспечит основу для отслеживания и мониторинга устройств.

– Сегментация. Устройства *IoT*, которым необходимо напрямую подключаться к Интернету, должны быть сегментированы в свои собственные сети и иметь ограниченный доступ к корпоративной сети. Сегменты сети должны отслеживать аномальную активность, где могут быть предприняты действия в случае обнаружения проблемы.

– Шлюзы безопасности. Выступая в качестве посредника между устройствами *IoT* и сетью, шлюзы безопасности обладают большей вычислительной мощностью, памятью и возможностями, чем сами устройства *IoT*, что дает им возможность реализовывать такие функции, как брандмауэры,

чтобы гарантировать, что хакеры не смогут получить доступ к устройствам *IoT*, которые они подключают.

– Управление исправлениями/непрерывное обновление программного обеспечения. Крайне важно предоставить средства обновления устройств и программного обеспечения либо через сетевые подключения, либо с помощью автоматизации. Координированное раскрытие уязвимостей также важно для скорейшего обновления устройств. Рассмотрите также стратегии окончания срока службы.

Однако в настоящий момент главная проблема у *IoT* – его уязвимость к кибератакам. Причиной тому является ежегодное увеличение количества подключенных устройств, поэтому возрастают риски несанкционированного доступа в *IoT*-систему.

Причина кроется в большом количестве заводов без централизованного управления и реализации безопасности. Например, хакеры могут изменять параметры контура управления, вмешиваться в производственную логику, изменять состояние робота и многое другое. Группа исследователей решила продемонстрировать, какой ущерб на самом деле может нанести взломанный робот. Они обнаружили уязвимости в системе робота-манипулятора и смогли запрограммировать робота так, чтобы он наносил ущерб продуктам, которые он производил на миллионы долларов.

Киберпреступники не остановятся ни перед чем, даже перед взломом медицинского оборудования. Примером является атака программы-вымогателя *WannaCry* на Национальную службу здравоохранения в 2017 году, которая затронула компьютеры, томографы и операционное оборудование и поставила под угрозу множество жизней. Вот почему безопасность устройств *IoT* имеет решающее значение.

**Список использованных источников:**

1. “Информационная безопасность устройств *IoT* с использованием аппаратной поддержки” <https://habr.com/ru/post/534300/>
2. “Информационная безопасность интернета вещей (*IoT*)” <https://center2m.ru/informatsionnaya-bezopasnost-veschey>
3. “Что такое *IoT* и что о нем следует знать” <https://habr.com/ru/company/otus/blog/549550/>
4. “*IoT* security” *IoT Security: Its importance and how to improve it* | ALSO
5. “Hardware security in *IoT*” <https://embeddedcomputing.com/technology/security/hardware-security-in-the-iot>

УДК 621.396

## СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ РАДИОТОМОГРАФИИ ИОНОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ РЕТРАНСЛЯЦИИ СИГНАЛОВ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ НАНОСПУТНИКОМ-РЕТРАНСЛЯТОРОМ ФОРМАТА CUBSAT

Каплярчук Е.А., аспирант

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

Козлов С.В. – доктор технических наук

**Аннотация.** Показано, что с использованием малогабаритного спутника-ретранслятора сигналов глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС, GPS, «Галилео» и аппаратуры наземного пункта приема и отработки данных систем дистанционного зондирования Земли может быть создана пассивная многопозиционная радиолокационная система, обеспечивающая высокоточное определение координат спутника-ретранслятора и измерение полного электронного содержания на трассе «навигационный спутник – спутник-ретранслятор» импульсным методом по задержке огибающей ретранслированного навигационного сигнала и разности фаз навигационных сигналов на частотах L1 и L2. Приведена функциональная аппаратура ретрансляции и рассчитаны ее основные параметры. Показано, что основным преимуществом предлагаемого способа является упрощение аппаратуры спутника *CubSat* за счет замены бортового двухчастотного навигационного приемника и аппаратуры передачи данных на наземную приемную станцию на простой, имеющий меньшее энергопотребление и более высокую радиационную стойкость ретранслятор навигационных сигналов. Обосновано время когерентного накопления в станции приема данных дистанционного зондирования Земли.

**Ключевые слова.** Глобальные навигационные спутниковые системы, спутник-ретранслятор формата *CubSat*, навигационный сигнал, многопозиционная радиолокационная система, радиотомография, полное электронное содержание.

### Введение

Одной из важных в современных условиях является задача измерения и прогнозирования полного электронного содержания (ПЭС) в ионосфере [1]. Результаты решения этой задачи

используются для повышения точности навигационных определений с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), определения условий дальней ионосферной связи, прогнозирования опасных природных явлений и в широком спектре научных исследований. Состояние ионосферы описывается рядом параметров: полным электронным содержанием (ПЭС) в ионосфере, ионным составом, ионной и электронной температурами, скоростью движения частиц и др. При этом с практической точки зрения ключевым параметром является ПЭС в ионосфере, поскольку именно оно непосредственно влияет на распространение радиоволн. Поэтому важно изучать ионосферу и формировать новые, более совершенные модели динамики ионосферы [1-3].

На данные моменты имеется большой арсенал методов, средств и систем мониторинга ионосферы. К их числу следует отнести станции вертикального и наклонного зондирования ионосферы, радиозонды, средства радиозондирования ионосферы со специализированными искусственными спутниками Земли научного назначения и с использованием сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

В последние годы наиболее широко применяется метод трансionoсферного зондирования на основе приема сигналов ГНСС ГЛОНАСС/GPS двухчастотной навигационной аппаратурой потребителя. Его работа состоит в следующем [2, 3]. При прохождении через ионосферу радиосигналы, излучаемые на двух несущих частотах  $f_1 \approx 1,6$  ГГц и  $f_2 \approx 1,2$  ГГц с навигационного спутника (НС), испытывают различные временные задержки, а также изменения фаз. Измерение этих параметров в расположенном на Земле двухчастотном приемнике ГНСС позволяет непрерывно определять значение полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы вдоль радиотрассы «НС – наземный приемник» (от любого видимого НС) в любой момент  $t$ . В качестве аппаратуры может применяться любой двухчастотный приемник сигналов ГЛОНАСС/GPS, имеющий техническую возможность обработки сигналов двух частот (например, «Trimble GNSS», «NovaTel»). Недостатком этого метода является его «статичность», так как положение линии «наземный приемник – навигационный спутник» изменяется относительно медленно.

Полученные значения ПЭС – интегралы от электронного содержания на трассах распространения от между НС и набором наземных приемных пунктов используются в качестве исходных данных для радиотомографии ионосферы - определения трёхмерных распределений электронной концентрации ионосферы. Дополнительные данные для решения обратной задачи по реконструкции локальных значений ПЭС в ионосферном слое могут быть получены с помощью орбитальной группировки малых (мини) спутников в радиодиапазоне.

Наряду с высокоорбитальным методом получения данных для радиотомографии на основе ГНСС и наземного приемника для оценки используются методы низкоорбитальной радиотомографии с использованием искусственных спутников Земли типа «Космос», «Транзит», «FORMOSAT-3/COSMIC», излучающих сигналы на частотах 150 / 400 МГц. Суть данного подхода можно свести к следующему. На заданной орбите (относительно низкой) создается группировка малых искусственных спутников, каждый из которых включает двигатели ориентации ионно-плазменного типа и двухчастотный приемо-передатчик с номиналами частот 150 и 400 МГц. Кроме того, на каждом спутнике необходимо разместить многопроцессорный модуль для предварительной обработки исходных данных, и радиоканал для обмена данными между спутниками и орбитальной или наземной системой сопровождения. С помощью этих приемопередатчиков фазоразностным методом измеряется ПЭС на трассах между малыми спутниками. Это позволяет расширить данные для радиотомографии, ионосферы.

Одной из перспективных модификаций вышеописанного метода получения данных для радиотомографии является метод с размещением на спутнике двухчастотного навигационного приемника с передачей по каналам связи результатов измерений на наземную станцию приема данных (СПД) дистанционного зондирования Земли [4].

Недостатками данного решения являются:

- необходимость реализации дополнительных каналов связи с СПД с достаточно высокой пропускной способностью и энергопотреблением;
- высокие технические требования к двухчастотному приемнику, который должен обеспечить измерения информационных параметров при больших радиальных скоростях и ускорениях между ИС и CubSat, следовательно, достаточно большая его масса и энергопотребление, а также высокие требования к радиационной стойкости используемых компонентов.

Цель статьи – обоснование модифицированного способа получения исходных данных для радиотомографии ионосферы за счет формирования многопозиционной когерентной радиолокационной системы на базе ГНСС, наноспутника-ретранслятора и СПД ДЗЗ.

### **Содержание способа и структура предлагаемой технической системы**

Иллюстрация способа приведена на рисунке 1. Группировка спутников-ретрансляторов (СР) выводится на низкие (180...250 км) приближенно круговые орбиты. Минимальное число спутников-ретрансляторов составляет один (получение данных 5-6 раз в сутки). Общее число СР определяется требуемым темпом обновления данных для радиотомографии и может составлять до нескольких

десятков. При равномерном распределении спутников-ретрансляторов по долготе восходящего узла в зоне видимости земной приемной станции (ЗПС) информации ДЗЗ будет находиться, как правило, один спутник-ретранслятор.

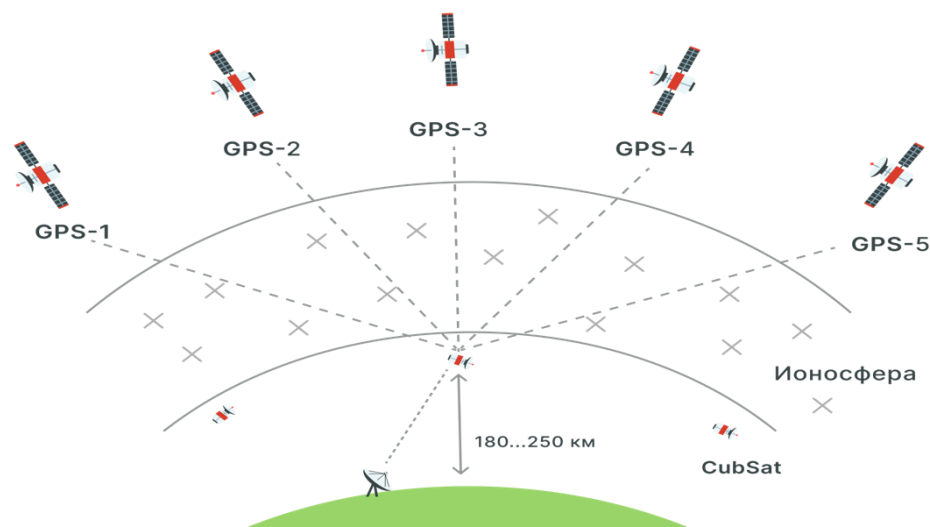


Рисунок 1 – Иллюстрация способа получения данных о ПЭС на основе ретрансляции сигналов ГНСС

Предлагаемое техническое решение заключается в приеме сигналов ГНСС спутником-ретранслятором, фильтрации сигналов диапазонов частот L1 и L2, усилении, переносе по частоте в выделенный для систем ДЗЗ диапазон частот и излучении через слабонаправленную антенну в направлении на Землю (нижнюю полусферу). Прием и обработка ретранслированных сигналов осуществляется станцией приема данных ДЗЗ [7] с соответствующей модернизированной обработкой.

Так как излучаемые навигационные сигналы являются когерентными с известными параметрами, включая моменты излучения и координаты навигационных спутников, то предлагаемая совокупность технических средств образует многопозиционную радиолокационную систему (МпРЛСи) с большим (десятки) числом независимо функционирующих источников когерентных зондирующих сигналов (навигационные спутники), единственной радиолокационной целью – спутником-ретранслятором и одной приемной позицией – земной станцией приема информации ДЗЗ. Данную МпРЛСи можно представить в виде совокупности бистатических радиолокационных средств, образованных каждым навигационным спутником, спутником-ретранслятором и земной станцией приема, с подвижной, ввиду взаимного пространственного перемещения НС, СР и земной станции приема ДЗЗ, базой. Ввиду высокой когерентности навигационных сигналов каждого отдельного навигационного спутника в это систем могут быть реализованы методы синтеза апертуры или, что аналогично, способы обработки при длительном когерентном накоплении [5]. При этом координаты навигационных спутников и земной станции приема известны с высокой точностью. Излучаемые навигационные сигналы содержат неизвестное навигационное сообщение. Однако, оно может быть легко исключено из принимаемого сигнала за счет приема и дешифрации прямого навигационного сигнала на земной станции приема с использованием стандартного навигационного приемника.

Отметим, что ввиду линейности всех операций при ретрансляции навигационного сигнала из принимаемого земной станцией сигнала можно извлечь ту же самую информацию, что и при приеме прямого навигационного сигнала в двухчастотном приемнике: время задержки и разность фаз сигналов на двух когерентных частотах L1 и L2. При это для сохранения когерентности перенос частот L1 и L2 необходимо проводить с использованием одного высокостабильного гетеродина. Кроме того, по измерениям доплеровских сдвигов частоты навигационных сигналов (которые не зависят от ПЭС) от множества видимых навигационных спутников возникает возможность высокоточного определения координат и параметров движения спутника-ретранслятора. При известных пространственных положениях навигационного спутника, спутника-ретранслятора и станции приема данных из результатов измерений могут быть вычтены дополнительные составляющие, обусловленные распространением ретранслированного сигнала на трассе «спутник-ретранслятор – станция приема» и определены такие же параметры, как и при размещении двухчастотного навигационного приемника на спутнике-ретрансляторе.

Оценки показывают, что основные пространственные характеристики способа следующие:

- дальность прямой видимости между спутником-ретранслятором и земной приемной станцией 1500...1800 км;
- время нахождения спутника-ретранслятора в зоне действия земной приемной станции 380...460 с;
- число направлений определения ПЭС в ионосфере (число направлений «прокола» ионосферы) при фиксированном положении спутника-ретранслятора при темпе получения ПЭС 1 секунда за время пролета спутника-ретранслятора в зоне прямой видимости – порядка 6000.

Основные преимущества предлагаемого способа определяются:

- существенным упрощением радиоэлектронной аппаратуры спутника-ретранслятора формата CubSat за счет отказа от размещения на нем прецизионного двухчастотного многоканального навигационного приемника с высокой радиационной стойкостью и большим энергопотреблением;
- отказом от использования аппаратуры связи с достаточно высокой пропускной способностью;
- возможность измерения ПЭС путем обработки принятой реализации одновременно по большому (20...25) числу навигационных спутников;
- возможностью высокоточного оценивания координат спутника-ретранслятора доплеровским методом, на который не оказывает влияние состояние ионосферы;
- возможностью использования доработанных земных станций приема информации ДЗЗ.

### Типы используемых навигационных систем и параметры их сигналов

Предлагаемый способ предполагает реализацию накопления ретранслированных сигналов при его оптимальной внутривидеопериодной обработке (сжатии в согласованном фильтре) и междувидеопериодном когерентном накоплении. Кроме того, для точного определения ПЭС необходима реализация фазоразностного метода. Поэтому для ретрансляции подходят:

- сигналы всех спутников ГНСС «Глонасс»;
- сигналы L1 C/A и L2C ГНСС GPS начиная со спутников модификации IIR-M (24 спутника из 32 в орбитальной группировке);
- сигналы L1F и E5A ГНСС «Галилео».

Перечень ретранслируемых сигналов и их параметров приведен в таблице 1. Ширина спектра указана по первым нулям главного лепестка спектра.

Таблица 1 – Параметры ретранслируемых сигналов [8]

Тип ГНСС	Число НС в группировке	Рабочая частота / ширина спектра, МГц		Вид разделения	Вид сигнала
		L1	L2		
Глонасс	25	$1602+k \cdot 0,562$ 5, $k = -7 \dots 6$	$1246+k \cdot 0,437$ 5, $k = -7 \dots 6$	Частотное	BPSK
GPS	32	1575,42 / 2,046	1226,6 / 2,046	Кодовое	BPSK
Галилео	22	1575,42 / 4,092	1176,45 / 4,092	Кодовое	BOC(1,1) ; BPSK

Особенности используемых типов ГНСС и их сигналов следующие. По каждому видимому спутнику ГНСС «Глонасс» может быть реализовано сочетание фазоразностного и импульсного (для устранения неоднозначности) методов определения координат. Эти же методы могут быть реализованы по сигналам спутников ГНСС GPS начиная с модификации IIR-M. При этом, так как период навигационного сигнала с открытым кодом L2C составляет 20 мс, то измерения будут проводиться со сниженным темпом. Сигналы спутников модификаций до IIR-M могут быть использованы только для импульсного метода определения ПЭС и определения координат спутника-ретранслятора. Для ГНСС «Галилео» для каждого спутника могут быть использованы когерентные сигналы L1F (диапазон частот E1) и E5A с различными видами модуляции.

Отметим, что минимальный состав системы и, соответственно, наиболее простая структура ретранслятора достигается при использовании сигналов только какой-либо одной ГНСС: «Глонасс», GPS или «Галилео». Максимальные возможности могут быть достигнуты при ретрансляции сигналов всех ГНСС. Исходя из вида разделения (кодированное или частотное) можно сформировать четыре варианта ретрансляции сигналов. Они приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Возможный состав системы (на основе данных [8,9])

Вариант состава ретранслируемых сигналов	Диапазон частот ретранслируемых сигналов, МГц	Ширина полосы ретранслируемых частот, МГц	Общая полоса частот, занимаемая спектрами ретранслированных сигналов, МГц
Только «Глонасс»	1597,5...1605,9 1242,4...1249,9	8,5 7,5	364
«Глонасс» + GPS	1597,5...1605,9 1575,42 ±1,023 1242,4...1249,9 1227,6 ±1,046	8,5 2,0 7,5 2,0	380
GPS + «Галилео»	1575,42 ±2,046 1227,6 ±2,046 1176,6 ±2,046	4,0 4,0 4,0	404
«Глонасс» + GPS + «Галилео»	1597,5...1605,9 1575,42 ±2,046 1242,4...1249,9 1227,6 ±1,046 1176,45 ±2,046	8,5 4,0 7,5 2,0 4,0	426

Анализ приведенных в таблицах 1 и 2 исходных данных показывает, что наилучшим вариантом является организация ретрансляции сигналов ГНСС «Глонасс» и GPS. Общее число навигационных ИСЗ, по которым может быть реализован фазоразностный метод определения ПЭС составит в данном случае 49. При средней доли видимых навигационных спутников около 1/3, число одновременно ретранслируемых сигналов составит 15...17.

Так как задача определения ПЭС в ионосфере является составной частью более общей задачи дистанционного зондирования Земли, несущие частоты ретранслированного сигнала целесообразно располагать в выделенных диапазонах частот передачи информации данных ДЗЗ. Основные диапазоны частот, применяемые в радиопереносе информации спутников ДЗЗ и метеосъемки составляют 2200 - 2290 МГц, 8025 - 8400 МГц и 25500 – 27000 МГц [8]. Использование диапазона 2200 - 2290 не удовлетворяет требованиям по полосе ретранслированного сигнала, а в полосе частот 25,5...27,0 ГГц проблемным является вопрос реализации стабильного гетеродина и усилителей СВЧ. Наиболее подходящим, таким образом, является диапазон 8025 – 8400 МГц с общей полосой 375 МГц.

Выделенная полоса частот несколько меньше требуемой для одновременной ретрансляции сигналов ГНСС «Глонасс» и GPS.

Возможными техническими решениями в данном случае являются:

- использование двух гетеродинов, когерентные сигналы которых формируются от общего задающего генератора, с переносом частот ретранслированных сигналов в общую полосу частот 8025...8400 МГц;

- попеременную ретрансляцию сигналов «Глонасс» (полоса 364 МГц) и GPS (полоса 350 МГц) с использованием перестраиваемого гетеродина.

### Структура аппаратуры ретрансляции и расчет ее требуемых характеристик

Структурно-функциональная схема аппаратуры ретрансляции для наиболее простого случая ретрансляции сигналов только ГНСС «Глонасс» приведена на рисунке 2.

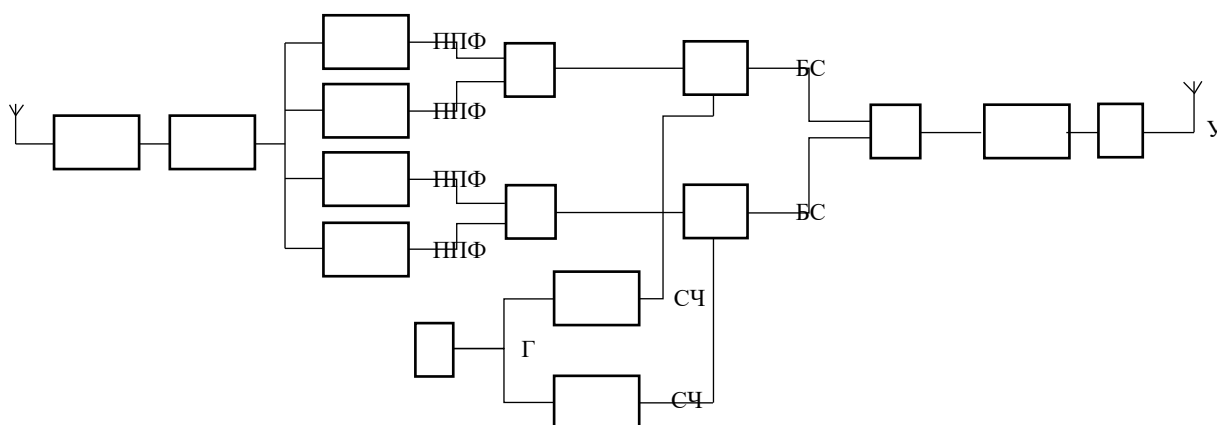


Рисунок 2 – Структурно-функциональная схема аппаратуры

С выхода микрополосковой приемной антенны на частотный диапазон 1,2...1,6 ГГц принятые навигационные сигналы поступают на малошумящий усилитель (МШУ) и далее на делитель на 4. С выходов делителя сигналы поступают на полосно-пропускающие фильтры с центральными частотами и полосами пропускания, в соответствии с таблицей 2 (строка 2– «Глонасс» + GPS). Сигналы с выхода фильтров объединяются с использованием сумматоров и поступают на балансные смесители. На вторые входы балансных смесителей поступают сигналы гетеродинов, формируемые из сигналов высокостабильного опорного генератора с использованием синтезаторов частоты с фиксированными целочисленными коэффициентами деления частот опорного сигнала и генератора, управляемого напряжением. Сигнал с выхода смесителя усиливается в цепочке выходных усилителей и излучается через передающую антенну диапазона 8,025...8,4 ГГц.

Основными параметрами аппаратуры являются эффективный (с учетом всех потерь в тракте) коэффициент ретрансляции и мощность выходного усилителя. Определим указанные параметры с учетом предполагаемых параметров станции приема данных. Примем следующие исходные данные:

- мощность излучаемого навигационного сигнала  $P_{НС} = 50$  Вт, коэффициент усиления передающей антенны навигационного спутника  $G_{НС} = 50$ ;
- дальность между НС и спутником-ретранслятором  $R_1 = 25000$  км;
- дальность между спутником-ретранслятором и станцией приема данных ДЗЗ  $R_2 = 1500$  км;
- спектральная плотность мощности внутренних шумов аппаратуры ретрансляции и приемного тракта станции приема данных  $N_0 = 10^{-20}$  Вт/Гц;
- коэффициенты усиления приемной и передающей антенн аппаратуры ретрансляции с учетом потерь в тракте  $G_r = G_{tr} = 1$ ;
- коэффициент усиления приемной антенны станции приема данных ДЗЗ  $G_{СПД} = 5000$ ;
- коэффициент потерь полезного сигнала в приемном тракте станции приема данных дистанционного зондирования Земли  $k_{СПД} = 0,25$ .

Отношение сигнал/шум (ОСШ) на выходе согласованного фильтра составит

$$\gamma = \frac{P_{НС} G_{НС} G_r G_{tr} G_{СПД} \lambda_{НС}^2 \lambda_p^2 k_{СПД} T_0}{(4\pi)^4 R_1^2 R_2^2 N_0} K_p, \quad (1)$$

где  $\lambda_{НС} \approx 0,19$  и или  $\lambda_{НС} \approx 0,24$  м – длина волны для частот L1 и L2;  $\lambda_p = 0,037$  м – длина волны ретранслированного сигнала;  $T_0 = 1$  мс – длительность навигационного сигнала.

Основной особенностью рассматриваемого ретранслятора является существенное усиление собственных шумов, так как мощность принимаемого навигационного сигнала, как и для типового навигационного приемника, на 15...20 дБ [5] меньше мощности шума. Поэтому коэффициент ретрансляции должен быть ограничен мощностью выходного шума, которая составит

$$P_{ш} = N_0 \Delta f_p K_p, \quad (2)$$

где  $\Delta f_p$  – полоса пропускания ретранслятора.

Зависимости ОСШ и мощности шума на выходе ретранслятора от  $K_p$  приведены на рисунке 3.

Из рисунка 3 следует, что при  $K_p > 125$  дБ мощность шума на выходе ретранслятора будет превышать 1 Вт. При этом ОСШ на выходе согласованного фильтра составит всего  $\gamma = 2$ , при котором точные измерения времени задержки сигнала импульсным методом и разности фаз сигналов на частотах L1 и L2 невозможны. Дальнейшее увеличение коэффициента ретрансляции невозможно ввиду ограниченной мощности выходного усилителя и ограничений по энергопитанию.

Увеличение ОСШ и обеспечение требуемой точности измерения параметров принимаемого сигнала и ПЭС возможно путем реализации когерентного накопления (КН) принимаемого сигнала при его обработке в аппаратуре СПД. Оценим требуемое время  $T_{КН}$  КН в станции приема ДЗЗ.

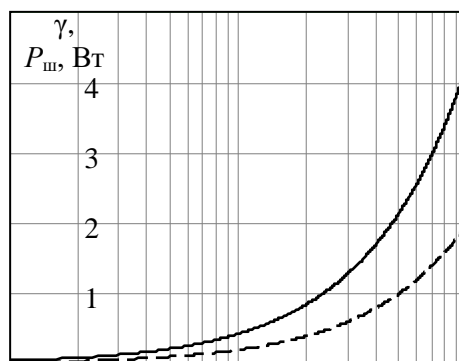


Рисунок 3 – Зависимость ОСШ (сплошная кривая) и мощности шума (пунктирная кривая) на выходе ретранслятора от коэффициента ретрансляции

ОСШ на выходе когерентного накопителя и средние квадратические ошибки оценки дальности импульсным методом (по времени задержки огибающей) и разности фаз когерентных сигналов составят

$$\rho(K_p) = \gamma(K_p) \frac{T_{\text{кн}}}{T_0}; \quad \sigma_r(K_p) = \frac{\Delta r}{2\pi\sqrt{\rho(K_p)}}; \quad \sigma_{\Delta\varphi}(K_p) = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\rho(K_p)}}. \quad (3)$$

Зависимости  $\sigma_r$  и  $\sigma_{\Delta\varphi}$  от  $K_p$  для  $T_{\text{кн}}=0,1; 0,5$  и  $1,0$  с приведены на рисунке 4.

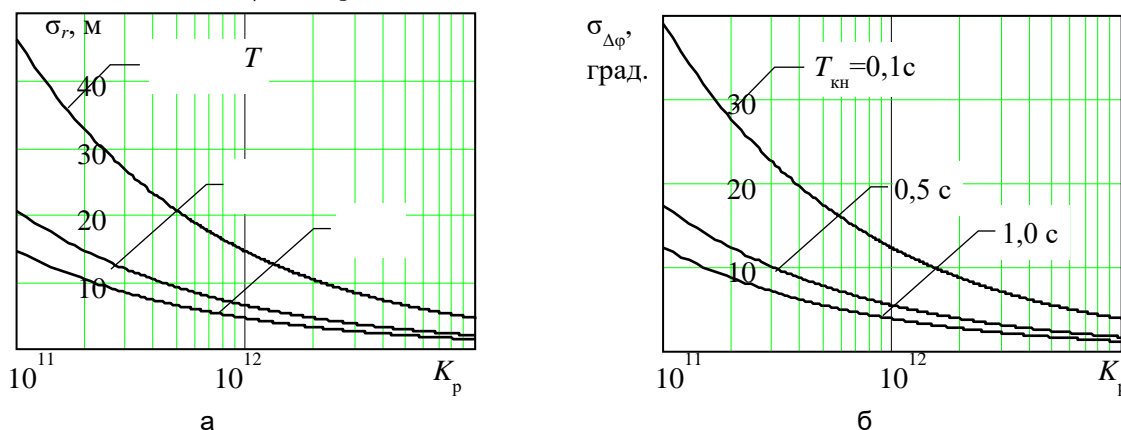


Рисунок 4 – Зависимости СКО  $\sigma_r$  и  $\sigma_{\Delta\varphi}$  от коэффициента ретрансляции

Требуемая для измерения ПЭС среднеквадратическая ошибка разности фаз когерентных сигналов на частотах L1 и L2 должна составлять не более  $5^\circ$  при точности измерения дальности (ионосферной задержки) порядка единиц метров. Из зависимостей на рисунке 4 следует, что этого можно добиться при времени когерентного накопления порядка 1,0 с и при коэффициенте ретрансляции 123...125 дБ. Мощность шумов на выходе ретрансляторе составит при этом порядка 0,5 Вт.

### Заключение

Предлагаемый способ получения исходных данных для радиотомографии ионосферы может быть реализован в многопозиционной когерентной радиолокационной системе, образованной за счет ретрансляции, с переносом частоты, сигналов ГНСС «Глонасс» и GPS аппаратурой спутника-ретранслятора и приема ретранслированных сигналов на СПД ДЗЗ. Достижение требуемой точности определения информационных параметров обеспечивается при большом, порядка 1 с, времени КН, при котором нужно учитывать высшие производные дальности между НС, СР и СПД.

### Список использованных источников:

1. Ступницкий, М. М.. Инфокоммуникационная инфраструктура цифровой экономики: задачи отраслевого института / М.М. Ступницкий, Н.И. Харитонов, Е.Е. Девяткин // Электросвязь, № 4, 2018. – С. 49-54.



2. Перевалова Н. П. Исследование ионосферных возмущений методом трансionoсферного GPS-зондирования. Дис. докт. физ.-мат. наук. – Иркутск: ФГБУН ИСЗФ СО РАН, 2014. – 286 с.
3. Афраймович Э. Л., Перевалова Н. П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. – Иркутск: ГУ НЦ ВСНЦ СО РАН, 2006. – 480 с.
4. Белоконов, И. В. Исследование возможностей пространственной реконструкции параметров электронной компоненты ионосферы с использованием навигационных спутников / О. В. Филонин, И. В. Белоконов. // Известия Самарского научного центра РАН, № 4, т. 16, 2014, – С. 47-53.
5. Алгоритмы длительного когерентного накопления отраженного сигнала при ненулевых высших производных дальности до радиолокационной цели в спектральной области / Козлов С. В., Ле В. К. // Доклады БГУИР, № 5, 2021. – С. 35-44.
6. Интегрированный приемник GALILEO/GPS/GLONASS/SBAS для создания аппаратуры «SAFETY of LIFE». Режим доступа: <http://navis-ukraine.com.ua/ru/publications/37-publication-galileo.html>. Дата доступа 12.04.2022.
7. Гершензон В. Е., Кучейко А. А. Стандартизация оборудования станций приема данных дистанционного зондирования Земли // Пространственные данные. 2006. № 1. С. 33–43.
8. Глонасс. Принципы построения и функционирования ГЛОНАСС Издание четвертое перераб. и доп. Под редакцией А. И. Перова, В. К Харисова – Издательство «Радиотехника», Москва, 2010. – С. 70-94.
9. Современные ГНСС | Прикладной потребительский центр ГЛОНАСС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.glonass-iac.ru> (дата обращения: 20.04.2022).

UDC 621.396

## METHOD FOR OBTAINING DATA FOR IONOSPHERIC RADIOTOMOGRAPHY BASED ON RELAYING SIGNALS OF GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS BY CUBSAT FORMAT NANOSATELLITE-REPEATER

*Kapliarchuk E.N.<sup>1</sup>*

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

*Kozlov S.V. - Doctor of Technical Sciences*

**Annotation.** It is shown that a passive multi-position radar system can be created using a small-sized satellite repeater of signals from global navigation satellite systems GLONASS, GPS, Galileo and equipment of a ground point for receiving and processing data from remote sensing systems of the Earth, providing high-precision determination of the coordinates of the satellite repeater and measurement of the full electronic content on the route "navigation satellite – satellite repeater" by the pulse method of delay of the envelope of the relayed navigation signal and the phase difference of navigation signals at frequencies L1 and L2. The functional retransmission equipment is given and its main parameters are calculated. It is shown that the main advantage of the proposed method is the simplification of the equipment of the CubSat satellite by replacing the on-board dual-frequency navigation receiver and data transmission equipment to the ground receiving station with a simple repeater of navigation signals with lower power consumption and higher radiation resistance. The requirements for algorithms for processing signals received by a ground station are given..

**Keywords.** Global navigation satellite systems, Cubesat format repeater satellite, navigation signal, multi-position radar system, radiotomography, full electronic content.

УДК 621.396

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕТРАНСЛИРОВАННОГО НАВИГАЦИОННОГО СИГНАЛА НАНОСПУТНИКОМ- РЕТРАНСЛЯТОРОМ ФОРМАТА CUBSAT

Каплярчук Е.А., аспирант  
Пряничников В.В., студент группы 841301

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

*Козлов С.В. – доктор технических наук*

**Аннотация.** В интересах обоснования способов обработки сигналов при определении полного электронного содержания (ПЭС) в ионосфере с использованием наноспутника-ретранслятора разработана математическая модель ретранслированных с переносом несущей частоты сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS, принимаемых на наземной станции приема данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Особенностью модели является учет радиальных скоростей, ускорений и производных ускорений на трассах «навигационный спутник – спутник ретранслятор» и «спутник-ретранслятор – станция приема данных» на интервале времени до 3-х секунд, что необходимо для обоснования способов длительного когерентного накопления принимаемого сигнала и измерения его суммарного времени задержки и сдвига частоты на несущих частотах L1 и L2, а также разности фаз принимаемых сигналов на этих частотах. Показано, что на основе обработки принимаемого сигнала с реализацией методов радиовидения потенциально возможно высокоточное определение координат спутника-ретранслятора без влияния ионосферы с использованием разностно-доплеровского метода и определение ПЭС фазоразностным методом с устранением неоднозначности на основе оценивания ионосферной составляющей ошибки дальности при измерении суммарного времени задержки по огибающей принимаемого сигнала.

**Ключевые слова.** Глобальные навигационные спутниковые системы, спутник-ретранслятор формата SubSat, навигационный сигнал, многопозиционная радиолокационная система, радиотомография, полное электронное содержание.

### Введение

В [1] предложен способ получения данных для радиотомографии ионосферы на основе ретрансляции сигналов ГНСС спутником-ретранслятором (СР) формата SubSat на станцию приема данных (СПД) ДЗЗ. Показано, что для достижения высокой точности оценки ПЭС необходимы способы обработки, обеспечивающие реализацию когерентного накопления (КН) принимаемого сигнала в течении времени порядка единиц секунд. Ввиду высокой скорости движения наноспутника-ретранслятора как относительно навигационного спутника (НС), так и относительно СПД при большом времени накопления необходимо учитывать явления миграции дальности (МД), когда полезный сигнал за время наблюдения перемещается между элементами разрешения по дальности и аналогичное явление миграции частоты, когда доплеровский сдвиг частоты в процессе наблюдения изменяется в пределах ряда элементов разрешения по частоте. Это требует разработки кинематической модели взаимного перемещения элементов пассивной радиолокационной системы.

Кроме того, такие параметры как время задержки и фаза сигнала на каждой из несущих частот являются функцией ПЭС на трассах распространения. Указанные факторы определяют необходимость математической модели принимаемого на СПД сигнала, полученного ретрансляцией навигационного сигнала с его переносом по частоте. Это и является целью статьи.

### Кинематическая модель взаимного перемещения навигационного спутника, наноспутника-ретранслятора и станции приема данных

При обосновании способов обработки длительного накопления принимаемых сигналов наиболее важным является вопрос аппроксимации суммарной дальности  $r(t) = r_1(t) + r_2(t)$  между НС и СР ( $r_1$ ) и между СР и СПД ( $r_2$ ) и каждой из ее составляющих. Для относительно коротких (единицы секунд) временных интервалов для аппроксимации составляющих дальности может быть принята модель вида

$$r_{1(2)}(t) = r_{01(2)} + V_{0r1(2)}(t - t_0) + \frac{1}{2} a_{r1(2)}(t - t_0)^2 + \frac{1}{6} a'_{r1(2)}(t - t_0)^3 + \frac{1}{24} a''_{r1(2)}(t - t_0)^4 + \dots, \quad (1)$$

где  $r_{01(2)} = R_{1(2)}(t_0)$  - начальная дальность;  $V_{0r1(2)} = \left. \frac{d}{dr} R_{1(2)}(t) \right|_{t=t_0}$  - начальная

радиальная скорость;  $a_{r1(2)} = \left. \frac{d^2}{dr^2} R_{1(2)}(t) \right|_{t=t_0}$  - начальное радиальное ускорение;

$a_{r1(2)}^{(n)} = \left. \frac{d^{n-2}}{dr^{n-2}} R_{1(2)}(t) \right|_{t=t_0}$  -  $n$ -я производная радиального ускорения;  $R_{1(2)}(t)$  - закон

изменения дальности между соответствующими точками.

При построении законов  $R_{1(2)}(t)$  рассматривалось движение НС, СР и СПД в неподвижной геоцентрической системе координат. СР имел круговую орбиту с углом наклона  $30^\circ$ , высотой 200 км при орбитальной скорости 7785 м/с и периодом вращения 5303 с. СПД располагалась на уровне моря в точке географической широтой  $53,9^\circ$  с.ш. и двигалась в соответствии с вращением Земли. Характеристики одного из НС соответствовали ГНСС GPS. Координаты НС, СР и СПД рассчитывались с использованием типовых алгоритмов [2,3].

На рисунке 1 приведен типовой закона изменения дальности между СР и СПД и угла между радиусом-вектором на центр Земли и направлением на СР при наблюдении со СПД. СР будет видимым, если этот угол превышает  $90^\circ$  (пунктирная линия на рисунке 1б). Расчеты проводились при угле наклона плоскости орбиты СР  $60^\circ$ , при которой суммарное время наблюдения близко к максимальному.

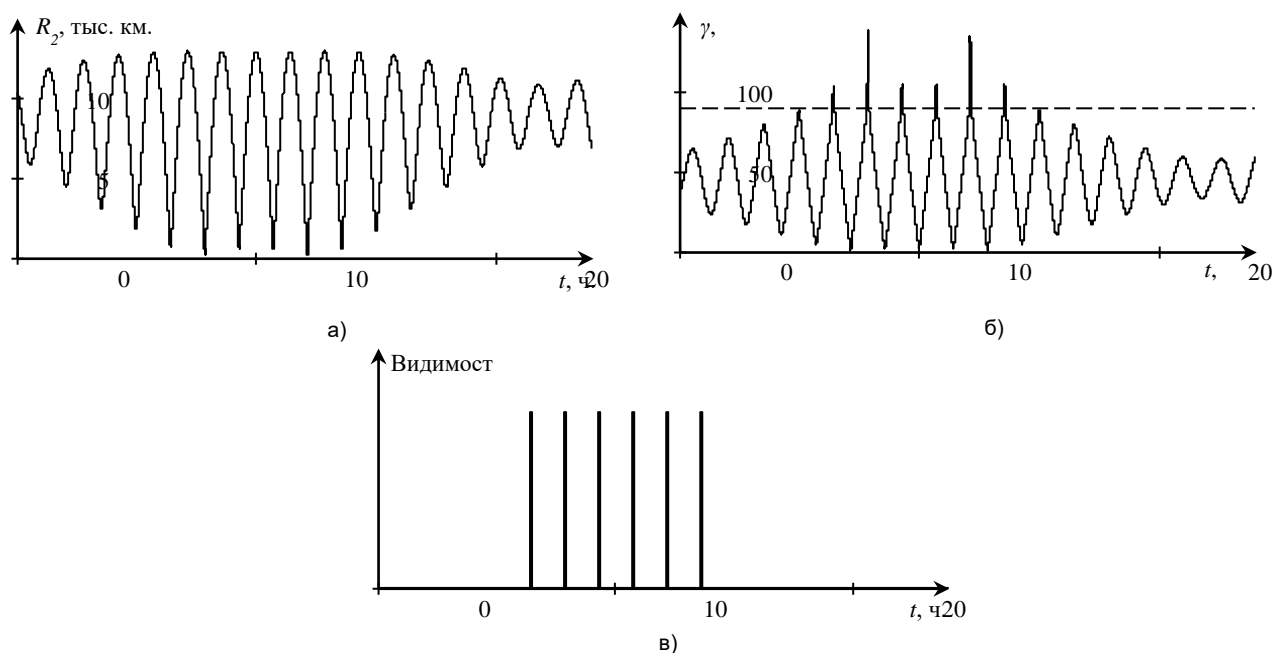


Рисунок 1 – Закон изменения дальности между СР и СПД (а), угол между направлением на центр Земли и направлением на СР при наблюдении с СПД (б) и интервалы видимости СР с СПД (в)

Как следует из рисунка 1, прямая видимость между СР и СПД будет иметь место 5-6 раз за сутки при средней длительности каждого интервала времени наблюдения 300...500 с.

На рисунке 2 для одного из интервалов видимости ( $t_0=7,754$  часа, графики на интервале времени 500 с приведены для времени  $t-t_0$ ) приведены значения начальной радиальной скорости, радиального ускорения и производной радиального ускорения между одним из видимых НС и СР, а также между СР и СПД.

Как следует из приведенных на рисунке 2 зависимостей, модули радиальных скоростей могут составлять единицы км/с, модуль радиального ускорения при взаимном перемещении НС и СР может составлять до  $10 \text{ м/с}^2$ , а для взаимного перемещения СР и СПД – до  $250 \text{ м/с}^2$ . Модули производной радиального ускорения существенно меньше и близки к нулю для взаимного перемещения НС и СР и единицы  $\text{м/с}^3$  для взаимного перемещения СР и СПД.

Отметим, что при указанных модулях радиальной скорости и радиального ускорения очень велики и явления миграции дальности и частоты весьма существенны для обработки.

На рисунке 3 приведены зависимости ошибки  $\delta r_2(t) = R_2(t) - r_2(t)$  аппроксимации дальности от текущего времени при значении  $t_0$ , когда скорость изменения производной радиального ускорения максимальна. Для нахождения коэффициентов полинома (1) использовался метод наименьших квадратов. Как следует из зависимости на рисунке 3, максимальная ошибка при времени наблюдения 1 с не превышает 2 мм. Полученное значение менее 10% от длины волны ретранслированного сигнала и, следовательно, ошибка аппроксимации дальности не окажет влияние на процесс когерентного накопления ретранслированного сигнала. При дальнейшем увеличении времени накопления ошибка будет возрастать. Отметим, что результаты аппроксимации на рисунке 3 относятся к случаю максимальной скорости изменения третьей производной дальности между СР и СПД. Для других значений времени ошибка аппроксимации окажется меньше, а допустимое время наблюдения - больше. Ошибка аппроксимации дальности между НС и СР полиномом третьей степени не превышает долей мм.

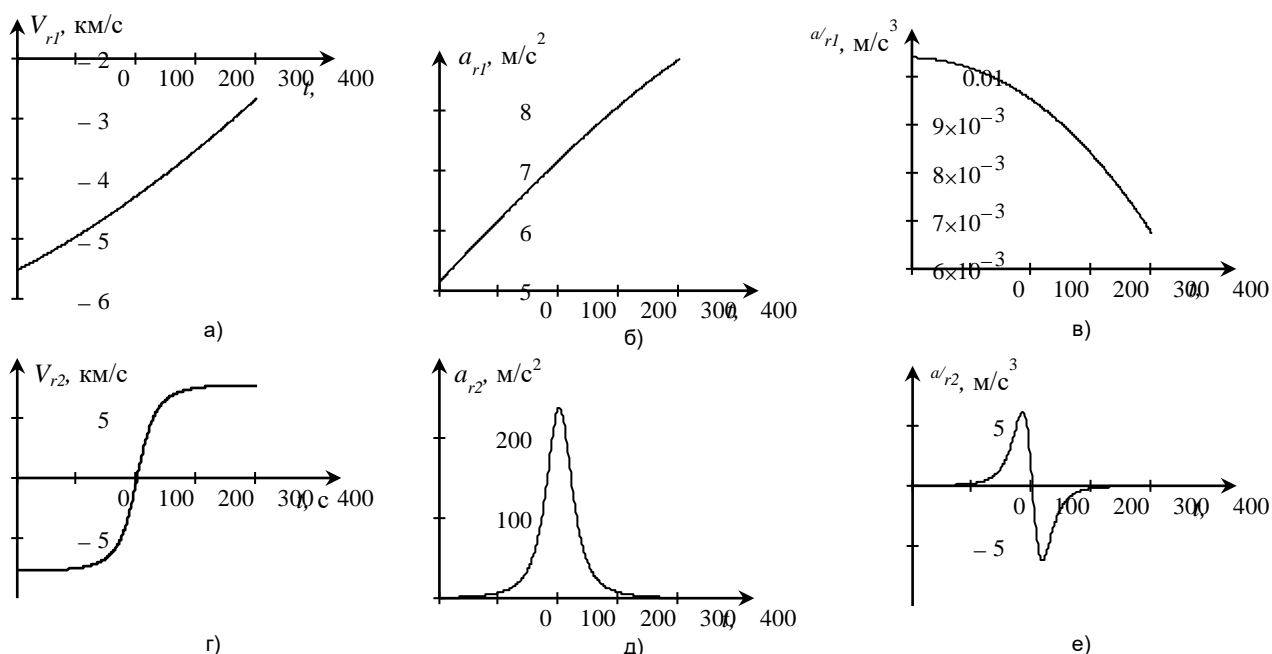


Рисунок 2 – Законы изменения радиальных скорости (а, г), ускорения (б, д) и производной ускорения (в, е)

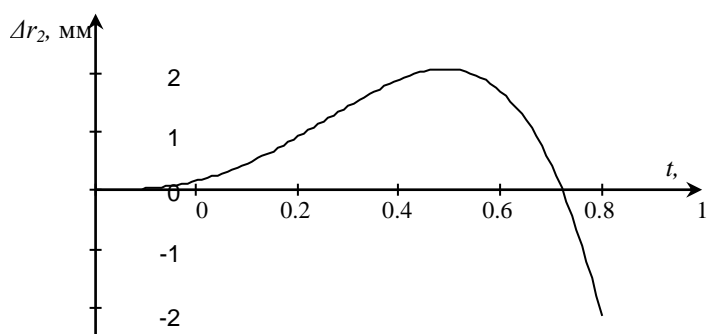


Рисунок 3 – Ошибка аппроксимации дальности между Ср и СПД полиномом третьей степени

Таким образом, разработанная кинематическая модель показывает, что для аппроксимации дальности в рассматриваемой бистатической радиолокационной системе при времени наблюдения (накопления) до 1...3 с необходимо использовать полиномы третьей степени. Параметры указанных полиномов представляют собой радиальные скорости, ускорения и производные ускорений и используются для компенсации миграций дальности и частоты в процессе когерентной обработки принимаемого сигнала.

### Формализация математической модели принимаемого сигнала

Запишем модель ретранслированного аппаратурой СР навигационного сигнала, принимаемого на СПД. Для сокращения записи выражений опустим индекс НС и другие особенности, связанные с типом ГНСС, к которой относится НС. Полагаем, что НС излучает когерентные сигналы на двух частотах  $f_1$  и  $f_2$ . При записи будем учитывать только модуляцию, обусловленную открытым дальномерным кодом. Влияние модуляции, обусловленной закрытым дальномерным кодом, учтем в энергетических характеристиках сигнала.

Для излучаемого навигационного сигнала запишем [4,5]

$$\dot{U}_{1(2)}(t) = \dot{A}_{1(2)} M(t) W(t) D(t) e^{j2\pi f_{1(2)} t}, \quad (2)$$

где  $\dot{A}_{1(2)}$  - амплитуда излучаемого сигнала, учитывающая мощность излучения, коэффициент усиления антенны навигационного спутника на соответствующих частотах, нормированную диаграмму направленности антенны НС по напряжению в заданном направлении;

$W(t) = (-1; 1)$ ,  $D(t) = (-1; 1)$  - навигационное сообщение и дальномерный;  $M(t)$  - вспомогательное колебание типа меандр.

Для всех навигационных систем  $D(t - \ell T_r) = D(t)$ , где  $T_r = T_0$  - длительность одного периода навигационного сигнала.

Сигнал от НС, принимаемый на СР, испытывает следующие изменения:

- ослабление по амплитуде в соответствии с дальностью между НС и СР с множителем ослабления

$$B_{1(2)} = \frac{c}{4\pi f_{1(2)} r_1(0)} \sqrt{G_r} \dot{F}_r(\alpha, f_{1(2)}), \quad (3)$$

где  $G_r$  - коэффициент усиления приемной антенны СР;  $\dot{F}_r(\alpha, f_{1(2)})$  - нормированная диаграмма направленности приемной антенны СР в направлении  $\alpha$  на НС на частотах  $f_{1(2)}$ ;

- комплексная огибающая сигнала приобретает дополнительную задержку

$$\tau_{z1(2)}(t) = \frac{r_1(t)}{c} + 40,3 \frac{TEC}{f_{1(2)}^2}, \quad (4)$$

где  $TEC = \int_0^{r_{\text{ион}}} N_e(r) dr$  - ПЭС на трассе распространения от НС до НР;  $r_{\text{ион}}$  - толщина слоя

ионосферы на трассе распространения между НС и НР;  $N_e(r)$  - зависимость электронной концентрации в ионосфере от пути на трассе распространения между НС и НР;

- сдвиг фазы принимаемого сигнала относительно излученного будет определяться выражением

$$\begin{aligned} \varphi_{1(2)}(t) &= 2\pi \left( \frac{r_1(t) - r_{\text{ион}}}{c} f_{1(2)} + \int_0^{r_{\text{ион}}} \frac{f_{1(2)}}{c} \left( 1 - 40,3 \frac{N_e(r)}{f_{1(2)}^2} \right) dr \right) = \\ &= 2\pi \left( \frac{f_{1(2)}}{c} r_1(t) - 40,3 \frac{TEC}{f_{1(2)}^2} \right). \end{aligned} \quad (5)$$

Сигнал на выходе приемной антенны СР запишется в виде

$$\dot{Y}_{1(2)}(t) = B_{1(2)} \dot{U}_{1(2)}(t - \tau_{z1(2)}(t)) e^{j\varphi_{1(2)}(t)}. \quad (6)$$

Как следует из (5), принимаемый сигнал будет иметь переменную на интервале наблюдения временную задержку  $\tau_{z1(2)}(t)$  и нелинейное изменение фазы  $\varphi_{1(2)}(t)$ . При этом непостоянство указанных параметров определяется исключительно динамикой взаимного перемещения НС и СР.

Разность фаз принимаемых сигналов на частотах  $f_1$  и  $f_2$  будет изменяться по закону

$$\Delta\varphi(t) = \varphi_2(t) - \varphi_1(t) = 2\pi \left( r_1(t) \frac{f_2 - f_1}{c} - 40,3 \cdot TEC \cdot \left( \frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2} \right) \right). \quad (7)$$

При записи ретранслированного сигнала примем следующие допущения [1]:

- аппаратные задержки в ретрансляторе на частотах  $f_{1(2)}$  известны и составляют

$\tau_{a1(2)}$ ;

- частота гетеродина составляет  $f_r$  и выбирается исходя из попадания всех ретранслируемых сигналов в полосу 8025...8400 МГц; исходя из приведенных в [1] данных при ретрансляции сигналов только ГНСС «Глонасс» возможные значения  $f_r = 6783...6794$  МГц;

- при одновременной ретрансляции сигналов различных ГНСС («Глонасс» + GPS; «Глонасс» + GPS + «Галилео»), когда частоты ретранслированных сигналов не попадают в заданный диапазон 8025...8400 МГц перенос сигналов с выходов полосно-пропускающих фильтров аппаратуры ретрансляции [1] будет производиться сигналами когерентных гетеродинов с разными частотами  $f_{r1}, f_{r2}$  с их последующим суммированием; этот же метод

может использоваться для сокращения общей полосы частот ретранслированного сигнала как для одной, так и для нескольких ГНСС, что приводит к упрощению приемной аппаратуры и обработки принимаемых сигналов в целом.

Пусть для ретрансляции сигналов ГНСС «Глонасс» и GPS на частотах L1 и L2 используются частоты гетеродинов  $f_{Г1}$  и  $f_{Г2}$ . Исходя из [1] возможные значения  $f_{Г1} = 6451...6794$  МГц и  $f_{Г2} = 6798...7150$  МГц. Сигнал от всех НС в сочетании с аддитивным гауссовским внутренним шумом приемника аппаратуры ретрансляции на выходе может быть записан в виде

$$\begin{aligned} \dot{Y}_{\Sigma}(t) &= G_{tr} K_p \left( \dot{Y}_{шп}(t) + e^{j2\pi f_{Г1} t} \sum_k \dot{Y}_{1k}(t - \tau_{a1}) + e^{j2\pi f_{Г2} t} \sum_k \dot{Y}_{2k}(t - \tau_{a2}) \right) = \\ &= G_{tr} K_p \left( \dot{Y}_{шп}(t) + e^{j2\pi f_{Г1} t} \sum_k B_{1k} \dot{U}_{1k}(t - \tau_{z1}(t) - \tau_{a1}) e^{j\phi_{1k}(t)} + \right. \\ &\quad \left. + e^{j2\pi f_{Г2} t} \sum_k B_{2k} \dot{U}_{2k}(t - \tau_{z2}(t) - \tau_{a2}) e^{j\phi_{2k}(t)} \right), \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\dot{N}_{ш}(t)$  - внутренний шум приемника ретранслятора с равномерной односторонней спектральной плотностью мощности  $N_0$  и суммарной мощностью на выходе системы полосовых фильтров  $P_{ш} = N_0 \Delta f_p$ ;  $G_{tr}$  - коэффициент усиления передающей антенны аппаратуры ретрансляции; суммирование в (8) ведется по всем номерам  $k$  видимых со спутника-ретранслятора навигационных спутников.

Отметим, что частоты гетеродинов  $f_{Г1(2)}$  следует выбирать таким образом, чтобы спектры ретранслируемых сигналов не перекрывались, но имели при этом небольшой, 30...40 МГц, частотный разнос при средней частоте ретранслированного сигнала  $f_p$ .

На рисунке 4 приведена частотная диаграмма навигационных («Глонасс» + GPS) и ретранслированных сигналов при  $f_{Г1} = 6480$  МГц и  $f_{Г2} = 6798...7150$  МГц.

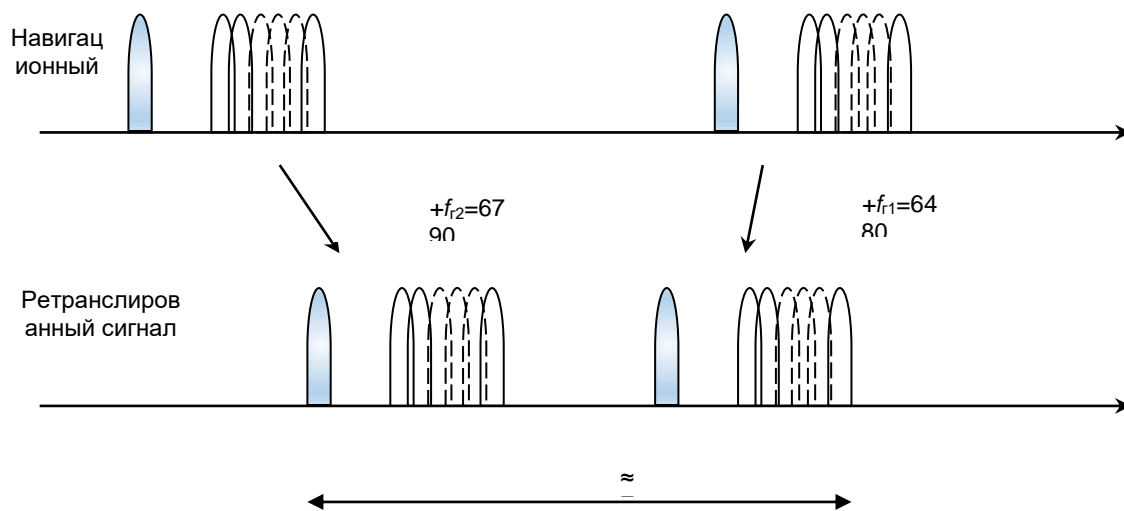


Рисунок 4 – Частотные диаграммы навигационных и ретранслированных сигналов

При формировании выражения для принимаемого на СПД сигнала примем следующие допущения:

- орбита СР находится на высотах 180...220 км (как правило, ниже слоя E) и на более низких высотах электронная концентрация незначительна и не оказывает заметного влияния на распространение электромагнитных волн;
- доплеровский сдвиг частоты много меньше несущих частот ретранслированного навигационного сигнала и его можно не учитывать;
- параметры антенны и приемной аппаратуры СПД одинаковы для частот ретранслированных сигналов.

Принимаемый на СПД сигнал испытывает в сравнении с ретранслированным следующие изменения:

- ослабление по амплитуде в соответствии с дальностью между СР и СПД с множителем ослабления

$$C = \frac{c}{4\pi f_p r_2(0)} \sqrt{G_{\text{СПД}}}, \quad (9)$$

где  $G_{\text{СПД}}$  - коэффициент усиления приемной антенны СПД;

- комплексная огибающая сигнала приобретает зависящую от времени  $t$  задержку

$$\zeta_{1(2)}(t) = \frac{r_2(t - \tau_0)}{c}, \quad (10)$$

где  $\tau_0 \approx \frac{r_1(0)}{c}$  - временной сдвиг между моментами излучения навигационного сигнала и его ретрансляцией;

- сдвиг фазы принимаемого сигнала относительно ретранслированного будет определяться выражением

$$\theta_{1(2)k}(t) = \frac{2\pi f_{p1(2)k}}{c} r_2(t - \tau_0). \quad (11)$$

где  $f_{p1(2)k} = f_{\Gamma 1(2)} + f_{1(2)k}$  - несущая частота ретранслированного сигнала для  $k$ -го НС.

Принимаемый сигнал

$$\begin{aligned} \dot{S}_{\Sigma}(t) = C \cdot G_{\text{Tr}} \cdot K_{\text{P}} \left( e^{j2\pi f_{\Gamma 1}} \sum_k B_{1k} \dot{U}_{1k}(t - \tau_{z1}(t) - \tau_{a1} - \zeta(t - \tau_0)) e^{j(\varphi_{1k}(t) + \theta_{1k}(t))} + \right. \\ \left. + e^{j2\pi f_{\Gamma 2}} \sum_k B_{2k} \dot{U}_{2k}(t - \tau_{z2}(t) - \tau_{a2} - \zeta(t - \tau_0)) e^{j(\varphi_{2k}(t) + \theta_{2k}(t))} \right) + \\ + \dot{Y}_{\text{шСПД}}(t) + C \cdot G_{\text{Tr}} \cdot K_{\text{P}} \cdot \dot{Y}_{\text{шР}}(t), \end{aligned} \quad (12)$$

где  $\dot{Y}_{\text{шСПД}}(t)$  - внутренний шум приемника СПД.

### Оценка возможности по оцениванию требуемых информационных параметров

Выражение (12) совместно с входящими в него величинами (2)-(6), (9), (10), (11) определяет модель ретранслированного навигационного сигнала, принимаемого СПД.

Возможности по извлечению необходимой информации из принимаемого сигнала заключаются в следующем.

Информация о ПЭС для каждого  $k$ -го НС заключена в задержках комплексной огибающей  $\tau_{z1(2)}(t) + \tau_{a1(2)} + \zeta(t - \tau_0)$  и разности фаз

$\Delta\varphi_k(t) = \varphi_{2k}(t) + \theta_{2k}(t) - (\varphi_{1k}(t) + \theta_{1k}(t))$  сигналов на частотах  $f_{1(2)}$ , которая составит

$$\Delta\varphi_k(t) = \frac{2\pi}{c} \left( r_1(t)(f_{2k} - f_{1k}) - r_2(t - \tau_0)(f_{\Gamma 2} - f_{\Gamma 1} + f_{2k} - f_{1k}) - 40,3 \cdot \text{TEC} \cdot \left( \frac{1}{f_{2k}^2} - \frac{1}{f_{1k}^2} \right) \right). \quad (13)$$

Законы изменения доплеровского сдвига частот принимаемого сигнала найдем дифференцированием фаз  $\varphi_{1k}(t) + \theta_{1k}(t)$  и  $\varphi_{2k}(t) + \theta_{2k}(t)$  принимаемого от  $k$ -го НС сигнала на двух частотах

$$\begin{aligned} F_{д1(2)k}(t) = \frac{2\pi}{c} f_{1(2)k} \left( V_{0r1} + a_{r1}(t - t_0) + \frac{1}{2} a'_{r1}(t - t_0)^2 \right) - \\ - \frac{2\pi(f_{\Gamma 1(2)} + f)}{c} \left( V_{0r2} + a_{r2}(t - t_0 - \tau_0) + \frac{1}{2} a'_{r2}(t - t_0 - \tau_0)^2 \right), \end{aligned} \quad (14)$$

причем модельные параметры  $V_{0r1(2)}, a_{r1(2)}, a'_{r1(2)}, \tau_0$  определяются известными координатами и параметрами движения НС и СПД и неизвестными координатами и параметрами движения СР. Минимальное число параметров, которыми описывается орбитальное движение СР (без учета возмущающих воздействий), составляет 6 [2-4]. По одному НС можно получить два измерения закона изменения доплеровской скорости (на двух частотах). Следовательно, чтобы измерить координаты СР необходимо принять сигналы минимум с трех НС. Примечательно, что координаты СР доплеровским методом будут определены без влияния ПЭС.

Имея координаты СР, получим  $r_{01(2)}$  и, соответственно, аппроксимации  $r_{1(2)}(t)$ . Поэтому из (13) получим

$$TEC = \frac{1}{40,3c} \left( \frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2} \right)^{-1} \left( r_1(t)(f_{2k} - f_{1k}) + r_2(t - \tau_0)(f_{r2} - f_{r1} + f_{2k} - f_{1k}) - \frac{\Delta\varphi_k(t)}{2\pi} \right) \quad (15)$$

Выражение (15) определяет ПЭС, при этом само значение ПЭС от времени не зависит, а оценка разности фаз  $\Delta\varphi_k(t)$  является функцией времени. Поэтому оценка ПЭС может быть определена простым усреднением. Однако более удобно выполнить когерентное накопление сигнала на интервале наблюдения порядка 1 с компенсацией миграции дальности и частоты [7], оценить  $\Delta\varphi_k(t_0)$  и найти ПЭС. При этом, ввиду неоднозначности  $\Delta\varphi_k$  необходимо использовать известные методы устранения неоднозначности с использованием оценки ПЭС импульсным методом.

### Заключение

Разработанная математическая модель адекватно отображает особенности принимаемого на СПД ретранслированного сигнала с учетом миграций дальности, частоты, переноса сигналов по частоте и влияния ПЭС в верхних слоях ионосферы. Модель может быть использована для обоснования способов обработки сигнала на СПД и исследования эффективности оценивания ПЭС для радиотомографии ионосферы.

#### Список использованных источников:

1. Каплярчук, Е. А. Способ получения данных для радиотомографии ионосферы на основе ретрансляции сигналов глобальных навигационных спутниковых систем наноспутником-ретранслятором формата CubSat. В настоящем сборнике.
2. Леонов, А.И. Моделирование в радиолокации / А.И. Леонов, В.А. Васенев, Ю.И. Гайдуков и др. Под ред. А.И. Леонова. – М.: Сов. Радио, 1979, – 264 с.
3. Саврасов, Ю. С. Алгоритмы и программы в радиолокации / Ю. С. Саврасов. Радио и связь, 1985. – 216 с.
4. Глонасс. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, М.: Радиотехника, 2010, 801 с.
5. Прикладной потребительский центр «Глонасс, справочная информация по ГНСС. Режим доступа: <https://glonass-ias.ru>.
3. Козлов С.В., Ле В.К. Алгоритмы длительного когерентного накопления отраженного сигнала при ненулевых высших производных дальности до радиолокационной цели в спектральной области. Доклады БГУИР. 2021;19(5):35-44.

UDC 621.396

## MATHEMATICAL MODEL OF A RELAYED NAVIGATION SIGNAL BY A CUBESAT FORMAT NANOSATELLITE REPEATER

Kapliarchuk E.A.<sup>1</sup> Prynichnikov V.V.

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

Kozlov S.V. - Doctor of Technical Sciences

**Annotation.** In the interests of substantiating signal processing methods for determining the total electronic content (TEC) in the ionosphere using a nanosatellite repeater, a mathematical model of global navigation satellite systems (GNSS) signals relayed with carrier frequency transfer has been developed. GLONASS and GPS received at a ground station receiving Earth remote sensing (remote sensing) data. A feature of the model is the consideration of radial velocities, accelerations and derivatives of accelerations on the routes "navigation satellite – repeater satellite" and "satellite-repeater – data receiving station" at a time interval of up to 3 seconds, which is necessary to justify the methods of long-term coherent accumulation of the received signal and measurement of its total delay time and frequency shift on the carriers frequencies L1 and L2, as well as the phase difference of the received signals at these frequencies. It is shown that based on the processing of the received signal with the implementation of radio vision methods, it is potentially possible to determine the coordinates of the repeater satellite without the influence of the ionosphere using the difference-Doppler method and the determination of the TEC by the phase-difference method with the elimination of ambiguity based on the estimation of the ionospheric component of the range error when measuring the total delay time along the envelope of the received signal.



**Keywords.** Global navigation satellite systems, Cubesat format repeater satellite, navigation signal, multi-position radar system, radiotomography, full electronic content.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ, СОЗДАВАЕМЫХ АНТЕННОЙ СИСТЕМОЙ MASSIVE MIMO ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ NEW RADIO (5G)

Козел В.М., Ковалев К.А., Жолудь А.В.<sup>1</sup>, студентка гр.045241/магистрант  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники<sup>1</sup>  
г. Минск, Республика Беларусь

Козел В.М. – канд. тех. Наук, доцент

**Аннотация.** В ближайшем будущем беспроводное покрытие будет обеспечиваться базовыми станциями (БС), оснащенными массивными фазированными антенными решетками с динамическим управлением, которые направляют передачу на пользователя. Долгожданное развертывание телекоммуникационных сетей пятого поколения (5G) ставит новые задачи, связанные с ограничением воздействия электромагнитных полей (ЭМП) на население и работников. Одной из ключевых универсальных особенностей сетей следующего поколения, общих для различных технологий 5G, является использование больших антенных решеток на стороне БС. Диаграмма направленности антенной решетки зависит от амплитудных и фазовых отношений элементов решетки. В связи с активным развитием и внедрением новых технологий в области телекоммуникационных сетей адаптация методов оценки значений излучения БС является актуальной и малоизученной в настоящее время.

**Ключевые слова.** Уровни электромагнитных полей, распределение плотности потока энергии, Massive MIMO, критерий электромагнитной безопасности.

В настоящее время в Республике Беларусь в отличие от традиционных систем сотовой связи, использующих пассивные антенны, диаграмма направленности которых статична во времени, не изучен вопрос определения уровней электромагнитных полей, создаваемых радиоэлектронными средствами использующими технологию Massive MIMO, где активные антенны с различными конфигурациями используются для генерации нескольких лепестков излучения с изменяемой во времени мощностью и формой, полученных с помощью методов формирования луча.

Антенная система с технологией Massive MIMO является фундаментальным средством обеспечения высокой пропускной способности данных в сотовых сетях следующего поколения (5G). Оснащая базовые станции (БС) десятками или сотнями антенных элементов, можно использовать узкие лучи с высоким коэффициентом усиления для пространственного мультиплексирования нескольких устройств пользовательского оборудования (UE). При повышении достижимой производительности сосредоточение мощности передачи в конкретных направлениях к абоненту также создает новые проблемы при выполнении оценки воздействия радиочастот (РЧ). Фактически пространственное распределение фактической мощности передачи БС сильно зависит от сценария развертывания и от положения UE. Традиционные методы оценки границ соответствия радиочастотному излучению вокруг БС, как правило, основаны на максимальной мощности передачи и статических лучах. В системах Massive MIMO эти подходы имеют тенденцию быть очень консервативными, в частности, когда должным образом учитывается усреднение по времени.

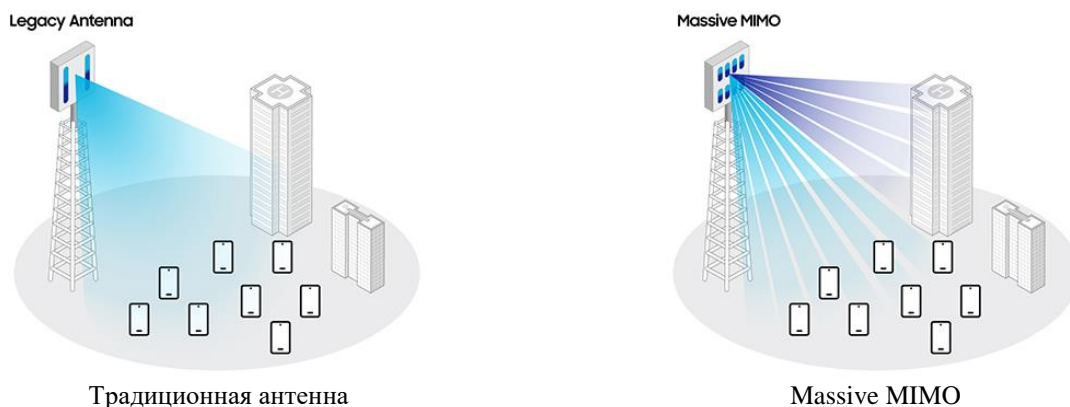


Диаграмма направленности и коэффициент усиления антенны вместе с входной мощностью и характеристиками канала распространения определяют распределение ЭМП в пространстве, окружающем излучающую систему. Для антенны Massive MIMO нет прямой пропорциональности между общей передаваемой мощностью и эквивалентной изотропной излучаемой мощностью (ЭИИМ) в направлении пользователя. Отсюда следует, что оценка его полной передаваемой

мощности не позволяет детерминистически оценить фактическое распределение напряженности электромагнитного поля в пространстве и во времени.

Для определения уровней электромагнитных полей, создаваемых радиоэлектронными средствами использующими технологию Massive MIMO были проведены экспериментальные исследования, позволяющие оценить распределения плотности потока энергии (ППЭ), создаваемых массивом элементарных излучателей Massive MIMO для технологии New Radio (5G). Измерения проводились на БС Huawei AAU5613 в режиме работы Scenario 13 на площадке складирования отвалных пород РУПП «Гранит» на карьере Микашевичи неселективным прибором ПЗ-41 и селективным прибором Anritsu MS2720T с измерительной антенной HyperLog 7060. Схематическая модель антенной решетки БС Huawei AAU5613 приведена на рисунке 1, где - элементарный излучатель Massive MIMO.

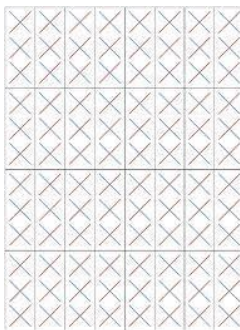


Рисунок 1 – Модель антенной решетки Massive MIMO 8x12

Конфигурация секторов и нумерация лучей для выбранного сценария подтверждалась практически, путем проведения тест-драйва с использованием тестового абонентского терминала и фиксацией индицируемого номера луча. Динамического изменения конфигурации и положения лучей в пространстве не наблюдалось.

Схематическое расположение лучей с нумерацией секторов представлено на рисунке 2.

Перед проведением экспериментальных исследований, производилась предварительная подготовка рабочей площадки, которая заключается в размещении абонентских терминалов на максимально возможном удалении от базовой станции в пределах полигона Микашевичи в середине луча наиболее удобного для проведения измерений (луч №4, обеспечивающий максимально возможное удаление при условии отсутствия затеняющих трассу распространения препятствий, растительности). Контроль середины луча производится по отметкам на местности, соответствующим переключению на соседний луч.

Линия контрольных точек уровня ЭМП фиксировалась с использованием рулетки растянутой от базовой станции в направлении на точку размещения абонентских терминалов. Контрольные точки располагались с шагом 5 метров от базовой станции на высоте 1 м от земной поверхности. На рисунке 3 представлена схематическая модель рабочей площадки для проведения экспериментальных исследований.

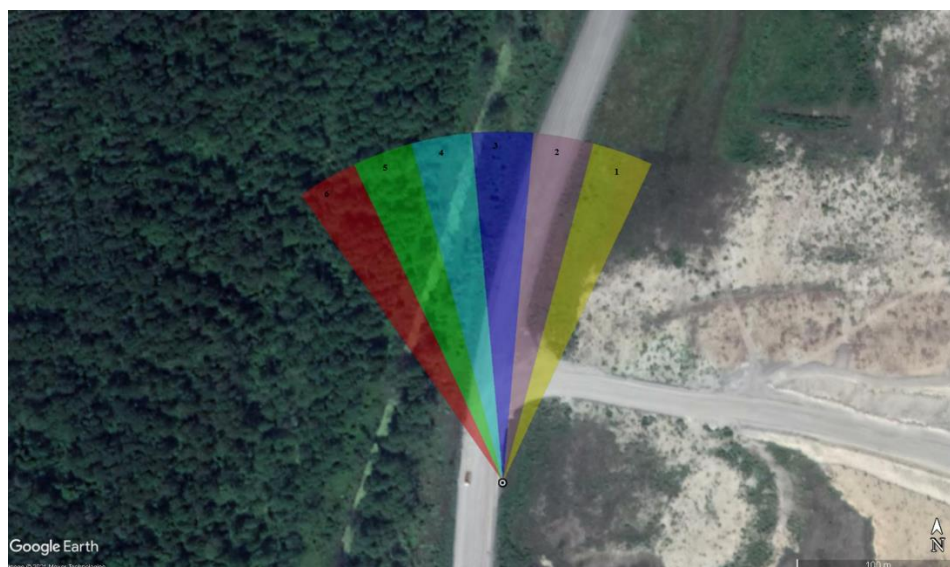


Рисунок 2 — Расположение лучей на полигоне Микашевичи

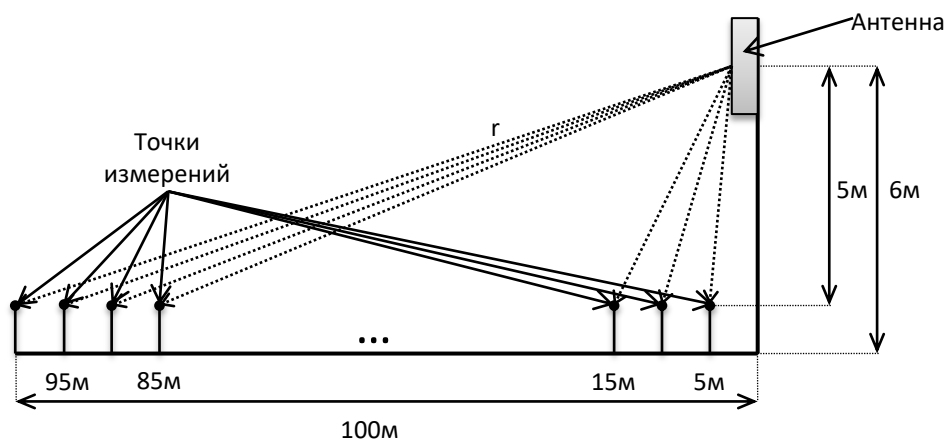


Рисунок 3 — Схематическая модель рабочей площадки для проведения натуральных измерений

На рисунке 4 представлены результаты натуральных измерений уровня плотности потока энергии электромагнитного поля, создаваемого антенной системой Massive MIMO, для высоты исследуемой точки 1м, исходя из следующих характеристик базовой станции: высота установки антенны над поверхностью земли – 6м; рабочие частоты – 3750 МГц (длина волны – 0,08 м); мощность передатчика – 200 Вт/канал; антенны: геометрические размеры антенны, высота/ширина – 1/0.5; коэффициент усиления антенны в луче – 18,84 дБи; при температуре 10оС, влажности 70%.

Зеленая линия соответствует неселективным измерениям пикового значения ППЭ; синяя – неселективным измерениям средних значений ППЭ; красная – селективным измерениям средних значений ППЭ.

В рамках санитарно-эпидемиологического законодательства Республики Беларусь требования к размещению и эксплуатации базовых станций систем сотовой подвижной электросвязи и широкополосного беспроводного доступа устанавливаются Разделом 3 «Требования к размещению и эксплуатации систем сотовой подвижной электросвязи и ШБД» Специфических санитарно-эпидемиологических требований к содержанию и эксплуатации объектов, являющихся источниками неонизирующего излучения, утвержденных постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 04.06.2019 № 360.

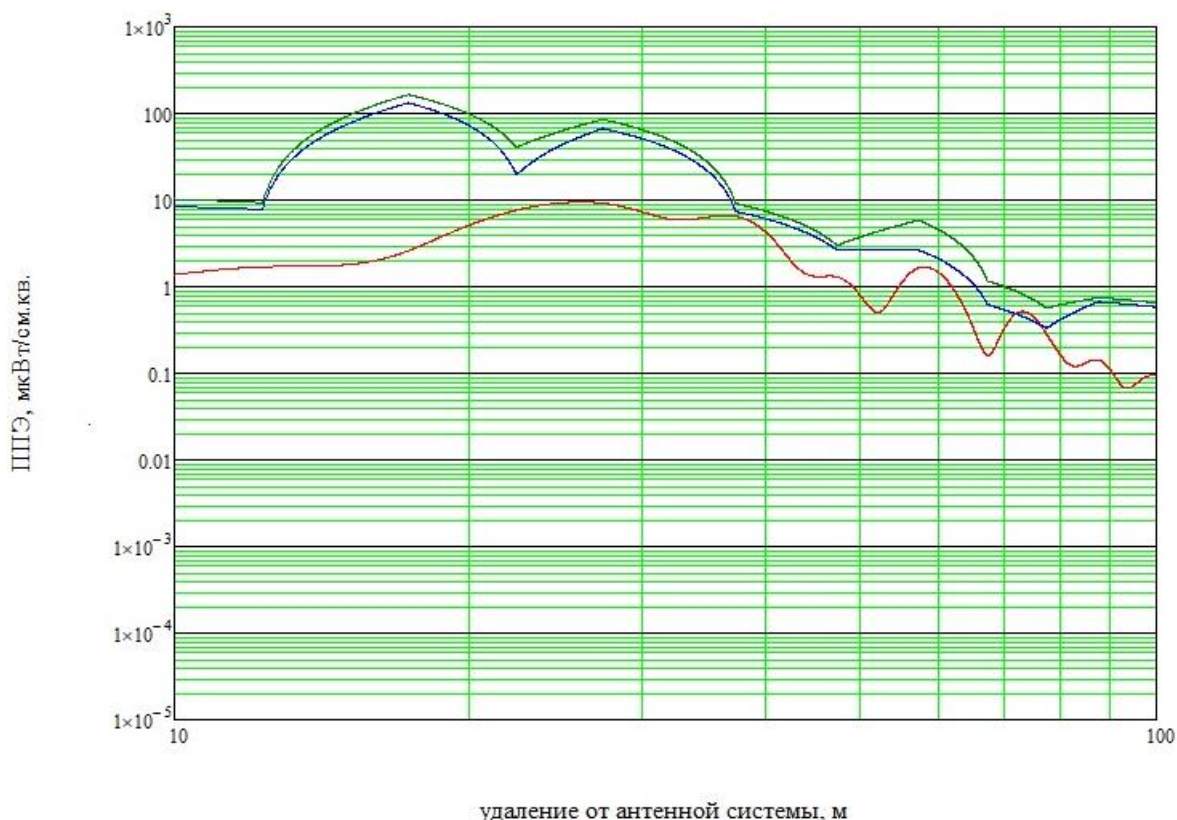


Рисунок 4 - Зависимости величины плотности потока энергии от расстояния, полученные в результате натуральных измерений

Единственным критерием электромагнитной безопасности является соблюдение предельно допустимого уровня по плотности потока энергии электромагнитных излучений (далее - ЭМИ), который для населения Республики Беларусь составляет 10 мкВт/см<sup>2</sup>. Другие ограничения действующим законодательством в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения Республики Беларусь не предусмотрены.

Сравнение результатов селективных и неселективных измерений позволяет сделать вывод, что, данные измерений, полученных неселективным методом не вписываются в критерий электромагнитной безопасности с предельно допустимым уровнем плотности потока энергии ЭМИ 10 мкВт/см<sup>2</sup>. Как правило, неселективные измерения показывают большие значения плотности потока энергии электромагнитного поля, чем аналогичные измерения с использованием селективного прибора.

Данное расхождение может быть вызвано несколькими особенностями неселективных измерений:

- во-первых, неселективные измерения могут накапливать в своих результатах уровни полей, создаваемые другими источниками в точке наблюдения, поскольку при данных измерениях отсутствует селекция источников по частоте;

- во-вторых, любая антенна (приемная или передающая) обладает существенной частотной зависимостью антенного фактора/действующей длины/эффективной площади, что при неселективных измерениях может быть учтено лишь приблизительно (и то только для конкретной, как правило, неизвестной точки измерительного диапазона частот).

Также следует отметить хорошую корреляцию скорости изменения уровня ППЭ при селективных и неселективных измерениях при удалениях от исследуемой антенной системы превышающих 40м.

**Список использованных источников:**

1. «Специфические санитарно-эпидемиологические требования к содержанию и эксплуатации объектов, являющихся источниками неионизирующего излучения», утвержденные постановлением Советом Министров Республики Беларусь от 04.06.2019г., №360.

2. «Методы определения уровней электромагнитных излучений, создаваемых передающими радиотехническими средствами, работающими в радиочастотном диапазоне». Инструкция по применению (рег. № 006-0413 от 29 апреля 2013г.)

## RESULTS OF AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE ENERGY FLOW DENSITY DISTRIBUTION CREATED BY THE MASSIVE MIMO ANTENNA SYSTEM FOR NEW RADIO TECHNOLOGY (5G)

*Kozel V.M., Kovalev K.A., Zhopov A.V.1, student G.045241 / Master<sup>1</sup>*

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

*Kozel V.M. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

**Annotation.** In the near future, the wireless coating will be provided by base stations (BS) equipped with massive phased antenna lattices with dynamic controls that send the user to the user. The long-awaited deployment of the telecommunication networks of the fifth generation (5G) sets new challenges associated with the limitation of the effects of electromagnetic fields (EMF) to the population and workers. One of the key universal features of the next-generation networks, common to various 5G technologies, is the use of large antenna arrays on the BS side. The selectivity diagram of an antenna lattice depends on the amplitude and phase relations of the elements of the lattice. In connection with the active development and implementation of new technologies in the field of telecommunication networks, the adaptation of methods for estimating the values of the radiation of the BS is relevant and poorly studied at present.

**Keywords.** Electromagnetic fields, power flow density distribution, Massive Mimo, electromagnetic safety criterion.

## УНИВЕРСАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ КАК ОСНОВА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БУДУЩИХ ПЕДАГОГОВ-ПРОГРАММИСТОВ

*Ковалёва В.В.*

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

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

**Аннотация.** В статье рассматриваются особенности профессиональной подготовки обучающихся, понятие универсальных компетенций, раскрывается их значимость в профессиональной деятельности будущих педагогов-программистов. Ключевые слова. Универсальные компетенции, профессиональная педагогическая деятельность, взаимодействие.

Развитие общества способствует развитию педагогической профессии, нацеленной на формирование личности современного молодого человека как активного субъекта жизнедеятельности. Основы высокого уровня профессиональной подготовки будущего педагога закладываются в процессе обучения в учреждении высшего образования, в ходе освоения им психолого-педагогических и специальных знаний, формирования педагогических умений и навыков, приобретения первичного опыта их реализации. В этих условиях особое значение приобретает изучение учебной дисциплины «Психология», относящейся к модулю «Основы психолого-педагогической подготовки» государственного компонента учебного плана направления специальности 1-08 01 01-07 «Профессиональное обучение (информатика)», которая обеспечивает фундаментальную подготовку выпускника по направлению специальности, по освоению образовательной программы высшего образования I ступени и получению квалификации «педагог-программист». Общие цели подготовки специалиста включают формирование социально-профессиональной, практико-ориентированной компетентности, сочетающей универсальные, базовые профессиональные, специализированные компетенции [1, с.7]. Предметом изучения учебной дисциплины «Психология» являются закономерности и механизмы развития психической деятельности человека, особенности общей, возрастной, педагогической, социальной и инженерной психологии. Знания и умения, полученные студентами при изучении названной учебной дисциплины востребованы для решения не только психолого-педагогических задач в условиях учреждений, реализующих образовательные программы профессионального образования, но и социально-профессиональных проблем в сфере любой профессии. Наиболее востребованные в современном обществе универсальные компетенции – учиться на протяжении всей жизни, обучать и мотивировать других, сотрудничать в коллективе, логично мыслить, быть способным к продуктивному взаимодействию и конструктивной коммуникации, уметь управлять коллективом, организовывать работу – развиваются у обучающихся в ходе освоения данной учебной дисциплины. В определении понятия «универсальные компетенции» у исследователей имеют место различные мнения, но при этом особое внимание уделяется таким качествам, как эмпатия (способность к сопереживанию), социальная чуткость, умение держать ролевую дистанцию, терпимость к чужому мнению, непосредственность, независимость, способность к коммуникации и творчеству, до таких, как

активное поведение, открытость, терпимость к конфликтным ситуациям, самоограничение и доверие [2, с.6].

Педагогическая профессия предполагает поиск новых, эффективных технологий взаимодействия педагога и обучающегося. Образовательное пространство БГУИР как образовательная среда и психолого-педагогическая реальность, сочетает в себе сложившиеся традиции обучения и воспитания студентов и намеренно созданные организационно-педагогические условия и обстоятельства, направленные на формирование и развитие личности обучающегося. Реализация взаимодействия педагогов и обучающихся как субъектов образовательного процесса в учебной деятельности, разнообразных учебных мероприятиях, конференциях, семинарах, лекциях способствует раскрытию индивидуальных особенностей личности студента.

Психологические знания позволяют глубже осваивать способы профессиональной коммуникации, развивать личностно-профессиональные качества и компетенции будущего педагога-программиста, которые способствуют овладению базовыми теоретическими основами психологии и педагогики для практического применения приобретенных знаний и решения задач профессиональной деятельности в современных социокультурных условиях.

Личностная и профессиональная направленность будущего педагога-программиста складывается из ряда составляющих, среди которых ключевое место занимает интерес к избранной специальности и практическая возможность реализации в будущей профессиональной педагогической деятельности. **Педагогическая деятельность является** деятельностью взрослых членов общества, профессиональной целью которых является воспитание подрастающего поколения. Педагогическая деятельность является объектом исследования различных отраслей педагогической науки: предметной дидактики, частных методик, теории воспитания, истории педагогики и образования.

Психологию педагогической деятельности можно определить, как отрасль психологического знания, изучающую психологические закономерности труда педагога и то, как педагог воспринимает, трансформирует и реализует задаваемые обществом через институты воспитания цели и систему педагогической деятельности, как он осознает актуальность задач, форм и методов своей деятельности в зависимости от конкретных условий [3].

Главными и постоянными требованиями, предъявляемым к педагогу, является интерес к профессиональной деятельности, наличие специальных знаний в той области, которой он обучает, широкая эрудиция, педагогическая интуиция, высокоразвитый интеллект, высокий уровень общей культуры и нравственности, профессиональное владение разнообразными методами обучения и воспитания. Дополнительными, но относительно стабильными требованиями, предъявляемыми к педагогу, являются общительность, артистичность, хороший вкус и другие. Главные и второстепенные педагогические качества в совокупности составляют индивидуальность педагога, в силу которой каждый хороший педагог представляет собой уникальность и своеобразную личность.

Для того чтобы в будущем успешно справиться со своей профессиональной деятельностью, педагог должен иметь незаурядные педагогические способности. Под педагогическими способностями мы понимаем определенные психологические особенности личности [3]. Так, Ф.Н. Гоноболин называет следующий ряд педагогических способностей: дидактические способности, экспрессивные способности, организаторские способности, авторитарные. К специальным педагогическим способностям относят педагогический такт, способности к воспитанию детей и педагогическому общению [3].

Педагог своими действиями на занятии должен способствовать установлению благоприятной психологической атмосферы, комфортных условий общения и деятельности для всех учащихся, заботиться о развитии дружественных отношений между обучающимися.

Важным компонентом труда педагога, создающим атмосферу психологического развития личности обучающегося, является педагогическое общение. Педагогическое общение должно быть личностно развивающим, эмоционально-комфортным и решать следующие задачи:

- взаимодействие и организация совместной деятельности;
  - взаимопонимание, умение смотреть на себя глазами партнера по общению;
  - разумная, педагогически целесообразная самопрезентация личности;
  - взаимная удовлетворенность участников общения [4, с.7].
- Взаимодействие педагога с обучающимися – один из важнейших путей воспитательного влияния взрослых. Приемы, способствующие достижению высокого уровня общения:
- понимание позиции другого, проявление интереса к его личности;
    - умение интерпретировать и «читать» его внутреннее состояние по нюансам поведения, владеть средствами невербального общения (мимика, жесты);
    - умение принять точку зрения обучающегося («децентрация» педагога);
    - создание обстановки доверительности, терпимости к непохожести другого человека;
    - владение средствами, усиливающими воздействие (приемы риторики);
    - преимущественно использовать организующие воздействия по сравнению с оценивающими и особенно дисциплинирующими;

- использование демократического стиля руководства;
- владение способностью предупреждения конфликтов в общении.

Профессиональная деятельность преподавателя БГУИР строится на педагогической поддержке и педагогическом сопровождении студентов в целях их саморазвития, самодвижения, самообразования, самореализации. Данная модель взаимодействия способствует развитию учебно-познавательного интереса к профессии, накоплению определенного личного опыта студента преодоления своих проблем, опыта осмысления и рефлексии своих действий, осознания и формирования личностно значимых целей, а главное – путей и способов их достижения, что поможет в дальнейшем стать более успешными и квалифицированными специалистами.

**Список использованных источников:**

1. ОСВО 1-08 01 01-2018. Образовательный стандарт высшего образования. Специальность 1-08 01 01 «Профессиональное обучение (по направлениям)» [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://pravo.by/upload/docs/op/W21933799p\\_1551819600.pdf](https://pravo.by/upload/docs/op/W21933799p_1551819600.pdf). – Дата доступа: 14.04.2022.
2. Биктагирова Г.Ф. Формирование социальных компетенций студентов педагогических специальностей и направлений // *Современные проблемы науки и образования*. – 2011. – 35-41 с.
3. Психология педагогической деятельности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vashpsixolog.ru/lectures-on-the-psychology/103-educational-psychology/509-lecture-2-psychology-teachers-economic-activity-and-the-teachers-personality>. – Дата доступа: 14.04.2022.
4. Лекерова Г.Ж., *Психологические аспекты структуры педагогического мастерства // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2016. – 477-482 с.

## ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

*Колядич Н.С., Захарченко В.Ю.*

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

*Михневич С.Ю. – канд. физ.-мат. наук, доцент*

Предметом проектирования является медицинское устройство, позволяющее одновременно измерять электрокардиограмму, реограмму и фотоплетизмограмму. Данное устройство позволит более точно диагностировать заболевания сердечно-сосудистой системы человека. Монитор может применяться в научно-исследовательских, лечебно-профилактических и поликлинических учреждениях здравоохранения, в спортивной медицине и медфизиологии для диагностики, оценки эффективности лечения больных и их физической реабилитации.

Полифункциональным монитором называют устройство, предназначенное для суточной записи ЭКГ, движения и положения тела пациента, реопневмограммы, храпа и пульсоксиметрии. Исследования последних лет показали, что диагностическую ценность представляют не только традиционные разовые измерения врачом или медсестрой, но и измерения во время сна, физической, умственной нагрузок, на разных сроках после приема препаратов и т.д. Разрабатываемое устройство предназначено для:

- измерения работы сердца, дыхательной системы человека;
- запись положения тела и двигательной активности пациента с помощью внешнего и внутреннего датчика движения в трех осях координат;
- запись этих результатов в съемную флэш-карту с последующим выводом их на любой IBM-совместимый компьютер для обработки и оценки врачом. Длительность исследования для такой системы обычно составляет сутки.

Структурная схема модуля состоит из входной цепи (ВЦ), двух аналогово-цифровых преобразователей (АЦП1 – ADS1298, АЦП2 – ADS1292), аналогового интерфейса (АИ – AFE4400) детектора импульсов искусственных водителей ритма (ДИИВР).

Входная цепь обеспечивает предварительную частотную селекцию сигнала, несущего в себе данные электрокардиографии, реографии и импульсы кардиостимуляции.

ADS1298 [4] – это маломощный многоканальный аналогово-цифровой 24-битный преобразователь с одновременной дискретизацией. Он включает в себя различные ЭКГ-специфические функции, которые делают его хорошо подходящим для записи масштабируемой электрокардиограммы (ЭКГ), электроэнцефалографии (ЭЭГ) и электромиографии (ЭМГ). ADS1298 имеет высокопрограммируемый мультиплексор, который позволяет запрограммировать любой из входных электродов как справочник пациента. Устройство обеспечивает скорость передачи данных до 32 кбит/с.

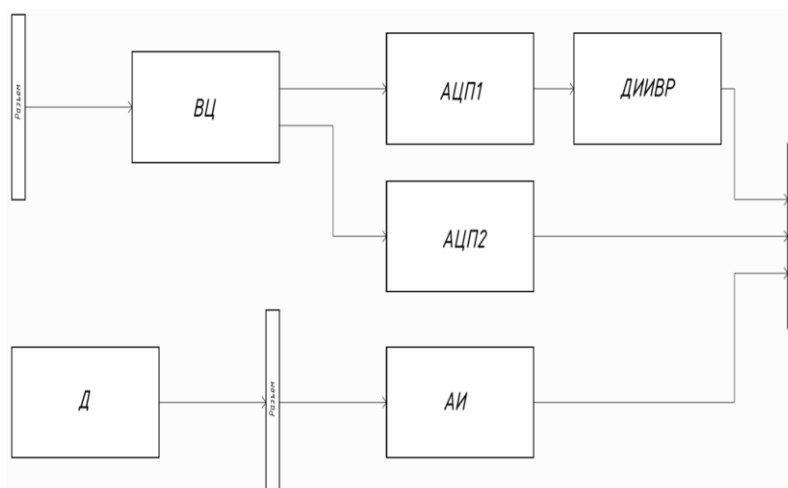


Рисунок 1 – Структурная схема аналоговой платы прибора

ДИИВР служит для определения импульсов кардиостимуляции у пациентов с любым видом кардиостимулятора. Он обеспечивает усиление сигнала кардиостимуляции и передает эти данные в цифровую плату для обработки.

ADS1292 [5] – это маломощный многоканальный аналогово-цифровой 24-битный преобразователь с одновременной дискретизацией. Данный преобразователь относится к тому же семейству, что и ADS1298 и обладает большинством его особенностей.

В данном приборе преобразователь используется для получения данных для реографии, их оцифровки и передачи в цифровую плату для дальнейшей обработки и анализа.

AFE4400 [6] – это полностью интегрированный аналоговый интерфейс, идеально подходящий для применения в пульсоксиметрах. Устройство состоит из маломощного приемного канала со встроенным АЦП. Устройство представляет собой хорошо настраиваемый контроллер синхронизации. Эта гибкость позволяет полностью контролировать временные характеристики устройства. Для облегчения требований к тактированию и обеспечения более низких тактовых частот встроен внутренний генератор, функционирующий от внешнего резонатора. Для связи с внешним микроконтроллером используется интерфейс SPI.

Заключение. Важным достоинством разработанного устройства является высокая точность измерения электрокардиограммы, реограммы и фотоплетизмограммы, что позволяет применять данное устройство в научно-исследовательских, лечебно-профилактических и поликлинических учреждениях здравоохранения, эффективности лечения больных и инвалидов, их физической реабилитации, проведения функциональных и фармакологических проб, оценки состояния обследуемых в условиях профессиональной деятельности. Разработанное устройство можно использовать как стационарно, так и в качестве суточного монитора электрокардиограммы, реограммы и пульсоксиметрии. Также работа устройства возможна в сложной помеховой обстановке.

**Список использованных источников:**

1. У. Томпкинс, Дж. Уэбстер – Микрокомпьютерные медицинские систем. Проектирование и применение. Перевод с английского – М: Мир, 1983 г. – 544 с.
2. Т. С. Виноградова – Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы. Москва: Медицина, 1986 г. – 416 с.
3. Джон Хэмптон – Основы ЭКГ: Перевод с английского – Ф.И. Плешикова, 2007 г. – 223 с.
4. ADS1298IPAG [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1294r.pdf?ts=1591083156550>.
5. ADS1292RIPS [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1292r.pdf?ts=1591083217483>.
6. AFE4400 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/afe4400.pdf?ts=1591083252320>.



УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

## ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ ПРИ ПРОВЕРКЕ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

*Королев К.С.*

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

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

Аннотация. В статье представлен опыт выполнения практических заданий при проверке знаний студентов на основе самостоятельного выполнения индивидуальных заданий при изучении учебной дисциплине «Методика преподавания общетехнических и специальных дисциплин».

Ключевые слова: обучение, индивидуальные практические задания, образовательный продукт, будущие педагоги-программисты.

В настоящее время, в БГУИР, успешно реализуется экспериментальный проект по апробации модели цифрового университета, включающий: дистанционное взаимодействие преподавателя и студента; создание цифрового профиля обучающегося и преподавателя; обеспечение расширенного использования электронных ресурсов и современных контрольно-диагностических инструментов [1, с.16]. Профессиональная подготовка будущих педагогов-программистов ориентирована на то, что они, в свою очередь, будут продуктивно использовать, полученные знания и умения, в своей деятельности, поскольку сегодня «...в образовании акцентируется внимание на результате образования, на способности человека действовать в проблемных ситуациях» [2].

В связи с этим, в образовательном процессе будущих педагогов-программистов, при изучении учебной дисциплины «Методика преподавания общетехнических и специальных дисциплин» отдельного внимания заслуживает, создаваемый будущими педагогами-программистами образовательный продукт – самостоятельные творческие разработки методик, моделей и технологий обучения, фрагментов календарно-тематических планов, планов учебных, практических и лабораторных занятий, инструкций к ним, тестовых заданий. Безусловно, такой уровень разработок элементов учебно-планирующей документации обучающимися и степень включенности в первичный опыт нормативно-методической педагогической деятельности будущего педагога-программиста обеспечивает формирование специализированных компетенций выпускника. В частности, речь идет о разработке лекционных, семинарско-практических занятий, тестовых заданий. Процесс обучения реализуется в единстве содержательной и процессуальной стороны, построен на идее самоорганизации, самообучения, саморазвития личности будущего специалиста, педагогической поддержке его конструктивной инициативы, включенности обучающихся в разные виды учебно-профессиональной деятельности, способствующей приобретению практического опыта, и формированию специализированных компетенций [3, с.8].

Особый профессиональный интерес у студентов, как у будущих педагогов-программистов, вызывают практические задания по учебной дисциплине, касающиеся самостоятельной разработки небольших тестовых заданий в онлайн-среде. Тестирование в образовательном процессе является одним из основных видов проверки знаний во время обучения. Этот метод позволяет давать оценку беспристрастно, системно, объективно и достаточно оперативно, исключая субъективные подходы преподавателя. Метод повышает экономию времени, дает возможность за короткое время опросить большое количество обучающихся.

В настоящем исследовании остановимся не только на особенностях разработки тестов преподавателями для проверки знаний студентов, но и на самостоятельной разработке тестовых заданий студентами во время выполнения практических работ по учебной дисциплине «Методика преподавания общетехнических и специальных дисциплин». При выполнении практического задания и самостоятельной разработке тестовых заданий мы придерживаемся следующих правил:

- тесты должны отражать весь объем изучаемого материала;
  - количество вопросов по важным проблемам изучаемой дисциплины увеличивается;
  - тесты исключают возможность случайного угадывания правильного ответа;
  - тесты составляются относительно просто и должны быть понятны студенту при первом прочтении.
- При разработке тестовых заданий учитывается уровень подготовки студентов, их возможности быстро и правильно ориентироваться в изученном материале. Поэтому, на теоретических и практических занятиях прорабатываются многие вопросы, которые входят в состав тестов.

В настоящее время Интернет предлагает множество сервисов для создания онлайн-тестов, у каждого свои особенности. При этом большинство онлайн-платформ используют одинаковый алгоритм работы для создания тестов. Сначала при помощи конструктора тестов создаются разные типы вопросов и ответов. Наиболее часто встречающимися из них являются: выбор одного варианта ответа из нескольких предложенных; выбор нескольких вариантов ответов; необходимость вставить недостающие слова в тексте; предложить свой вариант ответа; выбор правильного или не правильного утверждения. Тестовые задания можно оформлять, вставляя изображения, документы, видео, форматируя текст. Готовые вопросы сохраняются на платформе или на устройство составителя теста. Автор теста, будущий педагог-программист, имеет ссылку или код для доступа к тесту, которую во время проведения пробных занятий предлагает обучающимся для онлайн-тестирования. После проведения тестирования, он получает отчет с результатами данного тестирования в виде графиков и диаграмм, в числовом значении.

Таким образом, необходимо отметить, что отношение студентов к собственному тестированию и самостоятельной разработке небольших тестовых заданий достаточно ответственное. Они готовятся к сдаче тестов и, как правило, при надлежащей подготовке, успешно их сдают. Опыт выполнения практических заданий на основе самостоятельного выполнения индивидуальных заданий в форме разработки тестов при изучении учебной дисциплины «Методика преподавания общетехнических и специальных дисциплин» демонстрирует способности и компетенции студентов продуктивно использовать, полученные знания и умения, в будущей профессиональной деятельности.

#### **Список литературы**

1. Бозуш, В. А. *Цифровизация образования: проблемы, вызовы и перспективы* / В. А. Бозуш, Е. Н. Шнейдеров // *Адукацыя і выхаванне*. – 2021. – № 1. – С. 14–21.
2. Парафиянович, Т. А. *Контекстно-компетентный подход в воспитании учащихся колледжа* / Т. А. Парафиянович. // *Адукацыя і выхаванне : навукова-тэарэтычны і навукова-метадычны часопіс*. – 2017. – №1 (301) – С. 54 – 58.
3. Парафиянович, Т. А. *Методика воспитательной работы в учреждениях профессионального образования: учеб.-метод. пособие* / Т. А. Парафиянович, К. М. Корнеевский. – Минск: БГУИР, 2020. – 107 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТНОГО ОБУЧЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

*Лагутина А.А.*

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

*Парафиянович Т.А. – научн. руковод., канд. пед. наук, доцент каф. ИРТ*

Аннотация: В статье анализируется важность использования технологии проектного обучения в современном образовательном процессе. Описываются качества, которые развиваются у обучающихся при работе над проектом.

В настоящее время благодаря стремительной информатизации общества, образовательный процесс подвергается значительной трансформации. Действительность современного образовательного процесса заключается в создании образовательной среды, которая будет содействовать развитию у обучающихся умений самостоятельно дополнять свои знания, опыт в учебно-исследовательской деятельности, мотивацию обучения. Использование современных педагогических технологий дает возможность педагогу результативно использовать учебное время и достигать высоких результатов, обучающихся [1].

К инновационным технологиям обучения в настоящее время относят: интерактивные технологии обучения, технологию проектного обучения, компьютерные и облачные технологии. Педагогическая технология, рассматривается нами как проектирование образовательного процесса, основанная на использовании совокупности методов, приемов и форм организации обучения и образовательной деятельности, повышающая эффективность обучения и обеспечивающая заданный результат. Технология проектного обучения – это личностно-ориентированная технология, в центре которой стоит обучающийся. Технология проектного обучения рассматривается нами как гибкая модель организации учебного процесса в профессиональной подготовке обучающихся, ориентированная на творческую самореализацию личности путем развития его интеллектуальных возможностей, волевых качеств и творческих способностей в процессе создания нового образовательного продукта. Результатом проектной деятельности являются учебные творческие проекты. Основу технологии составляет деятельность самого обучающегося, направленная на развитие образовательных, познавательных, творческих способностей. Работая над проектом у студентов развиваются такие универсальные компетенции как целеустремленность, интерес к изучаемой теме, самостоятельность, формируется чувство ответственности за собственные действия

и деятельность других. Образовательный процесс, организованный по технологии проектного обучения, построен на создание таких организационно-педагогических условий образовательной деятельности, при которых обучающиеся:

- 1) самостоятельно, мотивированно ищут и обрабатывают информацию;
- 2) принимать теорию на практике;
- 3) умеют взаимодействовать друг с другом, вести диалог;
- 4) умеют вести исследовательскую деятельность;
- 5) развивают системное мышление [2].

Проектная технология всегда ориентирована на самостоятельную деятельность обучающихся – индивидуальную, парную, групповую, которую обучающиеся выполняют в течение определенного отрезка времени. Проектная технология всегда предполагает решение какой-то проблемы. Решение проблемы предусматривает, с одной стороны, использование совокупности, разнообразных методов, средств обучения и воспитания, а с другой, предполагает необходимость интегрирования знаний, умений применять знания из различных областей науки, техники, технологии, творческих областей. Материализованным продуктом проектирования является учебный проект, который определяется как самостоятельно принимаемое обучающимися развернутое решение проблемы.

Технология проектного обучения способствует развитию креативных способностей и качеств личности обучающегося, которые нужны ему для творческой деятельности, независимо от будущей конкретной профессии. Метод проектов позволяет максимально приблизить процесс обучения к практике, что позволяет обучающемуся постепенно подготовиться к будущей профессиональной деятельности, и это несомненное преимущество проектного метода перед традиционными методами обучения, поскольку обучающиеся накапливают опыт в самостоятельной деятельности.

**Список использованных источников:**

1. Ларионова, Л.В. *Использование современных образовательных технологий в учебном процессе* / Л.В. Ларионова // Информинфо [Электронный ресурс]. Режим доступа : <https://www.informio.ru/publications/id6571/ispolzovanie-sovremennyh-obrazovatelnyh-tehnologii-v-uchebnom-processe>.
2. Егоров Е.Е. *Проектная как инновационная технология в системе современных подходов к обучению* / Е.Е. Егоров, А.В. Анисенко, Ю.В. Бурлакова, Н.С. Быкова // Интернет-журнал «Мирнауки» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://mir-nauki.com/PDF/13PDMN416.pdf>.

УДК 629.056

## СПОСОБ ОЦЕНИВАНИЯ СУММАРНОЙ ДАЛЬНОСТИ В БИСТАТИЧЕСКОЙ РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНО-ДОПЛЕРОВСКОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

*Легкоступ В.В.*

ОАО «АЛЕВКУРП»

*д. Королев Стан, Минский район, Республика Беларусь*

*Маркевич В.Э. – канд. техн. наук*

**Аннотация.** В данной работе рассмотрен способ оценивания суммарной дальности от подвижного объекта до двух навигационных точек с использованием разностно-дальномерных и доплеровских измерений, что использовано при решении задачи синтеза контура радиоуправления подвижным объектом по данным разностно-дальномерной навигационной системы в условиях ограниченного объема навигационной информации. Было получено выражение для оценки суммарной дальности между объектом и двумя навигационными точками, а также получены упрощенные выражения, описывающие основные статистические характеристики оцениваемой суммарной дальности.

**Ключевые слова.** Бистатистическая система, разностно-дальномерная навигация, доплеровская навигация, наведение по гиперболе, измерение суммарной дальности, эллиптическая система координат, статистические характеристики, распределение Берра, беспилотный летательный аппарат.

Решению задачи высокоточной навигации подвижных управляемых средств в последние десятилетия уделяется большее внимание. Это обусловлено главным образом прецизионностью решаемых задач, а именно: навигация пассажирских транспортных средств и специальной техники на местности, обеспечение посадки и взлета беспилотной авиации, управление и наведение высокоточного оружия и так далее. Причем широкое распространение получили системы разностно-дальномерной навигации ввиду высокой пропускной способности, а также отсутствия необходимости иметь радиопередатчик в составе абонентского оборудования. Таковыми являются различные спутниковые навигационные системы (СНС) типа GPS и ГЛОНАСС, системы типа LORAN и РСДН-20 «Альфа».

Для решения навигационной задачи и определения местоположения абонента требуется определить навигационные сигналы по меньшей мере трех источников навигационного сигнала на

плоскости и четырех в пространстве в случае использования разностно-дальномерного метода навигации. В случае отсутствия данного количества информации оценка собственного местоположения с помощью данной навигационной системы становится, как правило, невозможной. В таком случае приходится использовать бортовую инерциальную навигационную систему (ИНС), либо другие источники навигационной информации. При этом, как известно [1], наиболее распространенный способ реализации бортовой навигационной системы – комплексирование информации от СНС, либо наземной радионавигационной системы с информацией от ИНС. У такого подхода имеется недостаток, связанный с неограниченным ростом ошибки оценки местоположения абонента с помощью инерциальной навигационной системы в случае отсутствия информации других навигационных систем. Данная проблема может привести к невозможности осуществить высокоточную навигацию на ответственных участках траектории движения транспортных и иных подвижных средств, например, при посадке воздушного средства на взлетно-посадочную полосу или при бомбардировке объектов инфраструктуры высокоточным оружием.

В [2–3] был предложен способ наведения управляемого средства в заданную точку с использованием меньшего количества разностно-дальномерной навигационной информации, чем это требует классический способ решения навигационной задачи. При этом дальность между подвижным средством и навигационной системой не оценивалась. В данной статье рассматривается способ оценки суммарной дальности между подвижным средством и двумя навигационными позициями разностно-дальномерной навигационной системы на плоскости в пассивном режиме. Это становится возможно при условии, если на борту подвижного средства производится оценка собственной скорости движения (используя доплеровский измеритель скорости, БИНС, измерения воздушного напора) и оцениваются доплеровские сдвиги частоты двух принимаемых радионавигационных сигналов.

#### Методика оценивания суммарной дальности до подвижного абонента в бистатической разностно-дальномерно-доплеровской навигационной системе

Рассмотрим бистатическую систему, образованную двумя навигационными позициями  $\Pi_1, \Pi_2$  с известной длиной базы, равной  $2c$ . Данные навигационные точки синхронно излучают радионавигационные сигналы, принимаемые подвижным управляемым объектом Б, двигающимся в направлении базы данной системы со скоростью  $V_0$  вдоль гиперболы положения, образованной разностью измеряемых временных задержек  $\Delta t_n$  навигационного радиосигнала (рисунок 1) [3–4].

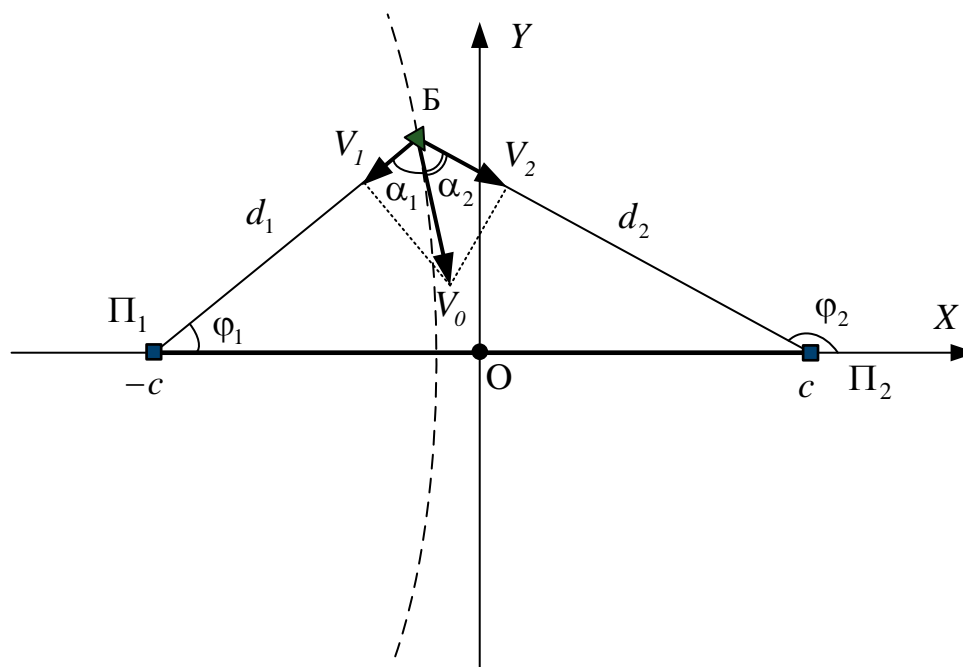


Рисунок 1 – Разностно-дальномерная навигационная система и подвижный объект, где  $c$  – фокусное расстояние или полубаза;  $d_1, d_2$  – дальности от навигационных позиций до объекта;  $\varphi_1, \varphi_2$  – углы визирования объекта по отношению к базе;  $V_1, V_2$  – проекции вектора скорости объекта на линии дальности;  $\alpha_1, \alpha_2$  – углы между вектором скорости и его проекциями соответственно.

Разность временных задержек  $\Delta t_H$  зависит от разности расстояний между объектом и навигационными позициями в соответствии с выражением

$$\Delta t_H = \frac{d_1 - d_2}{c_0}, \quad (1)$$

где  $d_1, d_2$  – расстояния от объекта Б до двух навигационных позициями  $\Pi_1, \Pi_2$  соответственно;  $c_0$  – скорость распространения навигационного сигнала.

Пусть также подвижный объект осуществляет измерения собственной скорости  $V_0$  с помощью бортовой инерциальной навигационной системы и двух доплеровских сдвигов частот  $\Delta f_1, \Delta f_2$  принимаемых навигационных радиосигналов. При этом измеряемые доплеровские сдвиги частот  $\Delta f_1, \Delta f_2$  связаны с двумя проекциями  $V_1, V_2$  вектора скорости движения  $V_0$  объекта на радиус-векторы дальностей до навигационных позиций следующими выражениями:

$$\begin{aligned} \Delta f_1 &= \frac{V_1}{\lambda}, \\ \Delta f_2 &= \frac{V_2}{\lambda}. \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\lambda$  – длина волны навигационного радиосигнала.

Ставится задача произвести оценку суммарного расстояния от объекта до бистатической навигационной системы пассивным способом. Изучение данной задачи удобнее осуществлять в эллиптической системе координат в альтернативном представлении [4]. В данной системе координат положение объекта задается двумя координатами: координата  $\rho$  определяет линию положения в виде эллипса и соответствует приведенной сумме расстояний  $d_1$  и  $d_2$ ; координата  $\tau$  определяет линию положения в виде гиперболы и соответствует приведенной разности расстояний  $d_1$  и  $d_2$ . При этом описанные линии положения являются софокусными и взаимно ортогональными. Связь данных координат с радиус-векторами дальностей между позициями и объектам осуществляется выражениями

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{d_1 + d_2}{2c}, \\ \tau &= \frac{d_1 - d_2}{2c}. \end{aligned} \quad (3)$$

Из рисунка 1 видно, что скорость объекта  $V_0$  связана с радиальными скоростями  $V_1, V_2$  соотношениями

$$\begin{aligned} \frac{V_1}{V_0} &= \cos \alpha_1, \\ \frac{V_2}{V_0} &= \cos \alpha_2, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  – углы между вектором скорости  $V_0$  и проекциями  $V_1, V_2$  соответственно.

Зависимость отношения проекции  $V_1$  к вектору скорости  $V_0$  объекта приведена на рисунке 2а. Из этого рисунка видно, что определение отношения данных проекций позволяет произвести оценку суммарной дальности  $\rho$ .

Угол, под которым наблюдается база навигационной системы со стороны подвижного объекта, задается выражением

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2. \quad (5)$$

Тогда связь углов треугольника, образованного точками  $\Pi_1, \Pi_2, Б$  можно описать равенством

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \alpha, \quad (6)$$

где  $\varphi_1, \varphi_2$  – углы визирования объекта по отношению к линии базы.

Зависимость угла  $\alpha$  от суммарной дальности  $\rho$  представлена на рисунке 2б.

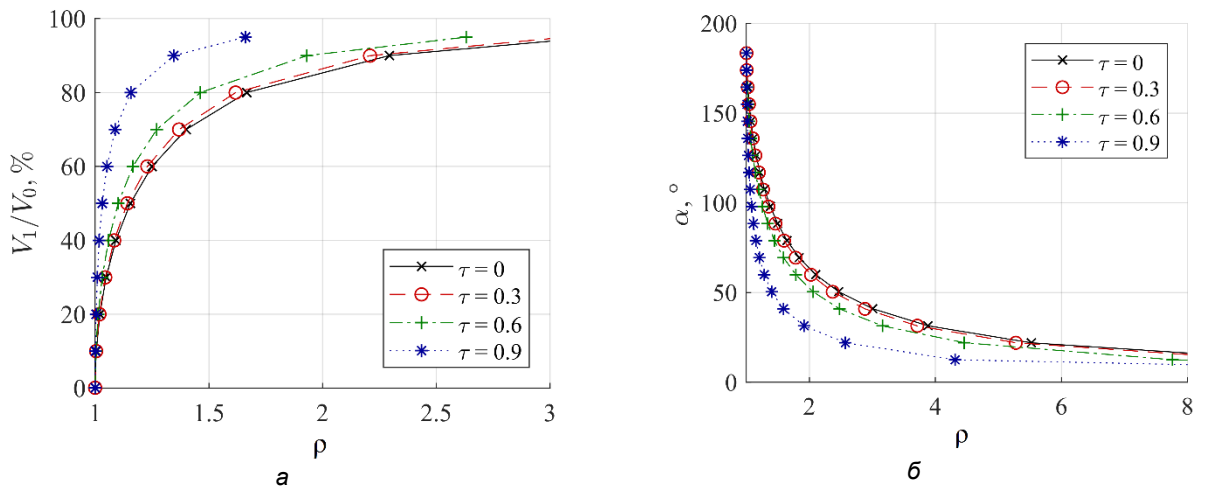


Рисунок 2 – Зависимость отношения  $V_1 / V_0$  (а) и угла  $\alpha$  (б) от суммарной дальности  $\rho$  для разных значений параметра  $\tau$ .

Дальности  $d_1, d_2$  можно выразить, используя следующие соотношения [5]:

$$d_1 = \frac{c(1-\tau^2)}{\tau - \cos \varphi_1}, \quad d_2 = \frac{c(\tau^2 - 1)}{\tau - \cos \varphi_2}. \quad (7)$$

Собирая воедино второе выражение в (3) и (7) получим соотношение

$$\frac{c(\tau^2 - 1)}{\tau - \cos \varphi_1} + \frac{c(\tau^2 - 1)}{\tau - \cos \varphi_2} = 2c\tau, \quad (8)$$

а используя выражение (6) найдем выражения для определения углов  $\varphi_1, \varphi_2$  визирования объекта (с точностью до знака):

$$\begin{aligned} \cos \varphi_1 &= \frac{\tau}{2} \left( 1 + \cos \alpha + \sqrt{2} \operatorname{sgn} \tau \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{2}{\tau^2} - \cos \alpha - 1} \right), \\ \cos \varphi_2 &= \frac{\tau}{2} \left( 1 + \cos \alpha - \sqrt{2} \operatorname{sgn} \tau \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{2}{\tau^2} - \cos \alpha - 1} \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Используя выражение декартовой координаты  $x$  объекта через его эллиптические координаты  $x = c\rho\tau$ , (10)

а также через полярные координаты

$$x = d_1 \cos \varphi_1 - c, \quad (11)$$

найдем связь суммарной дальности  $\rho$  объекта через его угол визирования  $\varphi_1$ :

$$\hat{\rho} = \frac{\tau \cos \varphi_1 - 1}{\tau - \cos \varphi_1} \quad (12)$$

### Методика получения основных статистических характеристик оценки суммарной дальности предлагаемым способом

Как указывалось выше, для оценки параметра  $\rho$  БЛА должен производить измерения скоростей  $\hat{V}_0, \hat{V}_1, \hat{V}_2$ . Будем полагать, что шумы данных оценок стационарны и распределены по закону Гаусса:

$$\hat{V}_0 \square N(M_{V_0}, \sigma_{V_0}^2);$$

$$\hat{V}_1 \square N(M_{V_1}, \sigma_{V_1}^2);$$

$$\hat{V}_2 \square N(M_{V_2}, \sigma_{V_2}^2),$$

где  $M_{V_0}, M_{V_1}, M_{V_2}$  – математические ожидания  $\hat{V}_0, \hat{V}_1, \hat{V}_2$ ;

$\sigma_{V_0}^2, \sigma_{V_1}^2, \sigma_{V_2}^2$ , – дисперсии  $\hat{V}_0, \hat{V}_1, \hat{V}_2$ .

Для начала определим основные статистические характеристики угла  $\alpha$ , задаваемого выражением (5). Как известно [6], математическое ожидание  $M_\alpha$  и дисперсия  $\sigma_\alpha^2$  величины  $\alpha$ , являющейся суммой двух случайных величин будут определяться выражениями

$$M_\alpha = M_{\alpha_1} + M_{\alpha_2}, \quad (13)$$

$$\sigma_\alpha^2 = \sigma_{\alpha_1}^2 + \sigma_{\alpha_2}^2 + 2\text{cov}_{\alpha_1\alpha_2}, \quad (14)$$

где  $M_{\alpha_1}, M_{\alpha_2}$  – математические ожидания углов  $\alpha_1, \alpha_2$ ;

$\sigma_{\alpha_1}^2, \sigma_{\alpha_2}^2$  – дисперсии углов  $\alpha_1, \alpha_2$ ;

$\text{cov}_{\alpha_1\alpha_2}$  – корреляционный момент углов  $\alpha_1, \alpha_2$  соответственно.

Определим статистические характеристики безразмерных величин  $\hat{b}_1$  и  $\hat{b}_2$ , образуемых следующими отношениями:

$$\hat{b}_1 = \frac{\hat{V}_1}{\hat{V}_0}; \quad (15)$$

$$\hat{b}_2 = \frac{\hat{V}_2}{\hat{V}_0}.$$

Плотности распределения вероятностей  $\hat{b}_1, \hat{b}_2$  образуются частными от деления нормально распределенных случайных величин. Плотность распределения вероятности  $\hat{b}_1$  при условии, что делимое и делитель между собой не коррелированы, описывается выражением [7]

$$p(b_1) = \frac{g_2(b_1) g_3(b_1)}{\sqrt{2\pi} g_1^3(b_1) \sigma_{V_1} \sigma_{V_0}} \left[ \Phi\left(\frac{g_2(b_1)}{g_1(b_1)}\right) - \Phi\left(-\frac{g_2(b_1)}{g_1(b_1)}\right) \right] + \frac{1}{\pi g_1^2(b_1) \sigma_{V_1} \sigma_{V_0}} \exp\left(-\frac{g_c}{2}\right), \quad (16)$$

где  $\Phi(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}u^2\right) du$  – функция стандартного нормального распределения;

$$g_1(b_1) = \sqrt{\frac{1}{\sigma_{V_1}^2} b_1^2 + \frac{1}{\sigma_{V_0}^2}};$$

$$g_2(b_1) = \frac{M_{V_1}}{\sigma_{V_1}^2} b_1 + \frac{M_{V_0}}{\sigma_{V_0}^2};$$

$$g_3(b_1) = \exp\left(\frac{g_2^2(b_1) - g_c g_1^2(b_1)}{2g_1^2(b_1)}\right); \quad g_c = \frac{M_{V_1}^2}{\sigma_{V_1}^2} + \frac{M_{V_0}^2}{\sigma_{V_0}^2}.$$

Величина  $\hat{b}_2$  распределена по аналогичному закону.

Если коэффициент вариации  $\delta V_0$  величины  $\hat{V}_0$  будет близок к единице или больше ее, то случайные величины  $\hat{b}_1, \hat{b}_2$  будут иметь распределение, близкое к Коши, которое, как известно [6], не имеет конечных моментов. В данном же случае, будем полагать, что скорость движения управляемого объекта  $\hat{V}_0$  значительно больше СКО ее оценки, что накладывает ограничения на минимальную скорость движения объекта в рабочем диапазоне изменения скорости его движения, по отношению к максимальной величине СКО оценки скорости движения объекта. При таком условии закон распределения величины  $\hat{b}_1$  можно аппроксимировать нормальным [8] с математическим ожиданием

$$M_{b_1} = \frac{M_{V_1}}{M_{V_0}}$$

и дисперсией

$$\sigma_{b_1}^2 = M_{b_1}^2 (\delta V_1^2 + \delta V_0^2), \quad (17)$$

где  $\delta V_0 = \frac{\sigma_{V_0}}{M_{V_0}}$ ,  $\delta V_1 = \frac{\sigma_{V_1}}{M_{V_1}}$  – коэффициенты вариаций для  $V_0, V_1$  соответственно.

Учитывая выражения (4), для получения оценок  $\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2$  величины  $\hat{b}_1, \hat{b}_2$  должны быть подвергнуты нелинейному преобразованию функцией арккосинуса. Поэтому необходимо, чтобы они располагались в диапазоне  $[-1, 1]$ . С этой целью значения величин  $\hat{b}_1, \hat{b}_2$ , выходящие за пределы указанного диапазона отбраковываются, порождая величины  $\hat{b}_1^*, \hat{b}_2^*$ , имеющие закон распределения в виде усеченного нормального. Плотность распределения вероятности величины  $\hat{b}_1^*$  в соответствии с [9] задается выражением

$$p(b_1^*) = \frac{1}{\sigma_{b_1}} \phi\left(\frac{b_1^* - M_{b_1}}{\sigma_{b_1}}\right) \left[ \Phi\left(\frac{1 - M_{b_1}}{\sigma_{b_1}}\right) - \Phi\left(\frac{-1 - M_{b_1}}{\sigma_{b_1}}\right) \right]^{-1}, \quad (18)$$

где  $\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}x^2\right)$  – плотность распределения вероятности стандартной нормальной случайной величины  $x$ ;

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} \left( 1 + \operatorname{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) \right) \text{ – ее функция распределения;}$$

$\operatorname{erf}(x)$  – функция ошибок.

Математическое ожидание закона распределение (18) имеет вид

$$M_{b_1^*} = M_{b_1} - \sigma_{b_1} \frac{\phi(1) - \phi(-1)}{\Phi(1) - \Phi(-1)}, \quad (19)$$

а дисперсия



$$\sigma_{b_1^*}^2 = \sigma_{b_1}^2 \left[ 1 - \frac{\phi(1) + \phi(-1)}{\Phi(1) - \Phi(-1)} - \left( \frac{\phi(1) - \phi(-1)}{\Phi(1) - \Phi(-1)} \right)^2 \right] \quad (20)$$

После нелинейного преобразования

$$\alpha_1 = \arccos(b_1^*) \quad (21)$$

плотность распределения вероятности случайной величины  $\alpha_1$  примет вид

$$p(\alpha_1) = \frac{\sin \alpha_1}{\sigma_{b_1^*}} \phi \left( \frac{\cos \alpha_1 - M_{b_1^*}}{\sigma_{b_1^*}} \right) \left[ \Phi \left( \frac{1 - M_{b_1^*}}{\sigma_{b_1^*}} \right) - \Phi \left( \frac{-1 - M_{b_1^*}}{\sigma_{b_1^*}} \right) \right]^{-1}. \quad (22)$$

Аналогично выводу выражения (22) для  $\alpha_1$ , плотность распределения вероятности угла  $\alpha_2$  примет вид

$$p(\alpha_2) = \frac{\sin \alpha_2}{\sigma_{b_2^*}} \phi \left( \frac{\cos \alpha_2 - M_{b_2^*}}{\sigma_{b_2^*}} \right) \left[ \Phi \left( \frac{1 - M_{b_2^*}}{\sigma_{b_2^*}} \right) - \Phi \left( \frac{-1 - M_{b_2^*}}{\sigma_{b_2^*}} \right) \right]^{-1} \quad (23)$$

Математические ожидания  $M_{\alpha_1}, M_{\alpha_2}$  углов  $\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2$  определяются выражениями

$$\begin{aligned} M_{\alpha_1} &= \arccos(M_{b_1^*}), \\ M_{\alpha_2} &= \arccos(M_{b_2^*}), \end{aligned} \quad (24)$$

а их дисперсии примут следующий вид:

$$\begin{aligned} \sigma_{\alpha_1}^2 &= \frac{\sigma_{b_1^*}^2}{1 - M_{b_1^*}^2}; \\ \sigma_{\alpha_2}^2 &= \frac{\sigma_{b_2^*}^2}{1 - M_{b_2^*}^2}. \end{aligned} \quad (25)$$

На рисунке 3 приведены выборочное среднее  $\hat{M}_\alpha$  угла  $\alpha$ , полученное методом Монте-Карло и его математическое ожидание, вычисленное по формуле (13), в зависимости от соотношения измеряемых скоростей  $V_1/V_0$  для различных коэффициентов вариации  $\delta V_0$ . При этом предполагается, что  $V_2 = V_1$ .

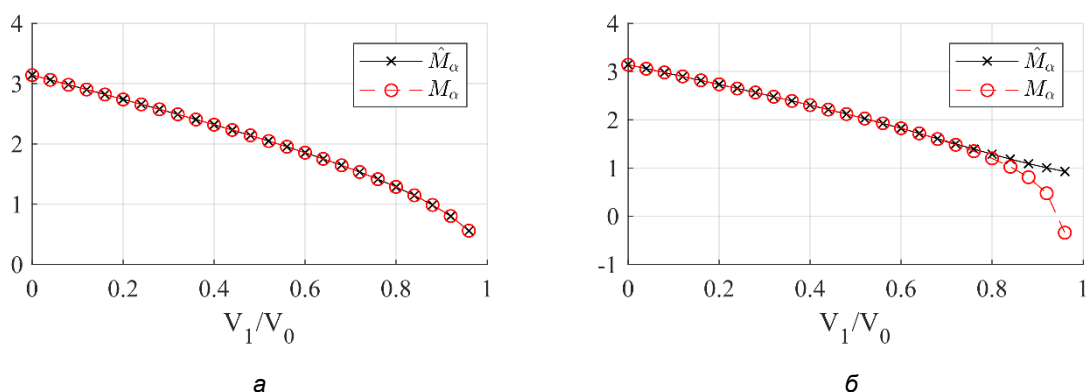


Рисунок 3 – Зависимость математического ожидания  $M_\alpha$  (красным) и выборочного среднего  $\hat{M}_\alpha$  (черным) угла  $\alpha$  от соотношения скоростей  $V_1 / V_0$  для  $\delta V_0 = 0.01$  (а),  $\delta V_0 = 0.1$  (б).

Приведенные выше статистические моменты (24) и (25) позволяют найти математическое ожидание (13) и дисперсию (14) для случая некоррелированных углов  $\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2$ , при котором  $\text{cov}_{\alpha_1 \alpha_2} = 0$ . Однако, учитывая тот факт, что в формировании и угла  $\alpha_1$  и угла  $\alpha_2$  участвует одна и та же величина  $V_0$ , входящая в знаменатели выражений (15), целесообразно рассмотреть случай корреляции между собой углов  $\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2$ . Рассмотрим эту связь в предположении, что плотности распределения вероятностей величин  $\hat{b}_1, \hat{b}_2$  близки к нормальным. Для вывода корреляционного момента  $\text{cov}_{\alpha_1 \alpha_2}$  с целью повышения наглядности введем функции

$$\begin{aligned} f &= f(V_1, V_0) = \arccos\left(\frac{V_1}{V_0}\right), \\ \tilde{f} &= \tilde{f}(V_2, V_0) = \arccos\left(\frac{V_2}{V_0}\right). \end{aligned} \quad (26)$$

Искомый угол  $\alpha$  является суммой функций (26). Корреляционный момент  $\text{cov}_{\alpha_1 \alpha_2}$  определяется известным выражением [5]:

$$\text{cov}_{\alpha_1 \alpha_2} = M_{\alpha_1 \alpha_2} + M_{\alpha_1} M_{\alpha_2} \quad (27)$$

где  $M_{\alpha_1 \alpha_2}$  – математическое ожидание произведения углов  $\alpha_1, \alpha_2$ .

Для вычисления выражения (27) используем разложение функций (26) в ряд Тейлора в окрестности математических ожиданий  $M_{V_0}, M_{V_1}, M_{V_2}$  с сохранением величин до второго порядка включительно:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &\approx f + f'_{V_1} (V_1 - M_{V_1}) + f'_{V_0} (V_0 - M_{V_0}) + \frac{1}{2} f''_{V_1 V_1} (V_1 - M_{V_1})^2 + \\ &\quad + \frac{1}{2} f''_{V_0 V_0} (V_0 - M_{V_0})^2 + \frac{1}{2} f''_{V_0 V_1} (V_0 - M_{V_0})(V_1 - M_{V_1}); \\ \alpha_2 &\approx \tilde{f} + \tilde{f}'_{V_2} (V_2 - M_{V_2}) + \tilde{f}'_{V_0} (V_0 - M_{V_0}) + \frac{1}{2} \tilde{f}''_{V_2 V_2} (V_2 - M_{V_2})^2 + \\ &\quad + \frac{1}{2} \tilde{f}''_{V_0 V_0} (V_0 - M_{V_0})^2 + \frac{1}{2} \tilde{f}''_{V_0 V_2} (V_0 - M_{V_0})(V_2 - M_{V_2}). \end{aligned} \quad (28)$$

Соответственно приближенные значения математических ожиданий углов (28) равны

$$M_{\alpha_1} \approx f + \frac{1}{2} f''_{V_1 V_1} \sigma_{V_1}^2 + \frac{1}{2} f''_{V_0 V_0} \sigma_{V_0}^2; \quad (29)$$

$$M_{\alpha_2} \approx \tilde{f} + \frac{1}{2} \tilde{f}''_{V_2 V_2} \sigma_{V_2}^2 + \frac{1}{2} \tilde{f}''_{V_0 V_0} \sigma_{V_0}^2.$$

Произведение углов  $\alpha_1 \alpha_2$  разложим в ряд Тейлора аналогичным образом:

$$\alpha_1 \alpha_2 \approx f \tilde{f} + f'_1 \tilde{f} (V_1 - M_{\alpha_1}) + f \tilde{f}'_2 (V_2 - M_{\alpha_2}) + (f'_{V_0} \tilde{f} + \tilde{f}'_0 f) (V_0 - M_{\alpha_0}) +$$

$$+ \frac{1}{2} f''_{V_1 V_1} \tilde{f} (V_1 - M_{\alpha_1})^2 + \frac{1}{2} \tilde{f}''_{V_2 V_2} f (V_2 - M_{\alpha_2})^2 +$$

$$+ \frac{1}{2} (f''_{V_0 V_0} \tilde{f} + 2f'_{V_0} \tilde{f}'_0 + f''_{V_0 V_0} f) (V_0 - M_{\alpha_0})^2.$$

Тогда приближенное значение математического ожидания произведения углов  $\alpha_1 \alpha_2$  примет вид

$$M_{\alpha_1 \alpha_2} \approx f \tilde{f} + \frac{\sigma_1^2}{2} \tilde{f} f''_{V_1 V_1} + \frac{\sigma_2^2}{2} f \tilde{f}''_{V_2 V_2} + \frac{\sigma_0^2}{2} (f \tilde{f}''_{V_0 V_0} + \tilde{f} f''_{V_0 V_0} + f'_{V_0} \tilde{f}'_0). \quad (30)$$

Соотношение (27) при подстановке (29) и (30) переписывается в виде

$$\text{cov}_{\alpha_1 \alpha_2} = f'_{V_0} \tilde{f}'_0 \sigma_{V_0}^2. \quad (31)$$

Учитывая производные  $f'_{V_0} = \frac{V_1}{V_0 \sqrt{V_0^2 - V_1^2}}$ ,  $\tilde{f}'_0 = \frac{V_2}{V_0 \sqrt{V_0^2 - V_2^2}}$  и подставляя вместо величин  $V_0, V_1, V_2$  их математические ожидания, получим окончательное выражение для корреляционного момента углов  $\alpha_1, \alpha_2$ :

$$\text{cov}_{\alpha_1 \alpha_2} = \frac{M_{V_1} M_{V_2}}{M_{V_0}^2 \sqrt{M_{V_0}^2 - M_{V_1}^2} \sqrt{M_{V_0}^2 - M_{V_2}^2}} \sigma_{V_0}^2 \quad (32)$$

Зависимость  $\text{cov}_{\alpha_1 \alpha_2}$  от угла  $\alpha$  приведена на рисунке 4.

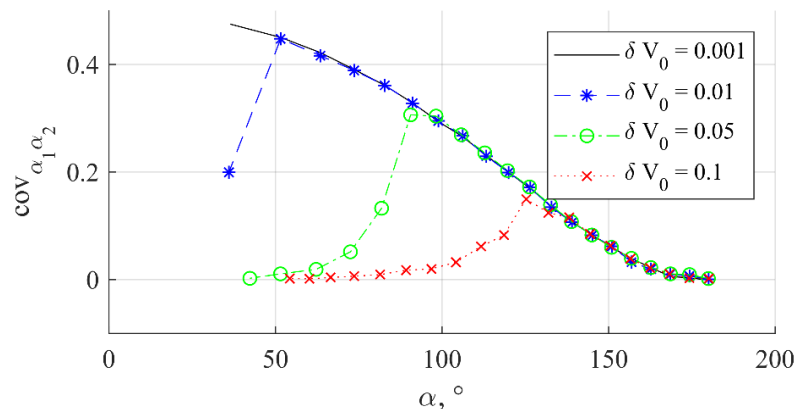


Рисунок 4 – Зависимость корреляционного момента  $\text{cov}_{\alpha_1 \alpha_2}$  от угла  $\alpha$  при различных коэффициентах вариации  $\delta V_0$ .

Момент корреляции (32) позволяет найти дисперсию угла  $\alpha$  для случая коррелированности оценок углов  $\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2$ . На рисунке 5 приведены зависимости выборочной дисперсии  $\hat{\sigma}_\alpha^2$  оценки угла  $\alpha$  и теоретической дисперсии  $\sigma_\alpha^2$  от соотношения измеряемых скоростей  $V_1/V_0$  для различных коэффициентов вариации  $\delta V_0$

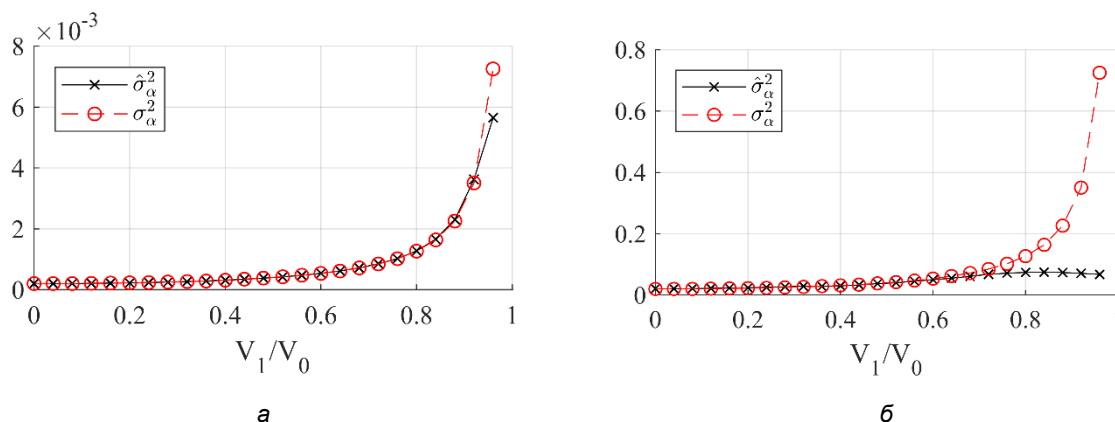


Рисунок 5 – Зависимость выборочной дисперсии  $\hat{\sigma}_\alpha^2$  (черным) и теоретической дисперсии  $\sigma_\alpha^2$  (красным) угла  $\alpha$  от соотношения скоростей  $V_1/V_0$  для  $\delta V_0 = 0.01$  (а),  $\delta V_0 = 0.1$  (б).

Используя угол  $\alpha$  можно оценить параметр  $\rho$  в соответствии с выражением (12). Статистические характеристики величины  $\rho$  можно также попытаться найти методом линеаризации  $\rho$  как функции от угла  $\alpha$  с помощью разложения в ряд Тейлора в окрестности математического ожидания  $M_\alpha$  с сохранением первых трех членов разложения [6]. Выражение математического ожидания примет вид

$$M_\rho \approx \rho(M_\alpha) + \frac{1}{2} \rho''_{\alpha\alpha}(M_\alpha) \sigma_\alpha^2. \quad (33)$$

Дисперсию можно оценить посредством выражения

$$\sigma_\rho^2 = [\rho'_\alpha(M_\alpha)]^2 \sigma_\alpha^2 + \frac{1}{4} [\rho''_{\alpha\alpha}(M_\alpha)]^2 (\mu_4 - \sigma_\alpha^4) + \rho'_\alpha(M_\alpha) \rho''_{\alpha\alpha}(M_\alpha) \mu_3 \quad (34)$$

где  $\mu_3$  – третий начальный момент случайной величины  $\alpha$ ;

$\mu_4$  – четвертый центральный момент случайной величины  $\alpha$ .

Если сделать предположение о том, что плотность распределения вероятности  $\alpha$  имеет гауссовский вид, то выражение (34) упроститься:

$$\sigma_\rho^2 = [\rho'_\alpha(M_\alpha)]^2 \sigma_\alpha^2 + \frac{1}{2} [\rho''_{\alpha\alpha}(M_\alpha)]^2 \sigma_\alpha^4 \quad (35)$$

На рисунке 6 приведены гистограммы распределения частот для величины  $\alpha$ , полученные методом Монте-Карло.

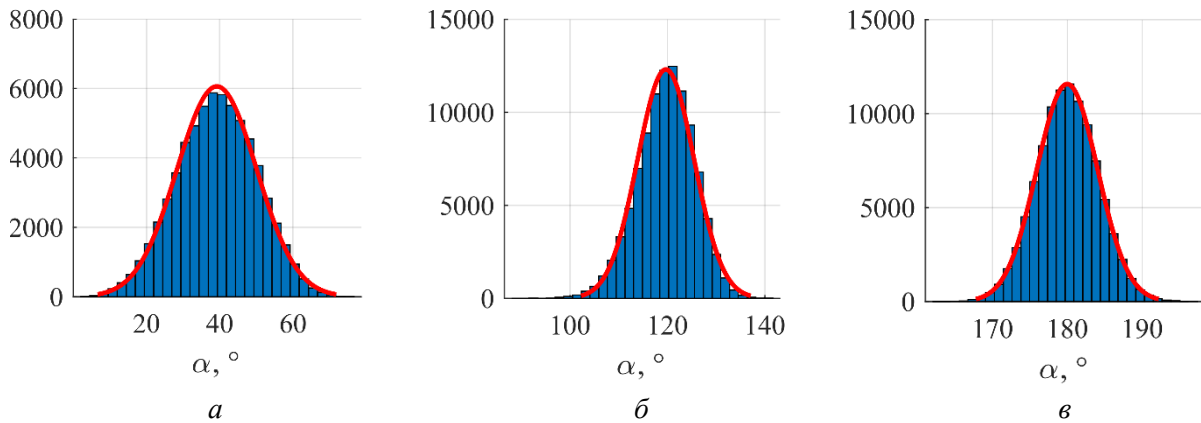


Рисунок 6 – Гистограммы распределения частот (синим) угла  $\alpha$  и аппроксимация гауссовой кривой (красным) для различных значений  $\hat{M}_\alpha$ :  $\hat{M}_\alpha = 40^\circ$  (а);  $\hat{M}_\alpha = 120^\circ$  (б);  $\hat{M}_\alpha = 180^\circ$  (в).

Ввиду громоздкости производных по углу  $\alpha$  выражения (12), входящих в (33) и (34), предлагается перейти к вычислению производных величины  $\rho^*$ , аппроксимирующей (12) как функцию  $\rho = \rho(\alpha, \tau)$ :

$$\rho^* = \rho^*(\alpha, \tau) = k_1 \coth[k_2 \alpha + k_3 \alpha \tau^2] - k_4 \sin(k_5 \alpha), \quad (36)$$

где  $k_1 = 1.576$ ;  $k_2 = 0.7848$ ;  $k_3 = 0.5213$ ;  $k_4 = 0.5922$ ;  $k_5 = 0.5445$ .

При этом выражения для первых двух производных  $\rho^*(\alpha, \tau)$  по углу  $\alpha$  выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned} \rho_{\alpha}^{*'}(\alpha) &= -\operatorname{csch}\left[\alpha(k_2 + \tau^2 k_3)\right]^2 k_1(k_2 + \tau^2 k_3) + k_4 k_5 \cos[\alpha k_5]; \\ \rho_{\alpha\alpha}^{*''}(\alpha) &= 2 \coth\left[\alpha(k_2 + \tau^2 k_3)\right] \operatorname{csch}\left[\alpha(k_2 + \tau^2 k_3)\right]^2 k_1(k_2 + \tau^2 k_3)^2 - k_4 k_5^2 \sin[\alpha k_5]. \end{aligned} \quad (37)$$

Для поиска аппроксимирующего выражения (36) использовалась множественная регрессия [10] по параметрам  $\alpha, \tau$ , причем параметр  $\tau$  варьировался в диапазоне  $[0, 0.5]$ , а угол  $\alpha$  в диапазоне  $[40^\circ, 180^\circ]$ . Оптимальность аппроксимации оценивалась по следующим полученным характеристикам: коэффициент детерминации  $R^2 = 0.9999$ , сумма квадратов регрессионных остатков  $SSE = 2.008$ , а их среднеквадратическое отклонение  $\sigma_{SSE} = 0.014$ . Зависимости  $\rho(\alpha)$  и  $\rho^*(\alpha)$  приведены на рисунке 7.

Также выражения для математического ожидания (33) и дисперсии (34) можно уточнить, если учесть случайный характер аргумента  $\tau$ , входящего в (12) и в (36). Тогда математическое ожидание величины  $\hat{\rho} = \rho(\hat{\alpha}, \hat{\tau})$  опишется выражением

$$M_\rho \approx \rho(M_\alpha, M_\tau) + \frac{1}{2} \rho_{\alpha\alpha}''(M_\alpha, M_\tau) \sigma_\alpha^2 + \frac{1}{2} \rho_{\tau\tau}''(M_\tau, M_\tau) \sigma_\tau^2 \quad (38)$$

где  $M_\tau$  – математическое ожидание  $\hat{\tau}$ ;

$\sigma_\tau^2$  – дисперсия  $\hat{\tau}$ .

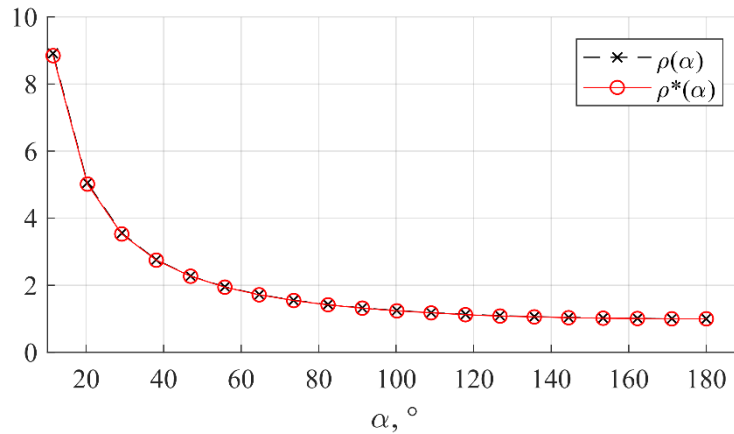


Рисунок 7 – Зависимости  $\rho(\alpha)$  (черным) и  $\rho^*(\alpha)$  (красным).

На рисунке 8 приведены зависимости математического ожидания  $M_\rho$  и выборочного среднего  $\hat{M}_\rho$  от угла  $\alpha$ .

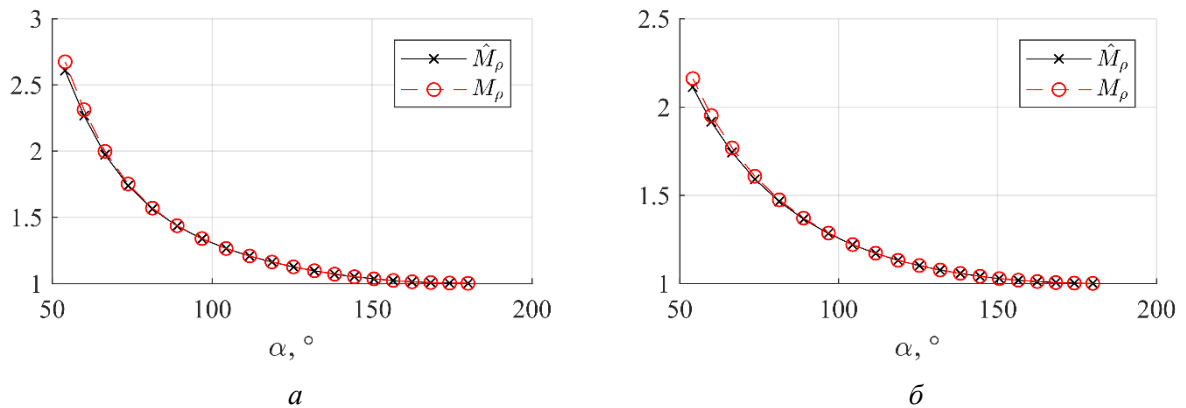


Рисунок 8 – Зависимости выборочного среднего  $\hat{M}_\rho$  (черным) и математического ожидания  $M_\rho$  (красным) угла  $\alpha$  для различных значений  $\delta V_0$ :  $\delta V_0 = 0.01$  (а);  $\delta V_0 = 0.1$  (б).

Окончательное выражение для дисперсии величины  $\hat{\rho}(\alpha, \tau)$  в случае отсутствия статистической связи между величинами  $\alpha$  и  $\tau$  примет вид

$$\begin{aligned} \sigma_\rho^2 = & \left[ \rho'_\alpha(M_\alpha, M_\tau) \right]^2 \sigma_\alpha^2 + \left[ \rho'_\tau(M_\tau, M_\tau) \right]^2 \sigma_\tau^2 + \frac{1}{2} \left[ \rho''_{\alpha\alpha}(M_\alpha, M_\tau) \right]^2 \sigma_\alpha^4 + \\ & + \frac{1}{2} \left[ \rho''_{\tau\tau}(M_\tau, M_\tau) \right]^2 \sigma_\tau^4 + \rho''_{\alpha\tau}(M_\tau, M_\tau) \sigma_\alpha^2 \sigma_\tau^2 \end{aligned} \quad (39)$$

Используемые в (38) и (39) производные величины  $\rho = \rho(\alpha, \tau)$  имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \rho'_\tau(\alpha, \tau) &= -2k_1 k_3 \alpha \tau \operatorname{csch} \left[ \alpha (k_2 + \tau^2 k_3) \right]^2; \\ \rho''_{\tau\tau}(\alpha, \tau) &= 2k_1 k_3 \alpha \operatorname{csch} \left[ \alpha (k_2 + \tau^2 k_3) \right]^2 \left( 4k_3 \alpha \tau^2 \coth \left[ \alpha (k_2 + \tau^2 k_3) \right] - 1 \right); \\ \rho''_{\alpha\tau}(\alpha, \tau) &= 2k_1 k_3 \tau \operatorname{csch} \left[ \alpha (k_2 + \tau^2 k_3) \right]^2 \left( 2\alpha \coth \left[ \alpha (k_2 + \tau^2 k_3) \right] (k_2 + \tau^2 k_3) - 1 \right). \end{aligned}$$

На рисунках 9 а–г синим цветом приведены гистограммы распределения частот оценки  $\rho$ , которые достаточно точно характеризуются распределением Берра (Burr, 1942) [11–12], что отражено

на рисунках 8 в виде красной огибающей. Данная статистика проверялась методом хи-квадрат с уровнем значимости  $q = 0.01$ .

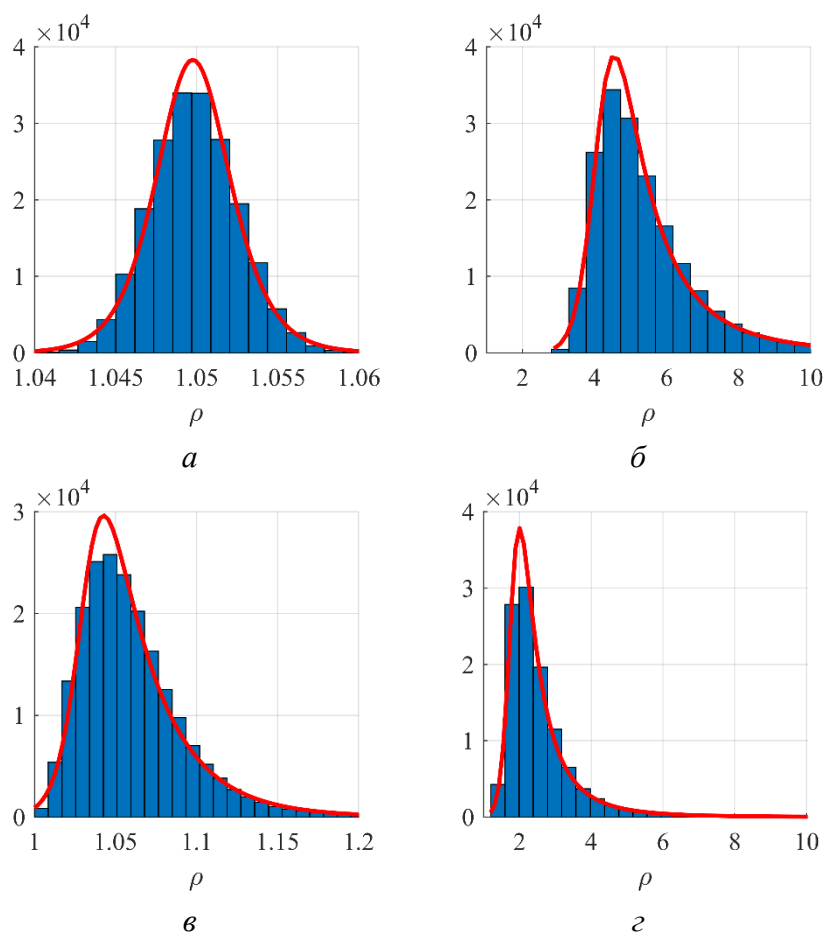


Рисунок 9 – Гистограммы распределения частот оценки  $\rho$  (синий) и аппроксимация законом распределения Берра (красный): а, в – для коэффициента вариации  $\delta V_0 = 0.01$ ; б, г – для коэффициента вариации  $\delta V_0 = 0.1$ ;

На рисунке 10 приведены зависимости теоретической дисперсии  $\sigma_\rho^2$  и выборочной дисперсии  $\hat{\sigma}_\rho^2$  от значения дальности  $\rho$ .

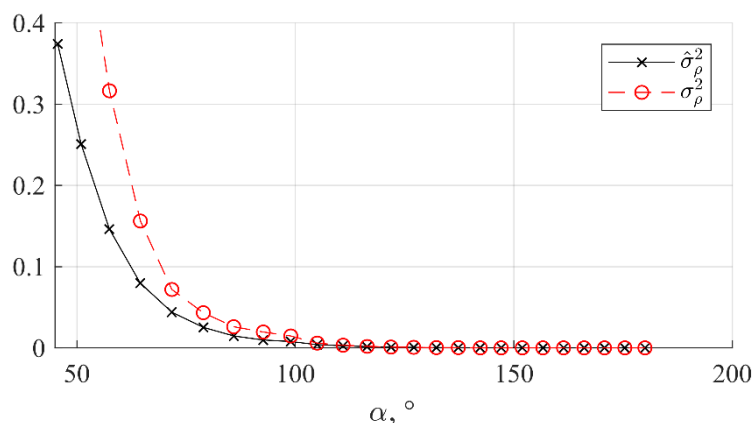
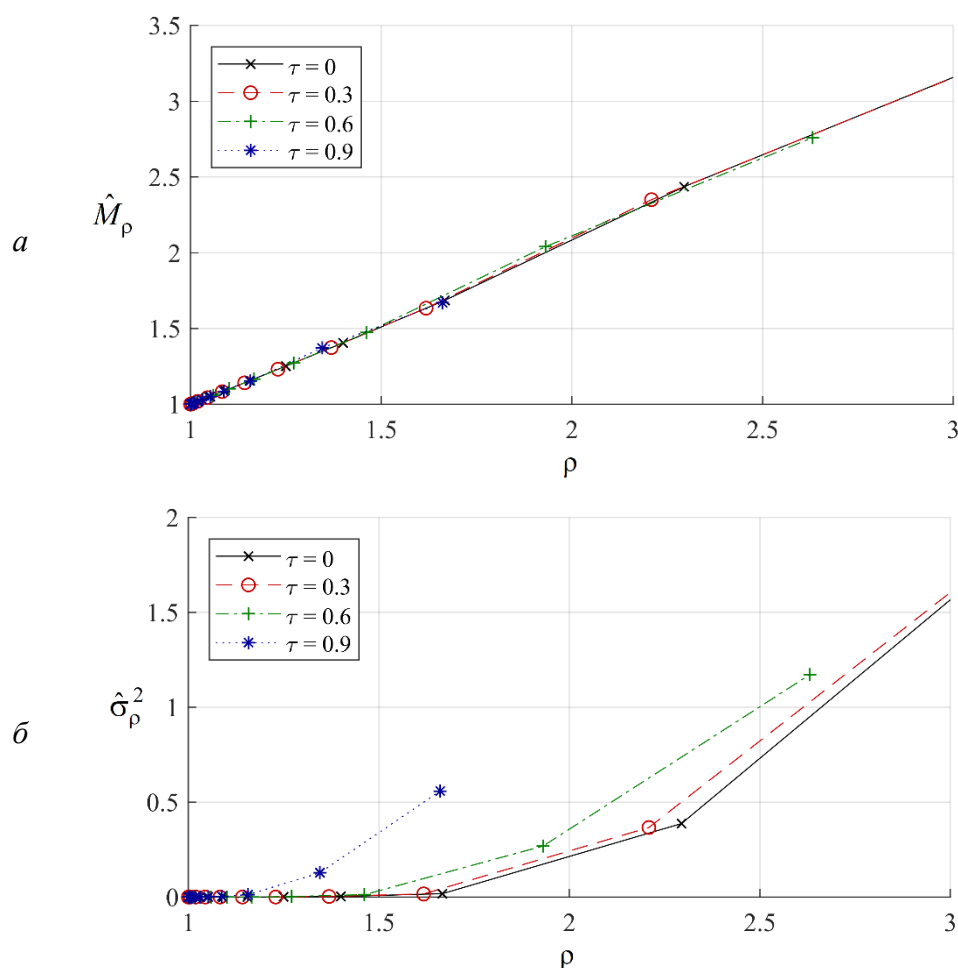


Рисунок 10 – Зависимость выборочной дисперсии  $\hat{\sigma}_\rho^2$  (черным) и теоретической дисперсии  $\sigma_\rho^2$  (красным) от дальности  $\rho$  при  $\delta V_0 = 0.1$ .

Из рисунка 10 видно, что при увеличении суммарной дальности  $\rho$  быстро возрастает дисперсия ее оценки  $\sigma_\rho^2$ . Более того, рассматривая производную  $\rho_\alpha^{*\prime}(\alpha)$  как функцию чувствительности дальности  $\rho$  к изменению угла  $\alpha$  можно заметить, что если угол  $\alpha$  устремить к нулю, то производная  $\rho_\alpha^{*\prime}(\alpha)$ , являющаяся функцией чувствительности величины  $\rho^*$  к изменению угла  $\alpha$ , устремится к минус бесконечности. Данная закономерность в условиях действующих погрешностей оценки  $\alpha$  делает неинформативной оценку суммарной дальности  $\rho$  при больших ее значениях. Учитывая асимметричность закона распределения величины  $\rho$ , можно попытаться получить более точную оценку, используя обобщение нормального закона распределения на случай асимметричного распределения случайной величины  $\rho$  и наличия тяжелых хвостов [13] или перейти к оценке моментов величины, имеющей распределение Берра с помощью метода максимального правдоподобия [14].

Некоторые статистические характеристики оценки величины  $\rho$ , получаемой приведенном выше способом исследовались методом Монте-Карло с объемом выборки равном 100000 испытаниям для каждого случая. Скорость  $V_0$  объекта, движущегося к базе, задавалась равной 100 м/с. На рисунках 11 (а–г) представлены: выборочное среднее  $\hat{M}_\rho$ , выборочная дисперсия  $\hat{\sigma}_\rho^2$ , выборочный коэффициент асимметрии  $\kappa_\rho^{(3)}$ , выборочный коэффициент эксцесса  $\kappa_\rho^{(4)}$  в зависимости от реальной суммарной дальности  $\rho$  для различных величин  $\tau$ . Из этих рисунков видно, что с ростом суммарной дальности  $\rho$  характеристики закона распределения ее оценки  $\hat{\rho}$  изменяются, что существенно ухудшает качество получаемых оценок, которые становятся все более смещенными в совокупности с растущими выбросами относительно их среднего. Выборочные коэффициенты асимметрии и эксцесса указывают на значительное отклонение от нормального распределения. На дальности  $\rho = 3$ , соответствующей удалению объекта от центра базы приблизительно на удвоенную длину базы, смещение выборочного среднего достигает 0,2 (около 7%).





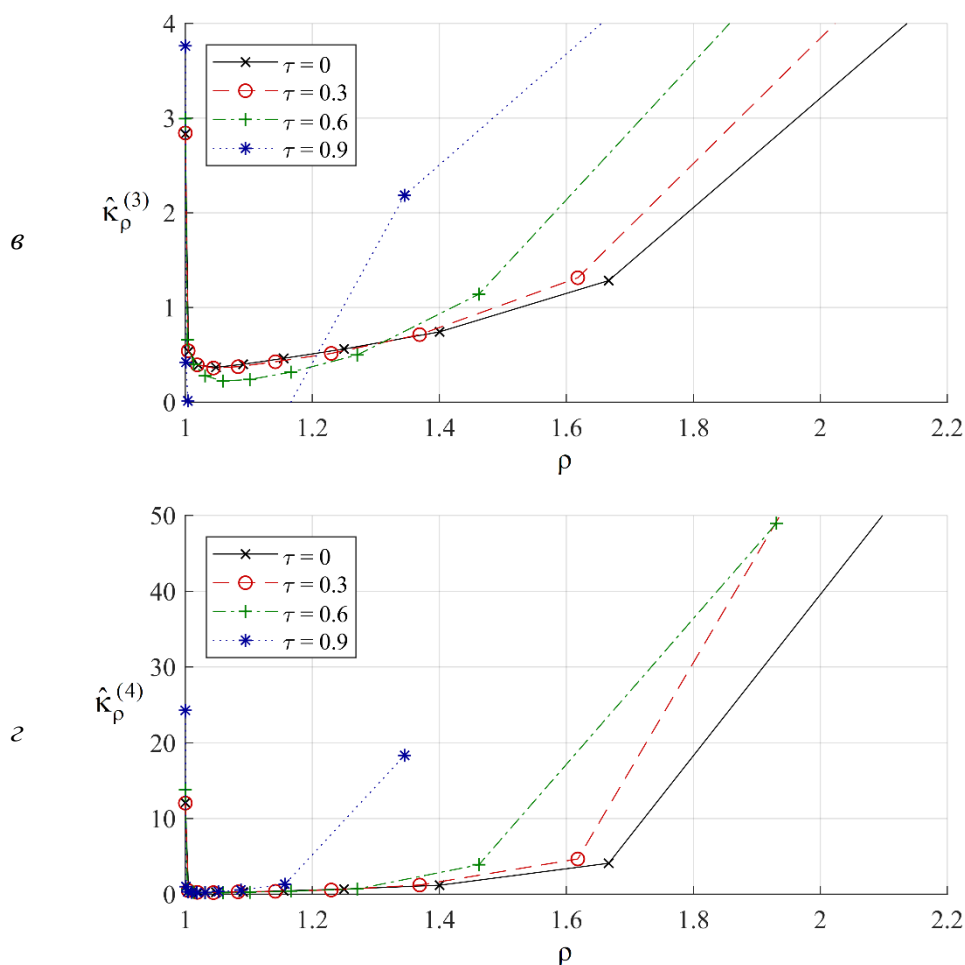


Рисунок 11 – Зависимости выборочных статистических характеристик величины  $\hat{\rho}$  от реальной суммарной дальности  $\rho$ : а – среднее  $\hat{M}_\rho$ , б – дисперсия  $\hat{\sigma}_\rho^2$ , в – коэффициент асимметрии  $\kappa_\rho^{(3)}$ , г – коэффициент эксцесса  $\kappa_\rho^{(4)}$ .

На рисунке 12 приведена траектория движения летательного аппарата на плоскости, скорость которого  $V_0 = 200$  м/с, наводимого с помощью разностно-дальномерной навигационной системы вдоль целевой гиперболы положения с параметром  $\tau_0 = 0.17$  и длиной базы  $2c = 800$  м.

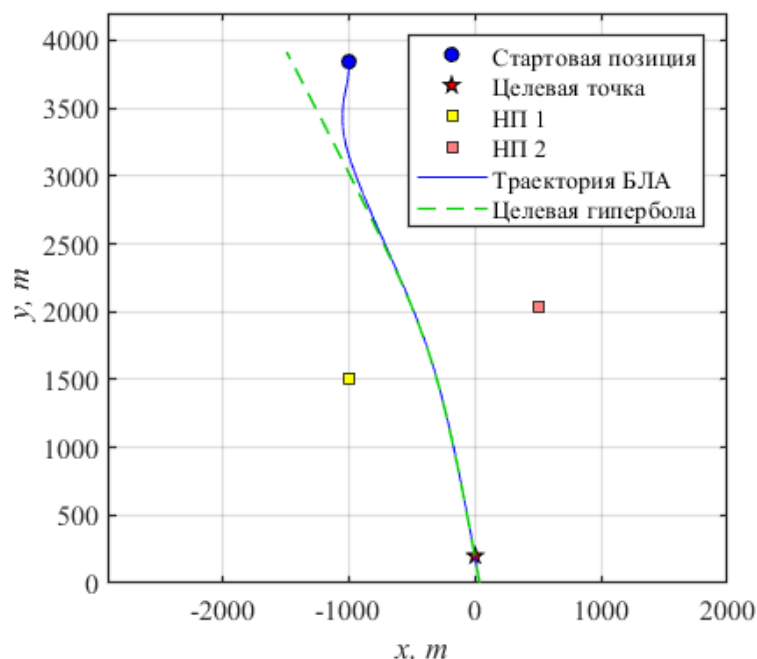


Рисунок 12 – Траектория движения БЛА, где НП – навигационная позиция.

На рисунках 13 (а–е) приведены зависимости получаемой с использованием выражений (4), (6), (9), (12) величины  $\hat{\rho}$  для смоделированной траектории движения БЛА, представленной на рисунке 12.

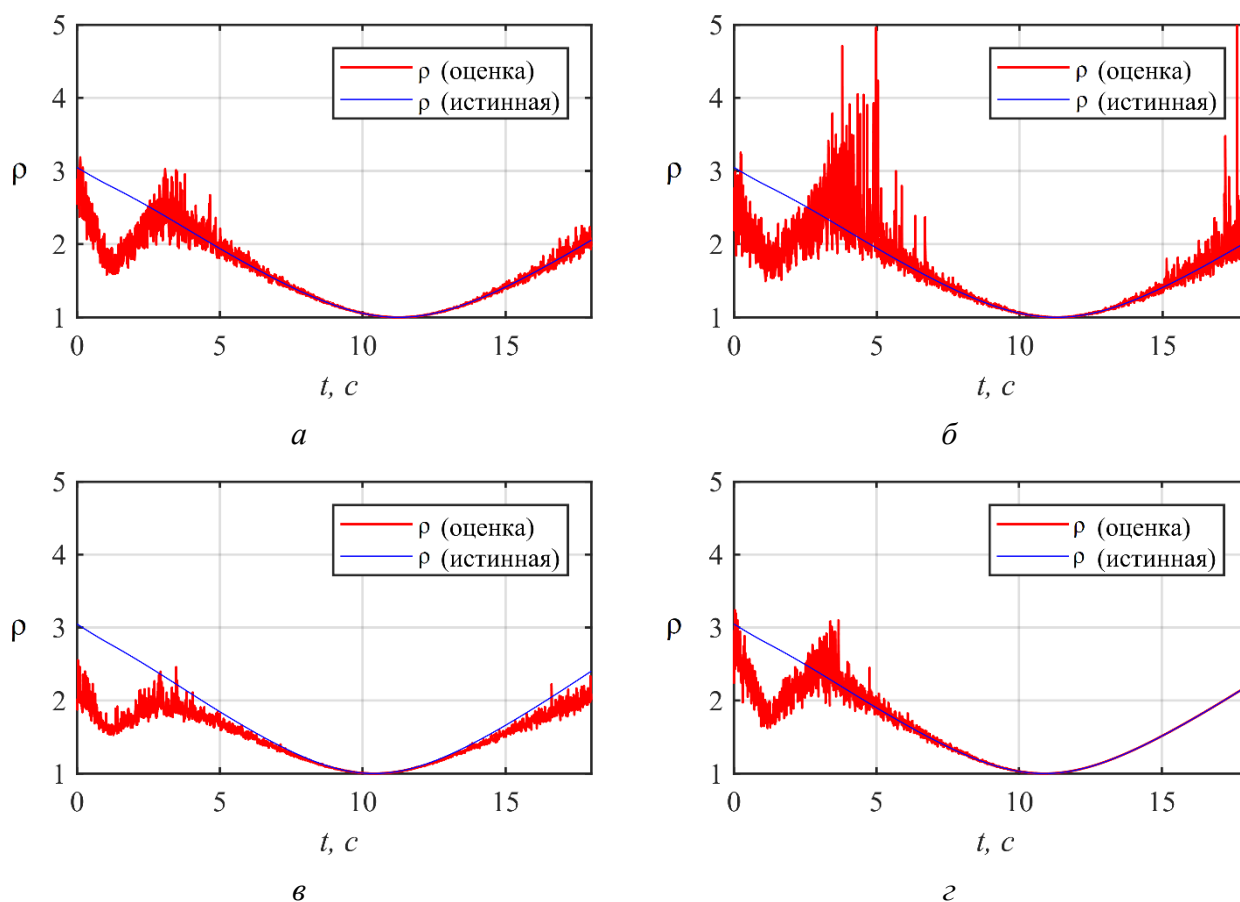


Рисунок 13 – Типичные реализации оценок  $\hat{\sigma}$ , полученные по результатам компьютерного моделирования движения БЛА по траектории, приведенной на рисунке 4 для различных статистических характеристик измерений скорости: а –  $\sigma_{V_0} = 5\text{ м/с}$ ,  $\sigma_{V_1} = 3\text{ м/с}$ ,  $\sigma_{V_2} = 3\text{ м/с}$ ; б –  $\sigma_{V_0} = 10\text{ м/с}$ ,  $\sigma_{V_1} = 6\text{ м/с}$ ,  $\sigma_{V_2} = 6\text{ м/с}$ ; в –

$$\sigma_{V_0} = 5 \text{ м/с}, \sigma_{V_1} = 3 \text{ м/с}, \sigma_{V_2} = 3 \text{ м/с}, \text{ а также на } 5\% \text{ смещено среднее значение } V_0; \varepsilon - \\ \sigma_{V_0} = 5 \text{ м/с}, \sigma_{V_1} = 3 \text{ м/с}, \sigma_{V_2} = 3 \text{ м/с}.$$

На рисунке 13 (з) приведена реализация той же оценки до момента пересечения линии базы, после чего величина  $\hat{\rho}$  рассчитывалась путем интегрирования измеряемых доплеровских сдвигов  $\Delta f_1, \Delta f_2$  частоты несущего навигационного сигнала в соответствии с выражениями (2) и

$$\hat{\rho}(T) = 1 + \frac{1}{2c} \int_0^T (\hat{V}_1 + \hat{V}_2) dt, \quad (40)$$

где  $T$  – время окончания интегрирования.  
Выражение (40) получено путем интегрирования выражения

$$\dot{\rho} = \frac{\dot{d}_1 + \dot{d}_2}{2c},$$

являющегося в свою очередь производной по времени от первого выражения в (3).

Оценка, получаемая с помощью выражения (40), может быть описана различными моделями. Например, величину  $\hat{\rho}$  можно представить в виде процесса броуновского движения с коэффициентом сноса, зависящим от времени [15]:

$$dX(t) = \mu(t) dt + \chi^2 dW_t, \quad (41)$$

где  $\mu(t)$  – коэффициент сноса;  
 $\chi^2$  – коэффициент диффузии;  
 $\delta W(t)$  – стандартный винеровский процесс.

При этом для момента времени  $T$  решение уравнения (41) примет вид

$$X(T) = X_0 + \int_0^T \mu(\tilde{t}) d\tilde{t} + \chi^2 W(t), \quad (42)$$

где  $X_0$  – стартовая точка процесса в начальный момент времени.

Если предполагается нормальность плотности распределения вероятности шумов оценок  $\hat{V}_1, \hat{V}_2$ , то выражение (40) в соответствии с моделью (41) можно записать в виде

$$\hat{\rho}(T) = 1 + \frac{1}{2c} \int_0^T (V_1(t) + V_2(t) + \xi_V(t)) dt, \quad (43)$$

где  $\xi_V(t) = \xi_{V_1}(t) + \xi_{V_2}(t)$  – суммарный гауссовский случайный процесс с математическим ожиданием, равным нулю и дисперсией  $\sigma_{V_1}^2 + \sigma_{V_2}^2$ .

В таком случае интеграл в выражении (43) распадается на сумму двух интегралов, один из которых описывает суммарную дальность, а второй характеризует случайное отклонение в виде винеровского процесса:

$$\hat{\rho}(T) = 1 + \frac{1}{2c} \int_0^T (V_1(t) + V_2(t)) dt + \frac{1}{2c} \int_0^T \xi_V(t) dt \quad (44)$$

Тогда, в соответствии с выражением (42) величина  $\hat{\rho}$  примет среднее значение

$$M_p(T) = \frac{d_1(T) + d_2(T)}{2c} \quad (45)$$

и дисперсию

$$\sigma_p^2(T) = \frac{(\sigma_{V_1}^2 + \sigma_{V_2}^2)}{4c^2} T. \quad (46)$$

Реальные оценки среднего и дисперсии, получаемые по формулам (45) и (46) будут иметь некоторое смещение вследствие неучтенной погрешности оценки момента времени пересечения линии базы объектом, при котором начинается интегрирование суммарной дальности. Эта проблема в рамках данной работы не рассматривалась.

### Заключение

Данный способ оценивания дальности был получен для решения задачи радиоуправления подвижным средством с целью его выведения в окрестность заданной точки вдоль линии положения в виде гиперболы, порождаемой измеряемой на борту разностью дальностей до двух навигационных позиций. Такая постановка задачи обеспечивает возможность навигации в пассивном режиме в разностно-дальномерной навигационной системе в случае отсутствия требуемого объема информации для решения полной системы навигационных уравнений. При этом при движении управляемого средства вблизи базы навигационной системы возникает динамическая ошибка, степень компенсации которой зависит от точности оценивания суммарной дальности.

Проведенное компьютерное моделирование подтвердило возможность оценивания суммарной дальности предлагаемым способом, а также позволило оценить различные ее статистические моменты. Оценка выборочного среднего и выборочной дисперсии оказались довольно близкими к теоретическим значениям, полученным в соответствии с приведенной в статье методикой. На основании представленных зависимостей можно заключить, что приведенный способ оценивания суммарной дальности подходит для случая расположения подвижного средства вблизи базы навигационной системы, поскольку по мере его удаления от линии базы оценки дальности становятся все более смещенной. Более того различные статистические моменты, в частности дисперсия, асимметрия, эксцесс также стремительно возрастают, что приводит к невозможности получения адекватных оценок суммарной дальности. Точность получаемой оценки также напрямую зависит от скорости движения приемника навигационного сигнала и точности измерений доплеровских сдвигов частоты и собственной скорости движения.

#### Список использованных источников:

1. Groves P. D. *Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems*, 2nd ed., Artech House, 2013.
2. Легкоступ В.В., Шабан С.А., Маркевич В.Е. Методика синтеза устройства управления по методу аналитического конструирования оптимального регулятора для задачи наведения летательного аппарата вдоль гиперболы. Доклады БГУИР 2022; 20(1).
3. Легкоступ В.В., Маркевич В.В. Уравнения кинематики беспилотного летательного аппарата в эллиптической системе координат при наведении по разностно-дальномерной навигационной информации. «Системный анализ и прикладная информатика». 2021;(1):12-20.
4. Легкоступ В.В. Методика определения кинематической связи между управляющими летательным аппаратом ускорениями и его эллиптическими координатами в альтернативном представлении. «Системный анализ и прикладная информатика». 2021;(3):15-24.
5. Легкоступ В.В., Маркевич В.Э. Методика определения дальности до объекта в разностно-дальномерной навигационной системе по доплеровским смещениям частоты. «Системный анализ и прикладная информатика». 2021;(4):40-46.
6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. для вузов / Е. С. Вентцель. – 5-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 1998. – 576 с.
7. Hinkley D.V. On the Ratio of Two Correlated Normal Random Variables. *Biometrika*, Vol. 56 (3), 1969, pp. 635–639.
8. Díaz-Francis, Eloísa; Rubio, Francisco J. On the existence of a normal approximation to the distribution of the ratio of two independent normal random variables. *Statistical Papers. Springer Science and Business Media LLC*. 54 (2): 309–323.
9. Johnson, N.L., Kotz, S., Balakrishnan, N. *Continuous Univariate Distributions*, Vol. 1, 2nd Edition. John Wiley, New York, 1994.
10. Закс, Л. Статистическое оценивание / Л. Закс. - М.: Статистика, 1976. - 600 с.
11. Burr, Cumulative Frequency Functions. *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 13, No. 2, 1942, pp. 215-232.
12. Okasha MK, Matter MY (2015) On the Three-Parameter Burr Type XII Distribution and its Application to Heavy Tailed Lifetime Data. *Journal of Advances in Mathematics*. 10: 3429- 3442.
13. Roth M., Ozkan E., Gustafsson F. A Student's t-filter for heavytailed process and measurement noise, "2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing", Vancouver, BC, 2013, pp. 5770-5774.
14. Quanxi Shao. "Notes on maximum likelihood estimation for the three-parameter Burr XII distribution". *Computational Statistics and Data Analysis* 45(3), pp.675-687, 2004
15. Allen E. *Modeling with Itô Stochastic Differential Equations*. Vol. 22. Springer ScienceBusiness Media, 2007.

UDC 629.056

## METHOD FOR ESTIMATION OF BISTATIC RANGE IN BISTATIC TDOA NAVIGATION SYSTEM BY USING DOPPLER MEASUREMENTS

*Legkostup Victor*

*JSC "ALEVKURP"*

*Korolev Stan village, Minsk region, Republic of Belarus*

*Markevich V.E. – PhD in Technical Sciences*

**Annotation.** A method for estimating the bistatic range from a moving object to two navigation points using time difference of arrival and Doppler measurements was considered. It was used to solve the problem of synthesizing a radio control loop for a moving object according to the data of navigation system used time difference of arrival method in conditions of a limited amount of navigation information. An expression for estimating bistatic range between an object and two navigation points was obtained. Also the main statistical characteristics of the estimated bistatic range were considered.

**Keywords.** Bistatic navigation system, time-difference of arrival navigation, Doppler navigation, hyperbole guidance, bistatic range measurement, elliptical coordinate system, statistical characteristics, Burr distribution, unmanned aerial vehicle.

## СЦЕНАРИИ НАВИГАЦИИ В РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНЫХ СИСТЕМАХ ПРИ НЕДОСТАТКЕ НАВИГАЦИОННЫХ ДАННЫХ

*Легкоступ В.В.*

*ОАО «АЛЕВКУРП»*

*д. Королев Стан, Минский район, Республика Беларусь*

*Маркевич В.Э. – канд. техн. наук*

В работе рассмотрены четыре сценария навигации транспортных средств в разностно-дальномерной навигационной системе, при которых требуется осуществлять радиуправление данными средствами при неполном количестве навигационных измерений.

В последнее время много внимания уделяется спутниковым навигационным системам (СНС), методам повышения их точности, надежности, информативности [1]. Это вызвано таким преимуществом разностно-дальномерного метода определения координат объектов, как отсутствие необходимости иметь в составе абонентского оборудования передатчик ответного/запросного сигнала, что с одной стороны снижает стоимость, размеры и энергопотребление абонентского оборудования, а с другой стороны снимает ограничения на пропускную способность таких навигационных систем.

Как известно [2], для решения навигационной задачи на плоскости абоненту необходимо иметь по меньшей мере два разностно-дальномерных измерения, основанных на сигналах, передаваемых тремя синхронизированными навигационными позициями. Для решения пространственной навигационной задачи абоненту необходимо иметь по меньшей мере три разностно-дальномерных измерения, основанных на сигналах четырех синхронизированных навигационных позиций. При этом в случае отсутствия сигнала одной из навигационных позиций решение навигационной задачи становится невозможным. Для снижения вероятности срыва процесса навигации бортовое оборудование абонентов оснащается инерциальной навигационной системой (ИНС), а количество отслеживаемых приемником навигационных позиций по возможности превышает необходимый минимум. Так, в случае использования СНС количество видимых абонентом спутников под открытым небом в беспомеховой обстановке часто превышает необходимый минимум на один–два спутника при использовании СНС только одного типа. Тем не менее, при потере необходимого количества навигационных сигналов использование ИНС не позволяет осуществлять высокоточную навигацию в течении продолжительного времени по причине неограниченно накапливающихся погрешностей [1]. Это может иметь негативные последствия при движении управляемых транспортных средств на критически важных участках траекторий, например, при посадке воздушного средства или при наведении высокоточного оружия.

Далее приведено несколько сценариев, описывающих ситуацию отсутствия части навигационных радиосигналов при использовании разностно-дальномерных навигационных систем, что вынуждает осуществлять радиуправление подвижными объектами при недостаточном объеме навигационной информации.

*Сценарий А – Навигация летательного аппарата по данным наземной радионавигационной системы в случае отсутствия радиосигналов части навигационных точек. Используемые*

авиацией и морскими судами системы навигации типа «Альфа», «Чайка», «Марс-75» позволяют с помощью разностно-дальномерного метода оценить местоположение транспортного средства с дальностью действия от 1 до 10 тысяч километров в зависимости от используемой системы [2]. Для устойчивой навигации необходимо принимать сигналы хотя бы двух передающих маяков.

В случае потери сигнала бортовым приемным оборудованием одного из маяков, навигация с использованием данных систем становится затруднительной или невозможной в зависимости от дальности расположения остальных навигационных маяков. При этом принимаемый бортовым оборудованием сигнал даже одного из маяков может быть использован совместно с ИНС для навигации и радиоуправления транспортным средством в автоматическом режиме.

*Сценарий Б – Навигация летательного аппарата по данным спутниковой навигационной системы в случае отсутствия радиосигналов части навигационных космических аппаратов.* Рассмотрим использование информации от одной из глобальных СНС для нужд навигации и радиоуправления подвижными объектами. Например, группировка СНС ГЛОНАСС представлена 24 навигационными космическими аппаратами (НКА), находящимися на трех орбитах [1]. Для оценивания местоположения объекта приемнику необходимо устойчиво получать навигационный сигнал как минимум от четырех НКА, а в реальности эта цифра увеличивается до 5–7. Антенны приемного оборудования как правило изготавливают с широкой диаграммой направленности. Это обусловлено тем, что видимое приемнику в любой момент времени созвездие НКА занимает довольно большой телесный угол, не позволяя использовать узконаправленные антенны, тем более, когда речь идет об авиации, где использование больших антенн было бы затруднительно. С другой стороны, прием сигналов НКА, расположенных внутри относительно малого телесного угла приводит к снижению точности оценки местоположения абонента. Поэтому для высокоточной навигации желательно принимать также сигналы от НКА, находящихся вблизи горизонта.

Использование антенн с широкой диаграммой направленности делает бортовое навигационное оборудование более уязвимым к действию помех без применения специальных методов помехозащиты, например, адаптивной компенсации помех [3]. В случае действия преднамеренных помех приемному оборудованию может оказаться так, что часть сигналов НКА, находящихся близко к горизонту и позволяющих осуществлять наиболее высокоточную навигацию окажутся подавлены. При этом все еще могут быть доступны сигналы двух–трех НКА, расположенных высоко над горизонтом, однако не позволяющих прямо решить навигационную задачу. В таком случае данные сигналы могут дополнить бортовую ИНС, использующую информацию высотомера и гирокомпы для высокоточного решения навигационной задачи на длительном интервале времени.

*Сценарий В – Наведение высокоточного оружия по данным спутниковой навигационной системы или наземных навигационных радиомаяков в случае отсутствия радиосигналов части навигационных точек.* СНС широко используются для наведения средства воздушного нападения с высокой точностью в различных точках планеты, что позволяет снизить как количество боекомплекта, требуемого для поражения конкретных объектов, так и длительность военной операции, а также уменьшить причиняемый объектам гражданской инфраструктуры непреднамеренный ущерб.

В случае использования крылатых ракет, управляемых авиабомб, снарядов, мин, наводимых с использованием СНС, высокоточная навигация требуется вблизи точки цели, а точность следования кинематической траектории метода наведения является второстепенной задачей, связанной в основном с дальностью стрельбы [4].

Как и в случае сценария Б, возможна ситуация подавления части навигационных сигналов от НКА, расположенных близко к горизонту или от маяков в районе расположения точки цели (если навигация осуществляется по радиопередающим маякам) в результате действия преднамеренных помех, либо по причине их целенаправленного уничтожения. При этом часть навигационных сигналов, сопровождаемая бортовым навигационным оборудованием наводимого средства, может быть доступна и использоваться для коррекции бортовой ИНС или в качестве целеуказания.

*Сценарий Г – Локальная навигация беспилотных транспортных средств вблизи зоны парковки или погрузочно-разгрузочной площадки, в том числе внутри помещения.* Для задач транспортировки грузов роботизированными транспортными средствами развиваются системы высокоточной навигации [5]. Многие современные роботизированные средства оснащаются системами компьютерного зрения. Однако такие системы в настоящий момент времени не являются высоконадежными и универсальными.

Для задачи навигации роботизированного транспортного средства вблизи зоны парковки и погрузочно-разгрузочной площадки в том числе внутри помещения, например, склада может быть использована локальная разностно-дальномерная навигационная система [6]. При этом может быть создана ситуация, когда количество навигационной информации абонента будет недостаточно для решения навигационной задачи. В таком случае принимаемые навигационные сигналы могут быть использованы для выработки команд радиоуправления с целью оптимального решения задачи

перемещения на местности или контроля маршрута движения транспортных средств, а также их выведения в зону парковки.

Приведенные выше сценарии описывают ситуации навигации управляемых средств при недостаточном объеме навигационной информации, что может привести к срыву решения поставленной управляемому средству задачи. В этом случае для обеспечения устойчивого процесса радиоуправления может быть использован способ, предложенный в [7], решающий задачу оптимального управления при недостаточном количестве навигационной информации.

**Список использованных источников:**

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд. 4-е, перераб. и доп. - М: Радиотехника, 2010. 800 с, ил.
2. Скрыпник О.Н. Радионавигационные системы воздушных судов: учебник. –М.: ИНФРА-М, 2018. – 352 с.
3. Помехозащита радиозлектронных систем управления летательными аппаратами и оружием. Монография / Под ред. В.Н. Лепина. –М.: Радиотехника, 2017. –416 с.
4. Savchenko, V., Tolubko, V., Berkman, L., Syrotenko, A., Shchypanskyi, P., Matsko, O., Open'ko, P. (2020). Model of an alternative navigation system for high-precision weapons. *The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology*
5. Liu, S., Li, L., Tang, J., Wu, S., & Gaudiot, J.-L. (2020). *Creating Autonomous Vehicle Systems, Second Edition. Synthesis Lectures on Computer Science*, 8(2), i–216.
6. Tiemann J, Wietfeld C (2017) Scalable and precise multi-uav indoor navigation using tdoa-based uwb localization. In: 2017 international conference on indoor positioning and indoor navigation (IPIN), IEEE, pp 1–7.
7. Легкоступ В.В., Шабан С.А., Маркевич В.Е. Методика синтеза устройства управления по методу аналитического конструирования оптимального регулятора для задачи наведения летательного аппарата вдоль гиперболы. Доклады БГУИР 2022; 20(1).

## КОМПЕНСАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОШИБКИ ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОГО СРЕДСТВА ВДОЛЬ ГИПЕРБОЛЫ

Легкоступ В.В.

ОАО «АЛЕВКУРП»

д. Королев Стан, Минский район, Республика Беларусь

Маркевич В.Э. – канд. техн. наук

Получено выражение для компенсации динамической ошибки, возникающей при движении управляемого средства по гиперболе.

В [1] рассматривалась задача радиоуправления подвижного средства в разностно-дальномерной навигационной системе на плоскости при наличии лишь одного из двух навигационных измерений. В [2] был синтезирован контур управления. Учитывая то, что движение управляемого средства происходит вдоль гиперболы положения, следует ожидать, что вблизи линии базы, где гипербола имеет наивысшую кривизну, будет образовываться динамическая ошибка.

При постоянстве разностно-дальномерной координаты  $\tau$  движение управляемого средства должно происходить по криволинейной траектории – гиперболе. Так как измерения производятся в криволинейной эллиптической системе координат, описание движения в декартовых координатах покажет наличие динамической ошибки наведения. Для компенсации этой ошибки необходимо выразить требуемое ускорение  $W_{\text{комп}}$  для движения по заданной гиперболе, воспользовавшись известным из механики выражением

$$W_{\text{комп}} = \frac{V^2}{R}, \quad (47)$$

где  $V$  – скорость движения по кинематической траектории;

$R$  – радиус кривизны кинематической траектории.

Квадрат скорости движения вдоль гиперболы  $V^2$  можно определить, используя коэффициенты Ламе для альтернативной эллиптической системы координат следующим образом [1]:

$$V^2 = c^2(\rho^2 - \tau^2) \left( \frac{\dot{\rho}^2}{\rho^2 - 1} - \frac{\dot{\tau}^2}{\tau^2 - 1} \right). \quad (48)$$

где  $c$  – фокусное расстояние гиперболы;  $\rho$  – суммарное расстояние;  $\tau$  – разностное расстояние.

Выражение для радиуса кривизны гиперболы [3]

$$R = \frac{\left( \frac{a^2}{b^2} y^2 + \frac{b^2}{a^2} x^2 \right)^{3/2}}{ab} \quad (49)$$

где  $a, b$  – большая и малая полуоси гиперболы соответственно;  $x, y$  – декартовы координаты. Следует переписать с использованием параметров  $c, \rho, \tau$ , описывающих эллиптические координаты. Учитывая также, что квадрат координаты  $\tau$  обратно пропорционален квадрату эксцентриситета гиперболы  $\tau^2 = \frac{1}{\varepsilon^2} = \frac{a^2}{a^2 + b^2}$ , запишем выражение (49) в виде

$$R = \frac{c(\rho^2 - \tau^2)^{3/2}}{\tau\sqrt{1 - \tau^2}} \quad (50)$$

Подставляя (48) и (50) в (47) получим выражение для требуемого ускорения управляемого объекта, движение которого происходит по гиперболе, характеризуемой параметром  $\tau$ :

$$W_{\text{комп}} = \frac{c(\tau\rho^2(1 - \tau^2) + \tau\dot{\tau}^2(\rho^2 - 1))}{(\rho^2 - 1)\sqrt{\rho^2 - \tau^2}\sqrt{1 - \tau^2}} \quad (51)$$

**Список использованных источников:**

1. Легкоступ В.В. Методика определения кинематической связи между управляющими летательным аппаратом ускорениями и его эллиптическими координатами в альтернативном представлении. «Системный анализ и прикладная информатика». 2021;(3):15-24.
2. Легкоступ В.В. Шабан С.А., Маркевич В.Е. Методика синтеза устройства управления по методу аналитического конструирования оптимального регулятора для задачи наведения летательного аппарата вдоль гиперболы. Доклады БГУИР 2022; 20(1).
3. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1970.

УДК 621.396

## МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЛОКАТОРА С СИНТЕЗИРОВАНИЕМ АПЕРТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ В РЕЖИМЕ ОДНОПРОХОДНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Лобан М.А., магистрант гр.145241

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

Козлов С.В. – доктор технических наук

**Аннотация.** Приведена методика оптимизации параметров радиолокатора с синтезированием апертуры космического базирования в режиме однопроходной интерферометрии при решении задач оперативного оценивания рельефа подстилающей поверхности. Рассмотрены основные параметры функционирования радиолокатора космического базирования и их ограничения.

**Ключевые слова.** радиолокатор с синтезированием апертуры, однопроходной режим, интерферометрическая обработка, радиолокационное изображение, космический аппарат.

### Введение

Одной из тенденций развития радиолокаторов с синтезированием апертуры (РСА) космического базирования (КБ) является широкое применение интерферометрической обработки для получения цифровых моделей местности (ЦММ) и цифровых моделей рельефа (ЦМР) и измерения высот размещенных на местности объектов [1].

Наибольшее распространение получили интерферометрическая обработка с использованием разделения общей апертуры на две субапертуры с разнесенными фазовыми центрами для селекции движущихся объектов [2] и многопроходная интерферометрия – обработка двух и более комплексных радиолокационных изображений (РЛИ), полученных при съемке одного и того же участка местности на различных витках орбиты космического аппарата (КА) с разнесением во времени от нескольких суток до нескольких месяцев с получением высот элементов разрешения земной поверхности и размещенных на ней объектов. Второй вариант используется для обнаружения сдвигов земной поверхности при наличии стабильных отражателей с субмиллиметровой точностью [3].

Рассматриваемый метод позволяет оперативно решать задачи по:

- построению ЦМР и ЦММ земной поверхности с значением среднеквадратического отклонения определения высот единицы метров;
- контролю состояния техногенных объектов (здания, трубопроводы, мосты и т.д.);
- мониторингу смещений и деформаций земной поверхности в районе горных выработок, сейсмической и вулканической активности, таяния вечной мерзлоты и т.д.;
- наблюдением за таянием ледников, гидрология в отдаленных и горных районах [5].



Геометрия наблюдения за поверхностью в случае однопроходной интерферометрической съемки для РСА космического базирования изображена на рисунке 1 [10].

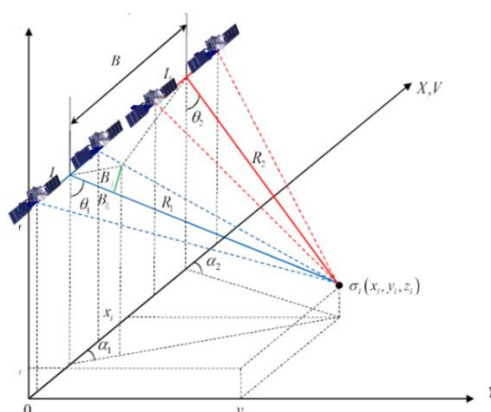


Рисунок 1 – Геометрия наблюдения при однопроходной интерферометрической съемке

Оценивание высот и отображение сдвигов происходит за счет измерения интерферометрической разности фаз (ИРФ) комплексных РЛИ, полученных в различные моменты времени [4]. Пример рельефа местности и соответствующей ИРФ представлен на рисунке 2.

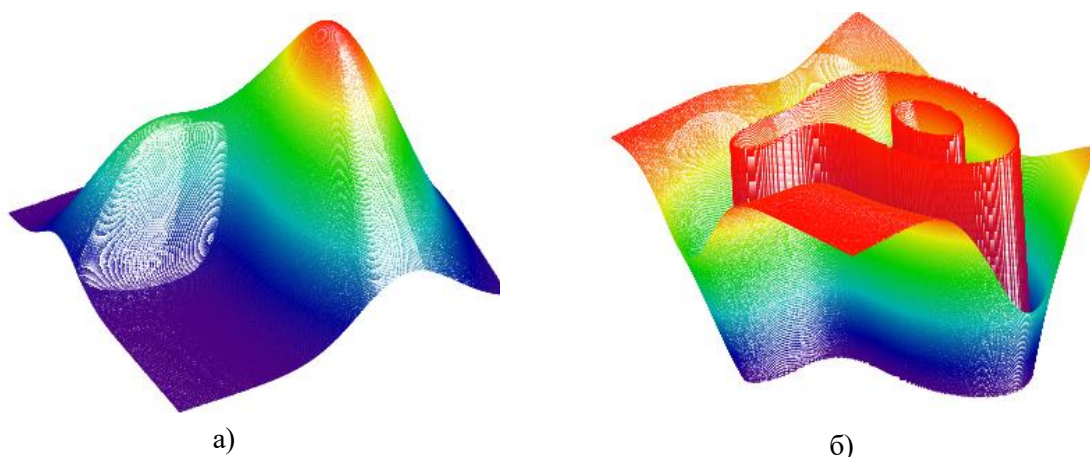


Рисунок 2 – Пример рельефа местности (а) и соответствующей ИРФ (б)

Основным недостатком способа многопроходной интерферометрии является большое (от нескольких суток до нескольких недель) время выдачи информации. Это обуславливает возрастание интереса к однопроходной интерферометрии, когда ИРФ вычисляется на основе пары РЛИ, полученных на одном витке при последовательном наблюдении радиолокационной сцены при близких значениях ракурса наблюдения. Вопросы однопроходной интерферометрии при решении задач оперативного оценивания рельефа подстилающей поверхности применительно к РСА авиационного базирования рассматривались в работах [5,6,7]. Показана соизмеримость точности оценки высот с использованием одно- и многопроходной интерферометрии и установлено существование оптимальной базы при однопроходной интерферометрической обработке. Отдельным преимуществом однопроходной интерферометрии является упрощение разворачивания фазы при устранении неоднозначности (unwrapping of phase), что может быть достигнуто за счет использования многошкальной обработки.

Основной особенностью РСА космического базирования, в отличие от авиационного, является крайне ограниченный сектор сканирования главного лепестка диаграммы направленности антенны (луча) в азимутальной плоскости. Например, для РСА TerraSAR-X и многих других типов РСА угол сканирования по азимуту не превышает  $\pm 0,75^\circ$  [8]. Следовательно, реализовать рекомендуемое согласно [9,10] время наблюдение при заданной базе не представляется возможным. Поэтому результаты [9,10] требуют уточнения с учетом ограничений, обусловленных спецификой РСА космического базирования, что и определяет цель настоящей статьи.

#### Методика оптимизации параметров функционирования

Традиционные способы функционирования РСА КБ в маршрутном режиме предполагают реализацию бокового обзора, когда угол  $\alpha$  между вектором скорости КА и направлением

наблюдения в горизонтальной плоскости составляет  $\alpha_0 = 90^\circ$ . При реализации детального режима угол  $\alpha$  за счет электронного управления лучом изменяется в диапазоне от  $90^\circ - \alpha_{\max}$  до  $90^\circ + \alpha_{\max}$ , где  $\alpha_{\max}$  - максимальный угол отклонения луча от нормали к плоскости антенной системы в азимутальной плоскости,  $\alpha_{\max} \approx 0,75^\circ$ .

Для получения отличной от нуля ИРФ необходимо, чтобы на интервале наблюдения среднее значение угла наблюдения  $\alpha \neq 90^\circ$ . Это может быть достигнуто поворотом корпуса КА с установленной антенной системой в горизонтальной плоскости. С учетом ограничений на затраты топлива на поворот КА будем полагать, что угол  $\alpha$  может находиться в диапазоне  $\alpha = 45^\circ \dots 80^\circ$ .

Отметим, что с учетом необходимости разворота КА в плоскости курса необходима реализация новых для РСА КБ способов обработки сигналов при переднебоковом обзоре. С учетом большой скорости КА, высокого разрешения по наклонной дальности и большого времени синтезирования реализация указанных способов обработки предполагает учет высших производных дальности между фазовым центром антенны РСА и участком земной поверхности с реализацией компенсации миграции дальности и частоты, например, экономичных алгоритмов в спектральной области, приведенных в [10].

Получим аналитические соотношения, связывающие пространственные условия наблюдения, ограничения на сектор электронного сканирования в азимутальной плоскости, характеристики декорреляции отраженного сигнала, с одной стороны, и достижимую среднюю квадратическую ошибку определения высоты, с другой стороны. Для этого запишем разность расстояний до центра наблюдаемой сцены при построении двух последовательно получаемых комплексных РЛИ

$$\Delta = 2\sqrt{H^2 \cdot \tan^2(\theta) \cdot \sin^2(\alpha_1) + H^2 \cdot \tan^2(\theta) \cdot \cos^2(\alpha_1) + (H - z)^2} - 2\sqrt{H^2 \cdot \tan^2(\theta) \cdot \sin^2(\alpha_1) + (H \cdot \tan(\theta) \cdot \cos(\alpha_1) - B) + (H - z)^2}, \quad (1)$$

где  $H$  – высота орбиты КА;  $\theta$  – угол отклонения от надира;  $\alpha_1 = \alpha - \alpha_{\max}$  – угол наблюдения в азимутальной плоскости в момент начала съемки;  $B$  – база интерферометрической съемки;  $z$  – высота отражателя в элементе разрешения.

При записи (1) считалось, что в начальный момент времени КА находится в точке с координатами  $x = y = 0$ ;  $z = H$ , а вектор его скорости направлен по оси  $Oz$  декартовой системы координат.

В отличие от [9,10] для определения чувствительности измерения высот к ошибкам измерения ИРФ вычислим производную (1) по высоте отражателя  $z$  в точке  $z=0$ :

$$\left. \frac{\partial \Delta}{\partial z} \right|_{z=0} = \frac{2(H - z)}{\sqrt{H^2 \tan^2(\theta) \cdot \sin^2(\alpha) + H^2 \tan^2(\theta) \cdot \cos^2(\alpha) + (H - z)^2}} + \frac{2(H - z)}{\sqrt{H^2 \tan^2(\theta) \cdot \sin^2(\alpha) + (H \tan(\theta) \cdot \cos(\alpha) - B)^2 + (H - z)^2}}. \quad (2)$$

Тогда средняя квадратическая ошибка (СКО) измерения высоты может быть представлена в виде

$$\sigma_z = \left. \frac{\partial z}{\partial \Delta} \right|_{z=0} \frac{\lambda}{2\pi} \sigma_\varphi, \quad (3)$$

где  $\sigma_\varphi$  – СКО оценки ИРФ;  $\lambda$  – длина волны РСА.

Как показано в [9], СКО оценивания фазы определяется как

$$\sigma_{\varphi} = \frac{\sqrt{1-\gamma^2}}{\sqrt{2}\gamma}, \quad (4)$$

где  $\gamma$  - коэффициент корреляции сигнала в элементе разрешения на РЛИ, величина которого определяется декорреляцией сигнала за счет пространственного разнесения антенн в разные моменты времени и отношением сигнал/шум  $\rho$  на РЛИ [2, 9].

Для статистически однородной шероховатой земной поверхности коэффициент корреляции будет определять как [9]

$$\gamma = \left[ 1 - \frac{2B \cos \alpha \cos \theta}{\lambda R \tan \theta} \cdot \Delta r \right] \cdot \exp \left[ -2\pi^2 \left( \frac{\sigma_h B \cos \alpha \cdot \cos \theta}{\lambda R \sin \theta} \right)^2 \right] \cdot \frac{\rho}{1+\rho} \times \left( 1 - \frac{2\Delta x \cdot \sin \theta}{\lambda} \left| \arctan \left[ \frac{B \sin \alpha}{H \operatorname{tg} \theta - B \cos \alpha} \right] \right| \right); \quad (5)$$

где  $\sigma_h$  – среднеквадратическое отклонение высот отражающих элементов для шероховатой земной поверхности,  $\Delta r$  – разрешающая способность по наклонной дальности;  $\Delta x$  – разрешающая способность по поперечной дальности;  $\rho$  - отношение сигнал/шум на радиолокационном изображении;  $R = H / \cos \theta$  – дальность до центра сцены.

Если решается задача определения высот конструктивных элементов наземных объектов, например, специально устанавливаемых уголкового отражателей [1-3], эффективная площадь рассеяния которых много больше (в сотни раз и более) эффективной площади рассеяния земной поверхности в элементе разрешения PCA, в (5) исключить сомножители  $\left[ 1 - \frac{2B \cos \alpha \cos \theta}{\lambda R \tan \theta} \cdot \Delta r \right] \cdot \exp \left[ -2\pi^2 \left( \frac{\sigma_h B \cos \alpha \cdot \cos \theta}{\lambda R \sin \theta} \right)^2 \right]$  и  $1 - \frac{2\Delta x \cdot \sin \theta}{\lambda} \left| \arctan \left[ \frac{B \sin \alpha}{H \operatorname{tg} \theta - B \cos \alpha} \right] \right|$ , определяемые, соответственно, пространственной и разноракурсной декорреляцией отраженного сигнала при синтезировании апертуры.

Параметры  $\Delta x$  и  $\rho$  определяются временем синтезирования при построении РЛИ. Найдем время синтезирования с учетом ограничений на угол отклонения луча в азимутальной плоскости.

Максимальное время наблюдения сцены, которое достигалось бы в детальном режиме при полном использовании сектора сканирования в азимутальной плоскости:

$$T_{\max} = \frac{2\alpha_{\max} H \cdot \operatorname{tg} \theta}{V \sin \alpha}, \quad (6)$$

где  $V \sin(\alpha)$  – тангенциальная скорость КА относительно центра сцены.

С учетом необходимости построения при однопроходной интерферометрии минимум двух РЛИ с базой между ними  $B$  время синтезирования можно записать в виде

$$T_c = T_{\max} - \frac{B}{V}. \quad (7)$$

Тогда разрешающая способность по поперечной дальности

$$\Delta x = \frac{\lambda R}{2T_c V \sin \alpha} = \frac{\lambda R}{2(2\alpha_{\max} H \operatorname{tg} \theta - B \sin \alpha)}. \quad (8)$$

Пусть при времени синтезирования  $T_{\max}$  отношение сигнал/шум на РЛИ равно  $\rho_{\max}$ . При времени синтезирования  $T_c < T_{\max}$  применительно к земной поверхности будет происходить два процесса: величина элемента разрешения по поперечной дальности будет увеличиваться обратно пропорционально  $T_c$ , но число когерентно накапливаемых импульсов будет уменьшаться пропорционально уменьшению времени синтезирования. Следовательно, для земной поверхности отношение сигнал/шум на радиолокационном изображении не зависит от базы синтезирования и  $\rho = \rho_{\max}$ . Для точечного отражателя с геометрическими размерами, много меньше размеров элемента разрешения по продольной и поперечной дальности будет происходить только уменьшение энергии накопленного сигнала. Следовательно,  $\rho(B) = \rho_{\max} \left(1 - \frac{B}{T_{\max} V}\right)$ . Обобщая, запишем:

$$\rho(B) = \begin{cases} \rho_{\max}, & \text{для земной поверхности;} \\ \rho_{\max} \left(1 - \frac{B}{T_{\max} V}\right), & \text{для точечного отражателя.} \end{cases} \quad (9)$$

СКО измерения высоты составит

$$\sigma_z = \left( \left. \frac{\partial \Delta}{\partial z} \right|_{z=0} \right)^{-1} \frac{\lambda}{2\pi} \frac{\sqrt{1-\gamma^2}}{\sqrt{2}\gamma}. \quad (10)$$

где  $\gamma$  определяется (5) с учетом (8) и (9).

Величина  $\sigma_z$  является функцией угла отклонения корпуса КА в азимутальной плоскости, высоты орбиты КА и угла отклонения от надира посредством (2), разрешающей способности по наклонной дальности  $\Delta r$ , максимального угла отклонения луча в азимутальной плоскости посредством (6)-(8) и (5) и энергетических параметров радиолокатора через отношение сигнал/шум. Определяющее значение, аналогично РСА авиационного базирования [3,9], будет оказывать база  $B$  интерферометрической съемки. Оптимальное  $B_{\text{опт}}$  значение базы интерферометрической съемки при заданных технических параметрах РСА с учетом ограничений на угол отклонения луча в азимутальной плоскости:

$$B_{\text{опт}} = \operatorname{argmin}_B \sigma_z(B). \quad (10)$$

Вычисляя зависимость  $\sigma_z$  от как функцию базы интерферометрической обработки можно установить наличие и величину оптимальной базы, а также соответствующие значения времени синтезирования и потенциально достижимое СКО оценивания высоты.

### Заключение

Предлагаемая методика может быть полезна при оптимизации параметров и исследовании эффективности радиолокатора с синтезированием апертуры космического базирования с учетом характерных для него ограничений в режиме однопроходной интерферометрии.

#### Список использованных источников:

1. Сосновский А.В. Интерферометрическая обработка данных космических радиолокаторов с синтезированной апертурой при создании цифровых моделей рельефа земной поверхности: состояние и проблемы. *Ural Radio Engineering Journal*. 2020; 4(2):198-233. DOI: 10.15826/urej.2020.4.2.004.
2. Madsen S.N., Zebker H.A. *Imaging radar interferometry. Principles & Applications of Imaging Radar – Manual of Remote Sensing*. Vol. 2. New York: Wiley, 1998. 866 p.
3. Massonnet D., Feigl K.L. *Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface // Review of Geophysics*. 1998. Vol. 4. P. 441–500.
4. C.V. Jakowatz. *Spotlight Mode Synthetic Aperture Radar*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1996. 430 p.

5. Richards M.A. A beginner's guide to interferometric SAR concepts and signal processing // IEEE A&E systems magazine. Part 3: Tutorials – Richards. 2006. Vol. 21, N 6. P. 5–29.

6. Ouchi K. Recent trend and advance of synthetic aperture radar with selected topics // Remote Sensing. 2013. Vol. 5, N 2. P. 716–807.

7. Pepe A., Calo F. A review of interferometric synthetic aperture radar (InSAR) multi-track approaches for the retrieval of Earth's surface displacements // Applied Sciences. 2017. Vol. 7, N 12. Paper 1264.

8. Космические РСА третьего поколения TerraSAR-X, 2011. URL: <http://terraview.ru/articles/11/terra-sar-x>.

9. Шимкин П. Е., Бабокин М.И., Баскаков А.И. Исследование точности однопроходного переднебокового РСА интерферометра при измерении рельефа поверхности Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. №5. С. 103-112.

10. Козлов С.В., Ле В.К. Алгоритмы длительного когерентного накопления отраженного сигнала при ненулевых высших производных дальности до радиолокационной цели в спектральной области. Доклады БГУИР. 2021;19(5):35-44.

UDC 621.396

## METHODOLOGY FOR OPTIMIZING RADAR PARAMETERS WITH SPACE-BASED APERTURE SYNTHESIS IN SINGLE-PASS INTERFEROMETRY MODE

Loban M.A.<sup>1</sup>

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

Kozlov S.V. - Doctor of Technical Sciences

**Annotation.** A technique for optimizing the parameters of a radar with the synthesis of a space-based aperture in the mode of single-pass interferometry is presented when solving problems of operational assessment of the relief of the underlying surface. The main parameters of the functioning of a space-based radar and their limitations are considered.

**Keywords.** radar with aperture synthesis, single-pass mode, interferometric processing, radar image, spacecraft.

УДК 621.396

## ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАДИОЛОКАТОРА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ В РЕЖИМЕ ОДНОПРОХОДНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Лобан М.А., магистрант гр.145241

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

Козлов С.В. – доктор технических наук

**Аннотация.** Проведена оптимизация времени синтезирования и оптимальной базы радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) космического базирования (КБ) в режиме однопроходной интерферометрии при решении задач оперативного оценивания рельефа подстилающей поверхности на одном витке орбиты с учетом ограниченного сектора электронного сканирования в азимутальной плоскости. Получены оценки среднеквадратической ошибки (СКО) оценивания высот отражающих элементов с учетом геометрии наблюдения, угла разворота строительной оси КА относительно вектора скорости, ограничений на максимальный угол отклонения луча в азимутальной плоскости.

**Ключевые слова.** радиолокатор с синтезированием апертуры, однопроходной режим, интерферометрическая обработка, радиолокационное изображение, космический аппарат.

### Введение

В [1] рассмотрена методика оптимизации параметров радиолокатора с синтезированием апертуры космического базирования в режиме однопроходной интерферометрии. Показано, что основной особенностью РСА космического базирования, в отличие от авиационного, является ограниченный сектор сканирования главного лепестка диаграммы направленности антенны (луча) в азимутальной плоскости [1]. Это приводит к необходимости разворота КА в плоскости курса, необходимости реализации нового для РСА КБ режима переднебокового обзора с компенсацией миграции дальности и частоты принимаемого сигнала и выбора оптимального времени синтезирования в зависимости от геометрии наблюдения и максимального угла отклонения луча в азимутальной плоскости.

Цель статьи – получение количественных оценок средней квадратической ошибки определения высот элементов земной поверхности в режиме однопроходной интерферометрии для типовых условий наблюдения.

### 1. Исходные данные

Для СКО измерения высот элементов земной поверхности или расположенных на ней объектов используется выражение вида [1]

$$\sigma_z = \left( \frac{\partial \Delta}{\partial z} \Big|_{z=0} \right)^{-1} \frac{\lambda}{2\pi} \frac{\sqrt{1-\gamma^2}}{\sqrt{2}\gamma}. \quad (1)$$

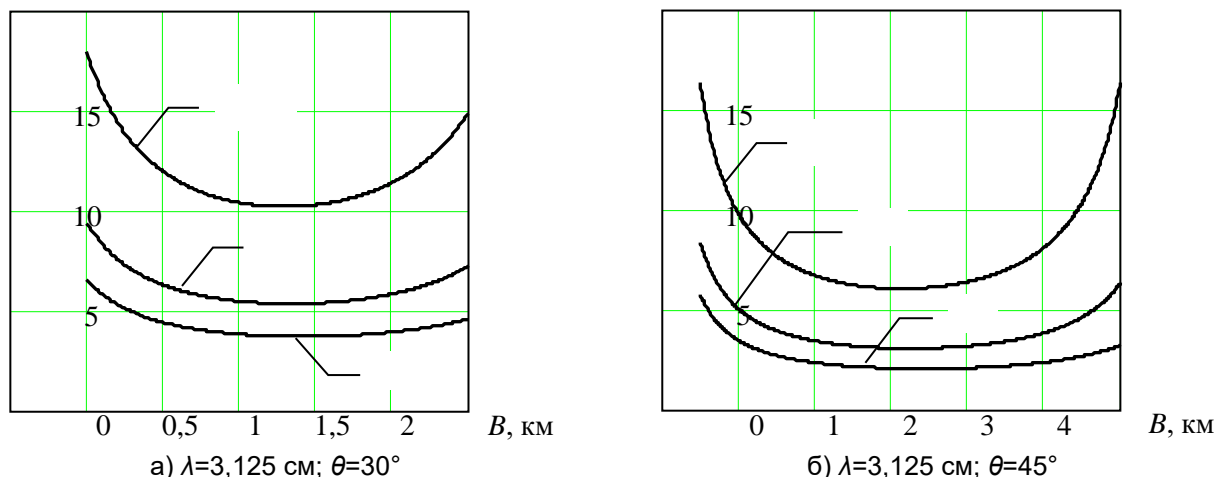
где  $\frac{\partial \Delta}{\partial z} \Big|_{z=0}$  - производная от разности расстояний до центра наблюдаемой сцены при построении двух последовательно получаемых комплексных РЛИ;  $\gamma$  - коэффициент корреляции сигнала в элементе разрешения на РЛИ;  $\lambda$  - длина волны РСА.

Величина  $\gamma$ , которая может принимать значение от 0 до 1, определяется декорреляцией сигнала за счет пространственного разнесения антенн в разные моменты времени и отношением сигнал/шум  $\rho$  на РЛИ и зависит от высоты  $H$  орбиты КА, угла  $\theta$  отклонения направления наблюдения от надира, угла  $\alpha$  отклонения корпуса КА от вектора скорости, максимального угла  $\alpha_{\max}$  электронного отклонения луча РСА в азимутальной плоскости, времени синтезирования  $T_c$  при построении двух последовательных радиолокационных изображения и разрешающей способности по наклонной дальности  $\Delta r$ . Кроме того, величина будет определяться средней квадратической высотой  $\sigma_h$  элементов земной поверхности и отношением  $\rho_{\max}$  сигнал/шум на радиолокационном изображении по мощности. База  $B$  интерферометрической съемки определяется в этом случае как  $B = T_c V$ , где  $V$  - орбитальная скорость КА (для типовых орбит 7300-7500 м/с).

Последовательность расчета входящих в (1) величин приведена в [1]. Расчет СКО измерения высоты проведем для следующих типовых исходных данных:  $H=500$  км;  $\lambda=3,125$  и  $9,725$  см;  $V=7500$  м/с;  $\Delta r=1$  м;  $\alpha=60^\circ, 70^\circ, 80^\circ$ ;  $\theta=30^\circ, 45^\circ$ ;  $\rho_{\max}=10$ ;  $\alpha_{\max}=0,75^\circ$ . Земная поверхность шероховатая с  $\sigma_h=0.1$  м.

### 2. Результаты оптимизации интерферометрической базы и времени синтезирования

Результаты расчетов зависимостей СКО измерения высоты от величины интерферометрической базы для заданных условий наблюдения при измерении высот участков шероховатой земной поверхности приведены на рисунке 1.



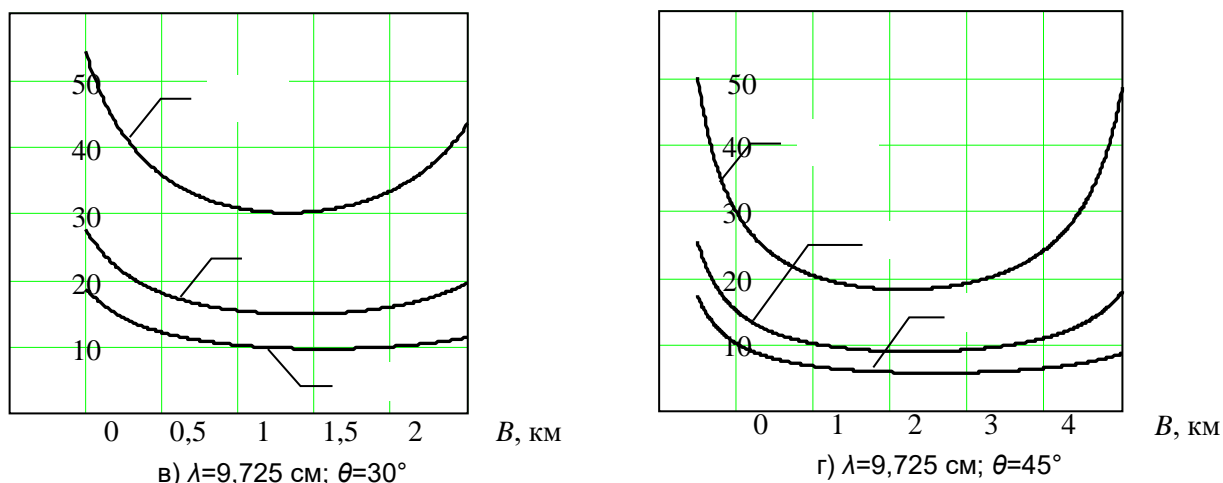


Рисунок 1 – Зависимости СКО измерения высоты участков шероховатой земной поверхности от интерферометрической базы

Как следует из полученных зависимостей, для РСА космического базирования, аналогично авиационным, существуют оптимальные значения интерферометрической базы и соответствующие значения времени синтезирования при построении двух последовательных радиолокационных изображений, при которых ошибки определения высоты минимальны. При этом оптимум выражен достаточно сильно. Значения оптимальных баз и соответствующие значения СКО определения высоты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Величина оптимальной базы и СКО измерения высоты

Длина волны, см	Угол места $\theta$	$\alpha=60^\circ$		$\alpha=70^\circ$		$\alpha=80^\circ$	
		$B$ , км	$\sigma_z$ , м	$B$ , км	$\sigma_z$ , м	$B$ , км	$\sigma_z$ , м
3,125	$30^\circ$	1,55-2,3	3,7	1,6-2,05	5,5	1,6-2	10,5
	$45^\circ$	2,85-4,1	2,5	2,9-3,75	3,1	2,85-3,5	6,6
9,725	$30^\circ$	1,9,2,3	9,9	1,65-2,25	15	1,75-1,9	30
	$45^\circ$	3,1-4,3	5	2,8-3,9	9	2,85-3,6	19

Дополнительными факторами, оказывающим влияние на значение оптимальной базы, является ограничение сектора сканирования в азимутальной плоскости в единицы градусов, большая высота орбиты КА и угол отклонения строительной оси КА с установленной на нем антенной системой от вектора скорости в азимутальной плоскости. В частности, для РС КБ увеличение угла отклонения от надира с  $30^\circ$  до  $45^\circ$  приводит к уменьшению ошибок определения высоты в 1,5...2 раза. На первый взгляд, это выглядит парадоксально, так как увеличение угла отклонения от надира сопровождается увеличением наклонной дальности  $R = H / \cos \theta$  до наблюдаемого участка земной поверхности, что сопровождается увеличением значений  $\Delta x$  разрешающей способности в поперечном направлении. Детальный анализ показывает, что указанное явление обусловлено более быстрым увеличением времени синтезирования при построении двух последовательных радиолокационных изображений при ограничении на сектор азимутального сканирования и характерно именно для РСА КБ.

Достижимые минимальные ошибки определения высоты элементов подстилающей поверхности сильно зависят от отклонения КА в азимутальной плоскости, что определяется величиной производной (2) в (9). Требуемый угол поворота КА в азимутальной плоскости составляет не менее  $20^\circ$ . При меньших значениях угла поворота ошибки резко возрастают. При одинаковых условиях наблюдения и увеличении длины волны РСА в 3 раза, значения ошибки возрастают примерно пропорционально при незначительном изменении величины оптимальной интерферометрической базы.

Наиболее существенным является фактор декорреляции отраженного от элемента разрешения сигнала при изменении ракурса наблюдения. Степень снижения величины корреляции сложным образом зависит от интерферометрической базы как напрямую, так и через разрешающую способность  $\Delta x$  по поперечной дальности.

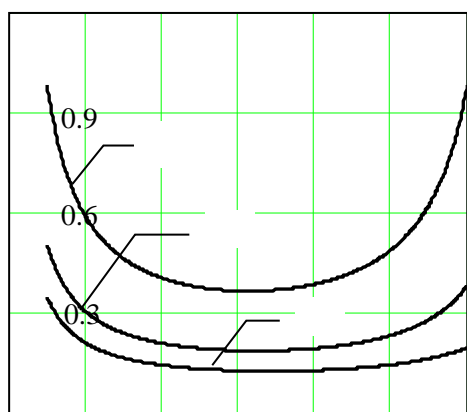
Для определенных условий представляет интерес значение оптимальной базы, времени синтезирования и достижимые ошибки оценивания высот для случая стабильных отражающих элементов, для которых амплитуда и фаза отраженного сигнала не зависит от ракурса по крайней мере на интервале наблюдения. Указанный случай соответствует стабильным блестящим точкам наземных объектов или, например, размещению уголкового отражателя в необходимых точках ледников, горных отвалов и выработок, на водной поверхности при контроле половодий и т.д.

В этом случае из выражения (5) в [1] необходимо исключить множители пространственной и разноракурсной декорреляции. Кроме того, при значительных значениях эффективной поверхности рассеяния отношение сигнал/шум на РЛИ следует выбирать большим. Примем,  $\rho_{\max}=30$  дБ и учтем для точечного отражателя зависимость отношения сигнал/шум от интерферометрической базы согласно (9) в [1].

Результаты расчетов зависимостей СКО измерения высоты от величины интерферометрической базы для стабильного отражателя для тех же условий наблюдения, что и на рисунке 1, приведены на рисунке 2. Значения оптимальных баз и соответствующие значения СКО измерения высоты от величины интерферометрической базы для стабильного отражателя приведены в таблице 2.

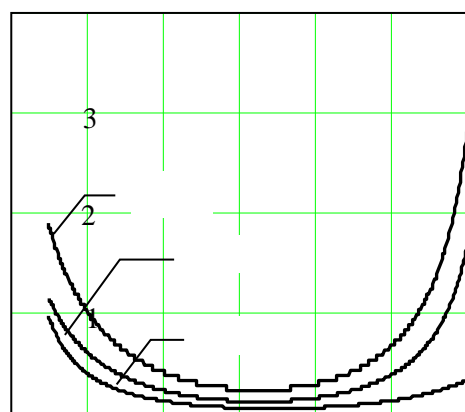
Как следует из полученных результатов, величина интерферометрической базы существенно изменились в сторону увеличения. Оптимальные значения интерферометрической базы составляют от 2 до 5 км. Отметим, что при указанных значениях оптимальной базы время синтезирования при построении каждого радиолокационного изображения меньше, чем половина потенциально достижимого, исходя из сектора углового сканирования по азимуту, максимального времени наблюдения. То есть, потенциальные возможности РСА по разрешающей способности, не используются. На интервале наблюдения в РСА будет использоваться два относительно коротких (сотни мс) интервала синтезирования, разнесенных более продолжительным промежутком. Отметим, что указанные допущения верны при ЭПР земной поверхности в элементе разрешения много меньше (в сотни раз), чем ЭПР точечного отражателя.

Средняя квадратическая ошибка измерения высот составляет, в зависимости от угла отклонения от надира и угла поворота корпуса КА по курсу 0,06...0,34 м для длины волны 3,125 см и 0,19...1,1 м для длины волны 9,725 см. При увеличении угла поворота КА в азимутальной плоскости величина ошибки уменьшается. Полученные величины СКО определяют потенциальную возможность использования однопроходного интерферометрического режима для целого ряда народнохозяйственных задач, например, оперативного оценивания изменения гидрографической ситуации в период половодий в труднодоступных районах.



а)  $\lambda=3,125$  см;  $\theta=30^\circ$

В, км



б)  $\lambda=3,125$  см;  $\theta=45^\circ$

В, км



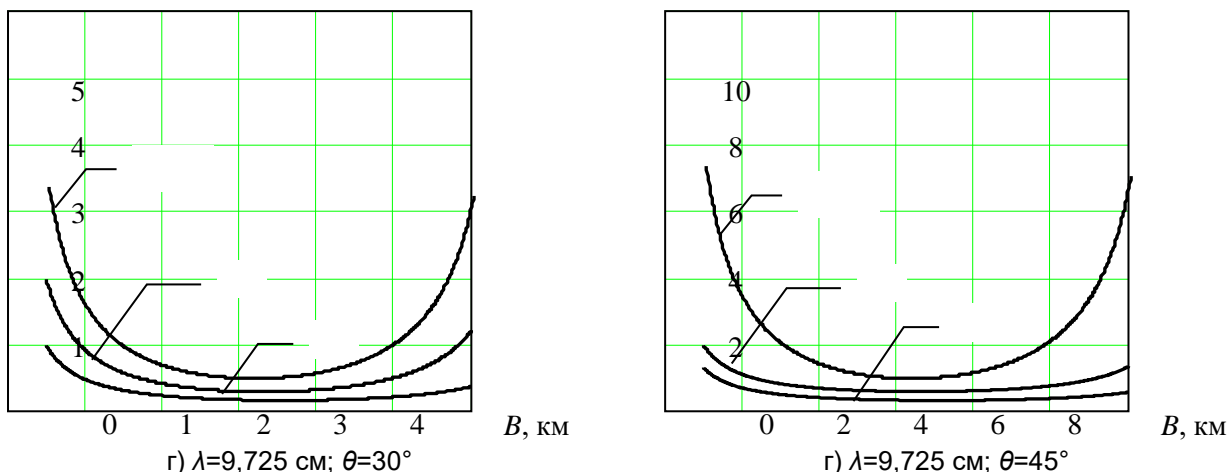


Рисунок 2 – Зависимости СКО измерения высоты от величины интерферометрической базы для стабильного отражателя при  $\rho_{max}=30$  дБ

Таблица 2 – Величина оптимальной базы и СКО измерения высоты для стабильного отражателя

Длина волны, см	Угол места $\theta$	$\alpha=60^\circ$		$\alpha=70^\circ$		$\alpha=80^\circ$	
		$B$ , км	$\sigma_z$ , м	$B$ , км	$\sigma_z$ , м	$B$ , км	$\sigma_z$ , м
3,125	30°	3,12-3,14	0,1	2,88	0,16	2,74	0,34
	45°	5,42-5,43	0,06	4,99	0,099	4,75	0,2
9,725	30°	3,12-3,14	0,32	2,88	0,51	2,73-2,75	1,1
	45°	5,41-5,44	0,19	4,98-5	0,3	4,74-4,75	0,65

### Заключение

Полученные результаты могут быть использованы при обосновании достижимых характеристик и областей применения РСА космического базирования при оперативном оценивании высот участков земной поверхности и высот объектов в режиме однопроходной интерферометрии.

#### Список использованных источников:

1. Лобан М.А. Методика оптимизации параметров радиолокатора с синтезированием апертуры космического базирования в режиме однопроходной интерферометрии. В настоящем сборнике. 58-я Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР, Минск, 2022. УДК 621.396
2. Шимкин П. Е., Бабокн М.И., Баскаков А.И. Исследование точности однопроходного переднебокового РСА интерферометра при измерении рельефа поверхности Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. №5. С. 103-112.
3. Сосновский А.В. Интерферометрическая обработка данных космических радиолокаторов с синтезированной апертурой при создании цифровых моделей рельефа земной поверхности: состояние и проблемы. Ural Radio Engineering Journal. 2020; 4(2):198-233. DOI: 10.15826/urej.2020.4.2.004.

## EVALUATION OF THE ACCURACY OF A SYNTHETIC APERTURE SPACE RADAR IN SINGLE-PASS INTERFEROMETRY MODE

Loban M.A. 1

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

Kozlov S.V. - Doctor of Technical Sciences

**Annotation.** The optimization of the synthesis time and the optimal base of the synthesized aperture radar (RSA) of space-based (KB) in the single-pass interferometry mode was carried out when solving the problems of operational assessment of the relief of the underlying surface on one orbit turn, taking into account the limited sector of electronic scanning in the azimuthal plane. Estimates of the root-mean-square error (RMS) of estimating the heights of reflecting elements are obtained, taking into account the observation geometry, the angle of rotation of the construction axis of the spacecraft relative to the velocity vector, restrictions on the maximum angle of deflection of the beam in the azimuthal plane.

**Keywords.** radar with aperture synthesis, single-pass mode, interferometric processing, radar image, spacecraft.

## КРИТИЧНОСТЬ ОДНОМЕРНОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА К ПАРАМЕТРАМ И МОДЕЛИ ПОЛЕЗНОГО ЗАДАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Лыгач А.Н.

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

*Давыденко И.Н. – канд. техн. наук, доцент*

В данной работе рассматривается оценка критичности дисперсии ошибок фильтрации к изменению коэффициентов фильтрации, которые зависят от шумов маневра, и к изменению модели маневра, то есть детерминированного маневра в виде полиномиальной модели. Представлены графики зависимости суммарной ошибки фильтрации от коэффициента фильтрации.

На примере проблемы повышения безопасности полётов в системе организации воздушного движения, в частности, своевременного обнаружения и предотвращения нарушений правил эшелонирования, рассмотрено оценивание координат и параметров движения воздушных судов по информации на выходе радиолокационных и других источников наблюдения. Ключевым моментом является предъявление жестких требований как к техническим характеристикам средств наблюдения воздушных судов, так и к качеству траекторной обработки.

Фильтры Калмана, которые основаны на одной модели возможного движения объекта, не удовлетворяют требованиям. В основном используется модель прямолинейного равномерного движения с возмущениями, однако при маневрировании воздушного судна, например, при посадке или взлете, модель неадекватно описывает реальное движение. Это способствует возникновению больших динамических ошибок, при использовании траекторной обработки. Компенсация возможна за счет увеличения мощности случайного возмущения в самой модели движения, но точность оценивания координат и параметров движения воздушного судна при прямолинейном равномерном движении будет снижена. Решение поставленной задачи основано на адаптивных методах, при которых учитывается изменение структуры и параметров фильтра траекторной обработки при обнаружении маневра воздушных судов.

При анализе рассматриваются отдельные выражения для дисперсий флуктуационных и динамических ошибок, составляющих в сумме полученную дисперсию суммарной ошибки фильтрации:

$$P = P_{\text{дин}} + P_{\text{фл}}.$$

Это позволит оценить критичность дисперсии ошибок фильтрации к изменению коэффициентов фильтрации (в свою очередь зависящих от шумов маневра) и к изменению модели маневра (случайный маневр или детерминированный маневр в виде полиномиальной модели).

В установившемся режиме при произвольном коэффициенте фильтрации дисперсию ошибки фильтрации можно представить в виде суммы дисперсий динамической и флуктуационной ошибок:

$$\begin{aligned} P = P_{\text{дин}} + P_{\text{фл}} &= \frac{(k-1)^2}{(1-(1-k)^2)} D_{\xi} + \frac{k^2}{(1-(1-k)^2)} D_{\eta} = \\ &= \left( \frac{1}{k(2-k)} - 1 \right) D_{\xi} + \frac{k}{2-k} D_{\eta}, \end{aligned}$$

где  $P_{\text{дин}} = \left( \frac{1}{k(2-k)} - 1 \right) D_{\xi}$  – дисперсия динамической ошибки фильтрации в установившемся режиме,

$P_{\text{фл}} = \frac{k}{2-k} D_{\eta}$  – дисперсия флуктуационной ошибки фильтрации в установившемся режиме.

Коэффициент фильтрации  $k$  меняется в диапазоне от 0 до 1.

$P|_{k=1} = P_{\text{фл}} = D_{\eta}$ : из-за больших динамических ошибок экстраполированные значения игнорируются, и результирующая оценка совпадает с текущей полученной оценкой ( $\hat{x}_k = y_k$ ).

$P|_{k=0} = P_{\text{дин}} = D_{\xi}$ : из-за большой дисперсии текущих оценок они игнорируются, и результирующая оценка совпадает с экстраполированным значением ( $\hat{x}_k = \hat{x}_{\text{эк}}$ ).

Оптимальное установившееся значение коэффициента фильтрации  $k = k_{\text{опт}}$  находится исходя из условия

$$\left. \frac{dP}{dk} \right|_{k=k_{\text{опт}}} = 0$$

и определяется ранее полученным выражением:

$$k_{\text{opt}} = D_{\eta}^{-1} \tilde{P},$$

где  $\tilde{P}$  – оптимальное (минимальное) значение дисперсии ошибки фильтрации в установившемся режиме.

Соответственно, для динамической ошибки по скорости можно записать:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{V_{\text{дин}}}(a'') &= (1 - k_{22})\varepsilon_{V_{\text{дин}}}(a'') + (k_{22} - 1)\frac{1}{6}a''T^3 \\ \varepsilon_{V_{\text{дин}}}(a'') &= \frac{1}{6}a''\left(\frac{k_{22}-1}{k_{22}}\right)T^3. \end{aligned}$$

Для дисперсии суммарной ошибки фильтрации скорости в этом случае (детерминированного задающего воздействия) можно получить:

$$P_{22} = P_{22_{\text{дин}}} + P_{22_{\text{фл}}} = \frac{1}{36}(a'')^2 \left(\frac{k_{22}-1}{k_{22}}\right)^2 T^6 + \frac{k_{22}}{2-k_{22}}\sigma_V^2.$$

График зависимости суммарной дисперсии ошибки измерения скорости от коэффициента фильтрации  $k_{22}$  имеет следующий вид:

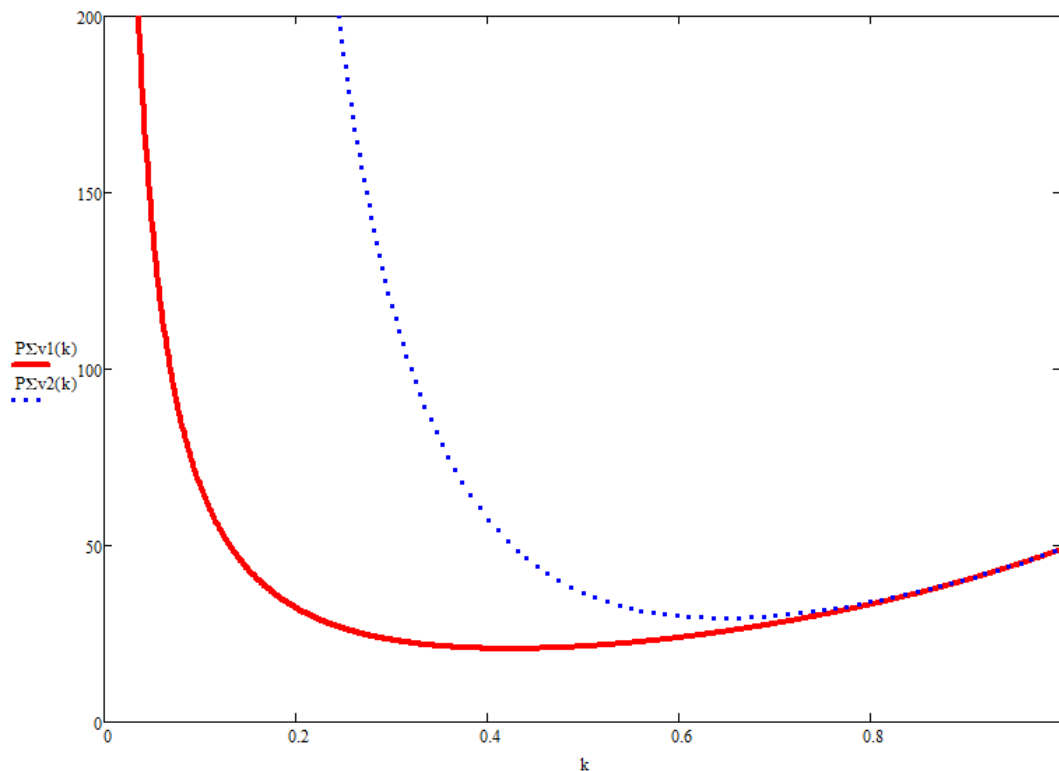


Рисунок 1 – График зависимости дисперсии суммарной ошибки измерения радиальной скорости от коэффициента фильтрации

График представлен для  $a_r'' = 1.0$ ,  $\sigma_a'' = (a_r'')^2$ ,  $T = 3$  с,  $\sigma_V = 7$  м/с (сплошная линия – воздействие в виде белого шума; пунктирная линия – детерминированное воздействие).

**Список использованных источников:**

1. Eurocontrol Standard Document for Radar Surveillance in En-Route Airspace and Major Terminal Areas. SUR.ET1.ST01.1000-STD-01-01, Edition 1.0, March 1997
2. Сычев М.И., Фесенко С.В. Оценивание координат и параметров движения воздушных судов по информации от радиолокационных средств наблюдения // Труды МАИ, 2015
3. Eva Li, Victor M. Moreno and Alberto Pigazo. Kalman Filter Recent Advances and Application // Published by ExLi4Eva, 2017. – 584 p.
4. Васильев К.К. Оптимальная обработка сигналов в дискретном времени: Учебное пособие. М.: Радиотехника, 2016. 288 с.
5. Васильев К.К. Методы обработки сигналов: Учебное пособие. – Ульяновск, 2001. – 80 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БАЗОВОЙ СТАНЦИИ СТАНДАРТА LTE

Лысенко А.А., Лазарук Е.В.

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

Листопад Н.И. – д.т.н, профессор

В данной статье рассмотрено конфигурирование базовой станции Huawei APM30N, а также влияние изменения уровня мощности опорного сигнала соты и трассировка сообщений в режиме реального времени в оборудовании стандарта LTE.

Базовая станция (БС) APM30N от компании Huawei представляет из себя устройство, осуществляющее обслуживание оконечных абонентских устройств. Данное оборудование функционирует на основе стандарта LTE – стандарта беспроводной высокоскоростной передачи данных для мобильных телефонов и других терминалов, работающих с данными.

В настоящее время не существует достаточного количества специалистов, которые обладают и готовы делиться информацией о конфигурировании каналов в оборудовании Huawei. Поэтому актуальность данной работы заключается в исследовании и использовании полученных данных для создания методических пособий и лабораторных работ.

### Исследование опорного сигнала в оборудовании Huawei APM30N

Передача данных от БС к абоненту или пользовательскому терминалу и наоборот происходит в каналах нисходящего (Downlink) и восходящего (Uplink) направления. Структура и взаимосвязь этих каналов представлено на рисунке 1.

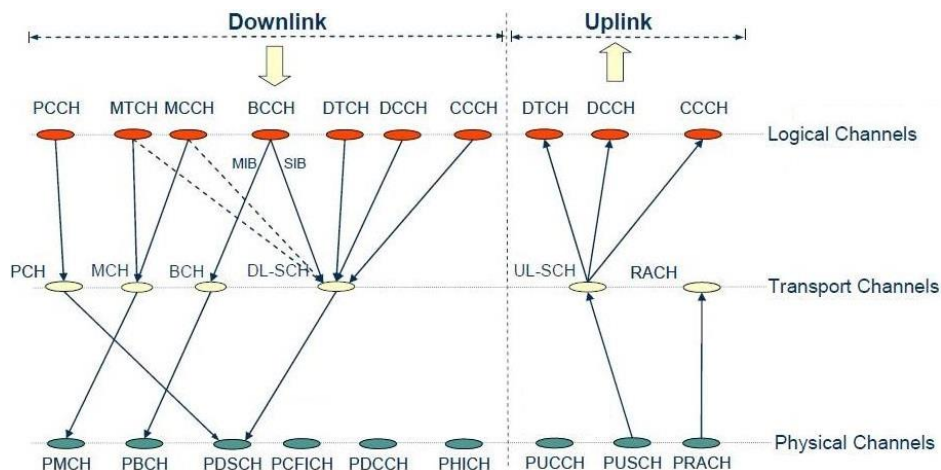


Рисунок 1 - Взаимосвязь каналов в нисходящем и восходящем направлении

Каждая ячейка в сети LTE имеет опорный сигнал. Мощность передачи ресурсного блока, несущего такой опорный сигнал, может быть установлена равной, большей или меньшей, чем мощности передачи ресурсного блока канала PDSCH. Относительные уровни мощности передачи опорного сигнала и канала PDSCH влияют на оценку канала нисходящей линии связи

количество помех нисходящей линии связи, а также интерпретацию и использование индикатора качества канала (CQI). Прежде чем продолжить, рассмотрим канал PDSCH подробнее.

Мощность опорного сигнала может быть получена из формулы:

$$P_{oc} = 10 \log (P_{RRU \max}) - 10 \log (N_{\text{подн}}) \quad (1)$$

где  $P_{RRU \max}$  – максимальная мощность выносного радиоблока,

$N_{\text{подн}}$  – число поднесущих.

В ходе эксперимента на оборудовании Huawei APM30N были получены следующие значения мощности опорного сигнала для различной ширины полосы частот, а также для значения  $P_B$  – коэффициента масштабирования энергии на ресурсный блок

Таблица 1 – Диапазон мощности опорного сигнала для различной ширины полосы частот

PB	$P_{oc}$ (Reference signal power)		
	1,4 МГц	3 МГц	5 МГц
0	94-214	54-174	32-152
1	124-244	84-204	62-182
2	141-261	102-222	80-200
3	154-274	114-234	92-212

На рисунке 2 представлены результаты исследования, полученные с помощью анализатора спектра Agilent. Входными данными являются: frequency band = 7, Uplink earfcn = 21050, Downlink earfcn = 3250, ширина полосы частот = 1,4 МГц.

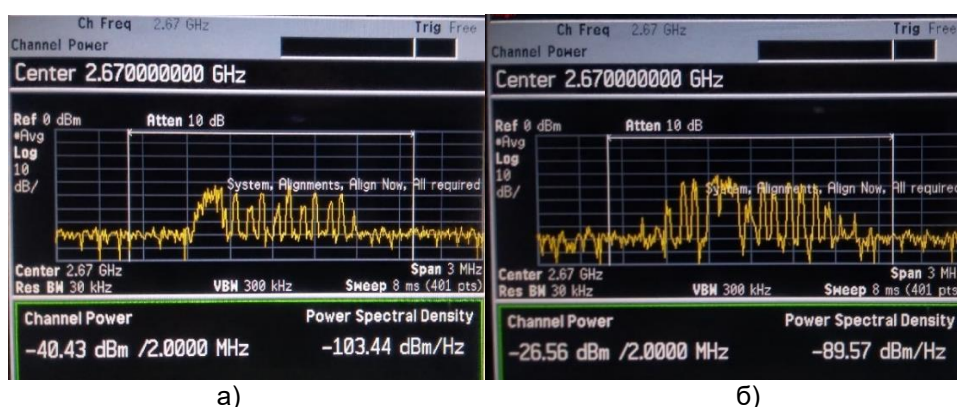


Рисунок 2 – Результаты измерения мощности при опорном сигнале равном 15,6 дБм (а) и опорном сигнале равном 27,4 дБм (б)

Результирующими выводами является следующее. Если мощность опорного сигнала увеличивается, пользовательский терминал может выполнять измерения опорного сигнала быстрее и точнее определять условия канала нисходящей линии связи. Однако, общие помехи на ресурсных блоках опорного сигнала для данной соты будут увеличиваться из-за того, что несколько соседних сот передают большую мощность по своим собственным ресурсным блокам. Если отношение сигнал/шум для канала PDSCH, значительно ухудшится, CQI о котором сообщает пользовательский терминал, будет ниже. Это приведет к тому, что базовая станция будет стремиться к более низкой пропускной способности, предпринимая такие действия, как увеличение объема турбокодирования в передачах канала PDSCH. Таким образом, пропускная способность может быть несколько ниже при повышении мощности опорного сигнала. Однако, если улучшенная оценка канала и повышенная надежность приема PDSCH приведут к меньшему количеству повторных передач HARQ, пропускная способность может увеличиться с повышением мощности опорного сигнала.

#### Исследование трассировки в базовой станции стандарта LTE

Трассировка сообщений представляет собой процесс отслеживания сообщений, проверку данных, просмотр значений переменных (адреса, имени и т.д.) и выявление ошибок. Трассировка сообщений отслеживает интерфейсы, каналы сигнализации и пользовательские терминалы.

Существуют следующие типы трассировок:

1. Общие задачи трассировки (PTP Trace, MAC Trace SCTP Trace, CMPv2);
2. Задачи трассировки, для GSM (Abis Interface CS Trace (RSL), Abis Interface CS Trace (CSL), TRX RF Sampling Trace).
3. Задачи трассировки для UMTS (DSP Trace, Cell Trace, User Trace, lub Trace).
4. Задачи трассировки для LTE (S1 Interface Trace, X2 Interface Trace, Uu Interface Trace, IFTS Trace, M2 Interface Trace, Se Interface Trace).

Внутренний процесс трассировки сообщений включает в себя создание задачи трассировки на LMT и составление отчетов результатов в LMT.

Создание задачи трассировки на LMT:

1. После того, как вы создалась задача трассировки на LMT, LMT отправляет бинарную команду на базовой станции для создания задачи.

2. Базовая станция присваивает задаче идентификатор и пересылает команду на трассировку на специальный модуль управления указанной платой.

3. После получения команды модуль управления трассировкой записывает параметры для трассировки, содержащейся в команде, в таблице фильтров и отправляет сообщения в модуль обработки услуг.

4. Модуль обработки услуг обновляет локальную таблицу фильтров на основе сообщений из модуля управления трассировкой.

Отправка отчета в MLT

1. После получения сообщений от модуля управления модуль обработки проверяет, обновлены ли параметры в локальной таблице фильтров. Затем он сообщает сообщения, соответствующие критериям фильтрации, в LMT на основе идентификаторов задач, содержащихся в сообщениях.

2. LMT анализирует сообщения и отображает результаты трассировки.

Существует два вида простых процедур:

- класс 1: Элементарные процедуры с ответом (успех и/или неудача).

- класс 2: Элементарные процедуры без ответа.

Для процедур класса 1 типы ответов могут быть следующими:

Успешный - сигнальное сообщение явно указывает, что элементарная процедура успешно завершена с получением ответа.

Неудачный - сигнальное сообщение явно указывает, что процедура не прошла.

Успешные и неуспешные - одно сигнальное сообщение сообщает как об успешном, так и о неуспешном результате для различных включенных запросов. Используемое ответное сообщение определено для успешного исхода.

Для процедур класса 2 результат всегда успешен.

В ходе эксперимента на оборудовании Huawei APM30N был произведен сброс стека S1, исходя из которого были получены сообщения различного типа. Была выведена универсальная структура сообщения трассировки, представленная на рисунке 3.

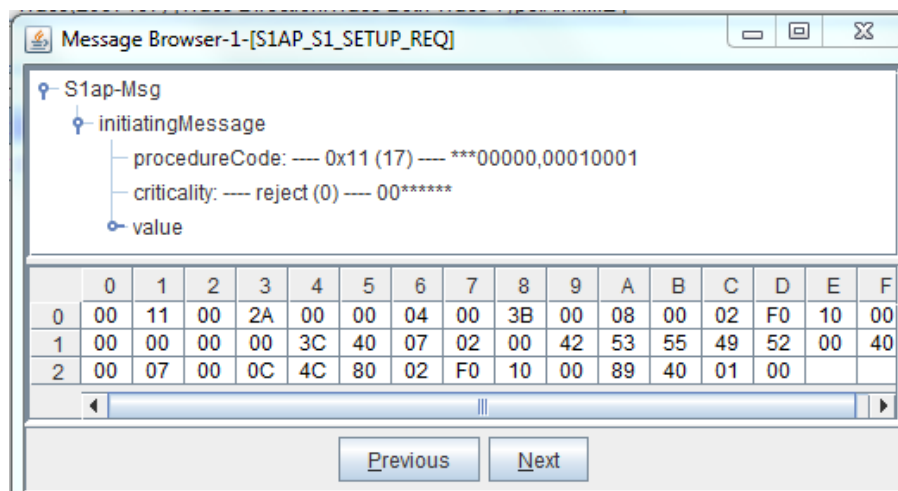


Рисунок 3 – Структура сообщения трассировки S1

Благодаря исследованиям в режиме реального времени было замечено, что, используя команды различного назначения, сообщения о выполнении или не выполнении той или иной процедуры приходят в соответствии с выполненной командой. Каждое сообщение имеет универсальную структуру S1AP, которая состоит из Кода операции (procedureCode), который имеет диапазон от 0 до 255 и критичности (Criticality), имеющая 3 состояния (отклонить, игнорировать, и игнорировать и уведомить отправителя).

**Список использованных источников:**

1. Гельгор А.Л. *Технология LTE мобильной передачи данных: учеб. пособие / Гельгор А.Л., Попов Е.А. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 204 с*

2. TS 136 413 - V10.1.0 - LTE - ETSI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.e>

## ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВООРУЖЕННЫХ СИЛАХ

Мажейко А.Р., Способ С.А.

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

подполковник Способ С.П. – магистр тех. наук

**Аннотация.** В тезисе рассматриваются высокие технологии в вооруженных силах разных стран мира и дальнейшее их развитие.

Высокотехнологичные разработки вооруженных сил с использованием дистанционно управляемых, полуавтономных и автономных систем все больше продвигаются вперед и последовательно продолжают эволюцию в военном деле в течении последних 15 лет. Центральной движущей силой чрезвычайно возросшего интереса к робототехнике в армии является желание защитить своих солдат и тем самым снизить вовлечение человека в боевые действия.



Во всем мире вооруженные силы начали изучать использование искусственного интеллекта в военных целях. Армия при этом не является исключением. Области, в которых искусственный интеллект может использовать свои сильные стороны, оптимизировать и ускорить процессы в армии, включают, например, логистику, прогнозное обслуживание, поддержку и руководство операциями, а также анализ больших запасов данных для раннего выявления угроз. Значительно более проблемной областью является использование ИИ для повышения автономности в системах оружия – вплоть до полностью автономных систем оружия, которые выбирают и сражаются с целями без контроля человека.

До сих пор в общепринятом определении термина автономии в системах вооружения отсутствует. Но в международном профессиональном обсуждении все чаще выделяется соблюдение определения функциональной автономии - не в последнюю очередь потому, что такие игроки, как США или Международный комитет Красного Креста (МККК), официально присвоили себе такое понимание автономии оружия. Согласно этому определению, полностью автономные системы оружия будут самостоятельно проходить цикл принятия решений по борьбе с целями после их активации с помощью датчиков и программного обеспечения, то есть в отличие от систем с дистанционным управлением без

человеческого контроля или надзора. Этот цикл таргетинга включает в себя станции *find, fix, track, target, engage u assess* – сокращенно *F2T2EA*. Таким образом, законы, особенно в рамках международно-правового, этического и политического выбора и борьбы с целями, которые, как их называет МККК, являются „критическими функциями“ цикла нацеливания, были бы лишены права распоряжаться людьми, особенно в рамках международно–правового, этического и политического выбора и борьбы с целями, которые, как их называет МККК, являются "критическими функциями" цикла нацеливания.

Если принять эту концепцию, при внимательном рассмотрении уже сегодня существуют системы оружия, которые можно назвать автономными. Например, израильская система Гарпия нацелена на радиолокационные установки и уже проходит цикл наведения вне полномочий человека.

Также одним из примеров высокотехнологичного оснащения солдата является экзоскелет. В России представили первый отечественный образец боевого экзоскелета с электродвигателями. Его основным достоинством является возможность использования как в активном, так и в пассивном режиме. У экзоскелетов очень хорошие перспективы. Еще вчера подобные технологии казались выдумкой, фантастикой, а сегодня это уже, можно сказать, реальность. При использовании экзоскелета энергетические затраты при беге и ходьбе снижаются — на 15%, позволяет нести до 60 кг груза и стрелять из автоматического оружия на 20% точнее.

**Список использованных источников:**

1 <https://www.hsfk.de/forschung/projekte/projekt/die-technisierung-des-krieges-robotik-und-hochtechnisierung-der-streitkraefte>

2 <https://www.baks.bund.de/de/arbeitspapiere/2018/kuenstliche-intelligenz-in-den-streitkraeften-zum-handlungsbedarf-bei-autonomie>

3 <https://www.mil.by/ru/>

4 <https://www.mk.ru/politics/2017/12/22/armiya-vysokikh-tehnologiy-kakimi-proryvami-mogut-pokhvastatsya-rossiyskie-voennye>

5 <http://redstar.ru/proryvnye-tehnologii-na-vseh-napravle>

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛА ФОРМИРОВАНИЯ ОБРАЗА ПОМЕХИ КОМПЕНСАЦИОННОГО ПОДАВИТЕЛЯ ДЛЯ ТРАКТА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

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

Меледин К.И.

Козел В.М. – доцент

В работе рассматриваются вопросы моделирования канала формирования образа помехи компенсационного подавителя для тракта промежуточной частоты радиоприемного устройства с повышенной помехозащищенностью.

В приемных радиотрактах систем радиосвязи, радиолокации и радионавигации в сложной электромагнитной обстановке возможен режим работы, при котором в полосу принимаемого сигнала попадает мощная несинхронная помеха. Вследствие физических ограничений увеличение динамического диапазона радиотракта иногда становится невыполнимым. Поэтому актуальна разработка методов и средств, обеспечивающих уменьшение уровня полосной помехи [1]. При этом перспективными представляются устройства, выполняющие компенсацию мощной помехи в сечении тракта промежуточной частоты.

Известен компенсационный подавитель помехи для тракта промежуточной частоты, описанный в [2]. Устройство выполнено по двухканальной схеме с прямым и усилительно-ограничительным каналами. Результат в виде увеличения отношения сигнал-помеха достигается путем компенсации составляющих мощной помехи ее прототипом, формируемым в усилительно-ограничительном канале, содержащем усилитель, ограничитель, полосовой фильтр и сумматор.

Эффективность функционирования устройства определяется в существенной мере каналом формирования образа помехи. С целью исследования и оптимизации характеристик канала в САПР ADS была разработана его модель, которая представлена на рис. 1.

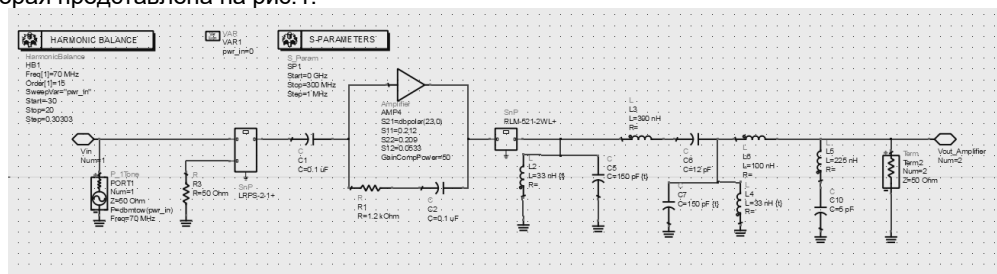


Рис.1

Для организации канала формирования образа помехи на входе устройства устанавливается делитель мощности, выполненный на интегральном делителе мощности LRPS-2-1+. В качестве усилительно-ограничительного элемента канала используется широкополосный интегральный усилитель PHN-23LN+ и интегральный ограничитель RLM-521-2WL+. На выходе структуры включён полосовой LC фильтр на сосредоточенных компонентах.

Амплитудно-частотная характеристика канала имеет вид, представленный на рис.2.



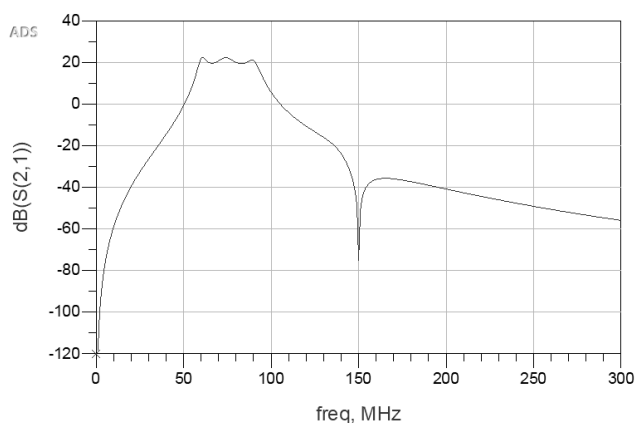


Рис.2

Результаты моделирования амплитудной характеристики канала и выходного сигнала представлены на рис. 3.

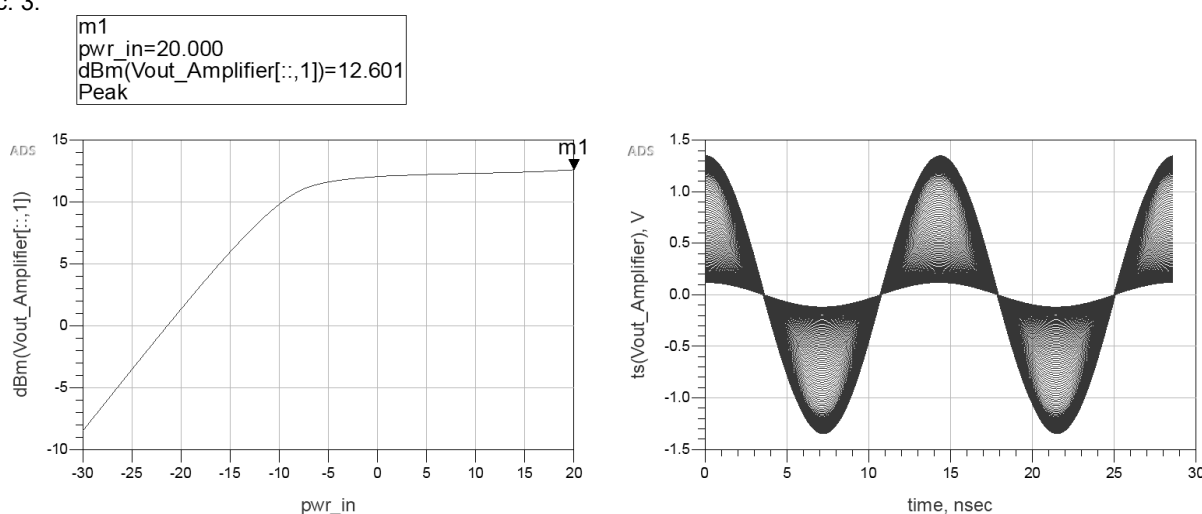


Рис.3

Видно, что в канале амплитуда мощной помехи после предварительного усиления и ограничения стабилизируется на уровне 12дБм. В результате на выходе канала формируется образ помехи, который после масштабирования можно использовать для компенсации помехи в групповом сигнале.

Таким образом, с использованием программного пакета Advanced Design System представлены результаты моделирования канала формирования образа помехи компенсационного подавителя для тракта промежуточной частоты радиоприемного устройства с повышенной помехозащищенностью.

Список использованных источников:

Чердынцев, В.А., Малевич, И.Ю., Курочкин, А.Е. Методы и устройства приема и обработки радиосигналов\_ – Минск: БГУИР, 2010. - 288 с.

## СЖАТИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ БЕЗ ПОТЕРЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИЙ УОЛША

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

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

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

В работе предлагается алгоритм гибридного сжатия, использующийся для цветных и черно-белых изображений. Он включает в себя дискретное вейвлет-преобразование и преобразование Уолша, используемое для квантования.

Преобразование вейвлетов разлагает сигнал на набор основных функций, называемых вейвлетами. Вейвлет-преобразование представляет собой преобразование частоты времени. Вейвлет-преобразование вычисляет скользящие средние значения и разности посредством скалярных произведений с масштабирующими сигналами и вейвлетами. Вейвлеты не определены с точки зрения масштабирования и функций вейвлета.

Вейвлет Хаара является простейшим типом вейвлет-преобразования и служит моделью для других вейвлет-преобразований. Это обеспечивает эффективное сжатие сигналов и изображений.

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

Простота обработки – это одно из основных достоинств преобразований в базисе Уолша, Коэффициенты преобразования Уолша квантуются и подвергаются арифметическому кодированию.

Преобразование Уолша для двумерных сигналов выглядит следующим образом.

$$T(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{M-1} f(u, v) \left[ \prod_{i=0}^{m-1} (-1)^{(d_i(u)d_{m-1-i}(x) + d_i(v)d_{m-1-i}(y))} \right]$$

Обратное преобразование Уолша определяется следующим образом.

$$f(u, v) = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{M-1} T(x, y) \left[ \prod_{i=0}^{m-1} (-1)^{(d_i(u)d_{m-1-i}(x) + d_i(v)d_{m-1-i}(y))} \right]$$

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

Блок-схема предлагаемого алгоритма изображена ниже.

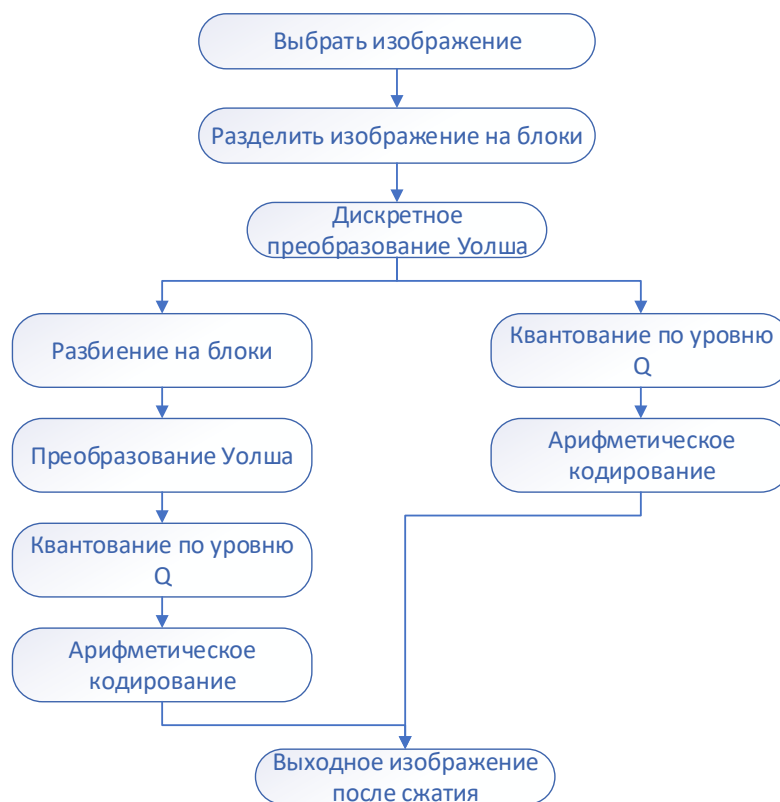


Рисунок 1. Блок-схема предлагаемого алгоритма

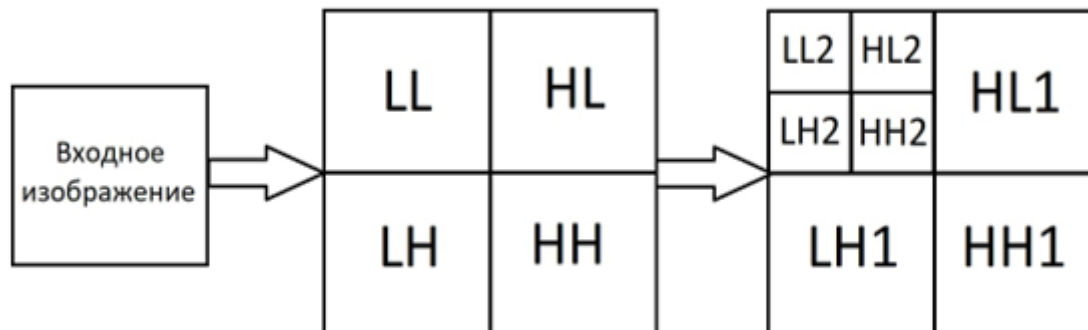


Рисунок 2. Двухуровневая декомпозиция DWT

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

**Список использованных источников:**

1. Харкевич А.А. Спектры и анализ. Физмат, М., 1962.
2. Посев В.В., Бродская Е.Б., Коржик В.И. Поиск и декодирование сложных дискретных сигналов. М.: Радио и связь, 1988.
3. Радиотехнические цепи и сигналы / Гоноровский И.С. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.

## РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ

Митрофанов А. Д., студент гр. 841301

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

Дворникова Т. Н. – магистр технических наук

**Аннотация.** В работе производится разработка лабораторного макета на основе микропроцессора ESP-32. А так же предложены варианты лабораторных работ для этого макета.

**Ключевые слова.** Лабораторный макет, микропроцессора ESP-32, методичка по лабораторным работам.

В настоящее время качественное образование является важнейшим фактором по подготовке специалистов. Для достижения максимальной эффективности понимания студентами лекционного материала необходимы лабораторные работы. А самое главное в лабораторных работах, наличие лабораторного макета.

Микропроцессоры – это устройства обработки цифровой и аналоговой информации, является основной частью аппаратного контроля системы, а заодно и главный инструмент, способный проводить арифметические и логические операции, записанные с использованием машинного кода. Основных же функций у них несколько - передача данных между оперативной памятью и остальными компонентами ПК, синхронизация информации на внешних и внутренних накопителях, организация многопоточной и многопрограммной работы в бесперебойном режиме, дешифрация машинного кода, синхронизация чисел разного регистра. За годы развития микропроцессоров им так и не нашлось никакой альтернативы.

Самый важным элементом в контроллере является микропроцессор. Для этого лабораторного комплекса решено использовать ESP-32. Основной причиной выбора ESP-32, это его обширный функционал. В ESP-32 присутствует: Wi-Fi, Bluetooth, четыре 64-битных таймера, два многоканальных АЦП, два ЦАП, драйвер сенсорных кнопок, интерфейс SPI, I2C, UART, контроллер Ethernet, CAN, SD-карт, ИК-датчиков, многоканальные формирователи ШИМ-сигналов для управления двигателями и светодиодами, аппаратные ускорители алгоритмов шифрования AES, SHA, RSA и ECC, и даже датчика Холла. Кроме того ESP-32 Плюс ко всему все это, как и раньше, можно купить в виде экранированного модуля, и является относительно дешевым. Так же продаются различные вариации с урезанным функционалом, что естественно куда дешевле и более компактной, чем полнофункциональная ESP-32. Кроме того компания производящая STM-32( максимально близкий по функционалу микропроцессор) закрыл для Белорусии свой рынок.

Вторым по важности является выбор языка программирования. ESP-32 можно программировать с помощью Arduino IDE, Espressif IDF, LUA RTOS и т.д.. Для лабораторного комплекса был выбран язык программирования MicroPython. MicroPython – это облегченная версия языка программирования Python, специально разработанная для программирования микроконтроллеров. В настоящее время Python является одним из самых популярных языков программирования, изучаемых студентами. Поэтому для тех, кто знаком с программированием в Python, переход на MicroPython для программирования микроконтроллеров будет куда легче, чем изучать такие языка программирования как C++ или C.

Задачей же этого комплекса является приобретение и отработка навыков работы с микроконтроллером ESP-32.

### Список использованных источников:

3. Микропроцессор: что нужно знать начинающим электронщикам [Электронный ресурс]: Arduino – Режим доступа: <https://arduinoplus.ru/mikroprocessor/>
4. Краткое описание микроконтроллеров ESP-32 [Электронный ресурс] : КМПУ модульное проектирование устройств – Режим доступа: [kmpu.ru/other/esp32\\_01\\_introduction/index.html](http://kmpu.ru/other/esp32_01_introduction/index.html)

# АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ АКТИВНЫХ ШУМОВЫХ ПОМЕХ

Науен Д.В. , магистрант

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

Давыденко И.Н. – канд. тех. наук, доцент

**Аннотация:** В статье рассматривается анализ эффективности одноканальных автокомпенсаторов активных шумовых помех при подавлении нестационарных шумовых помех.

**Ключевые слова:** анализ эффективности автокомпенсаторов, алгоритмы работы одноканального автокомпенсатора помех, *LMS*-алгоритм, *NLMS*-алгоритм, *RLS*-алгоритм, нестационарная активная шумовая помеха.

## Модель нестационарных активных шумовых помех

Активные шумовые помехи могут носить нестационарный характер как по времени (прерывистые помехи), так и по пространству (сканирование приемной диаграммы направленности). На рисунке 1 и 2 приведены модели нестационарных активных шумовых помех в временном виде и в виде индикатора “азимут и дальность”.

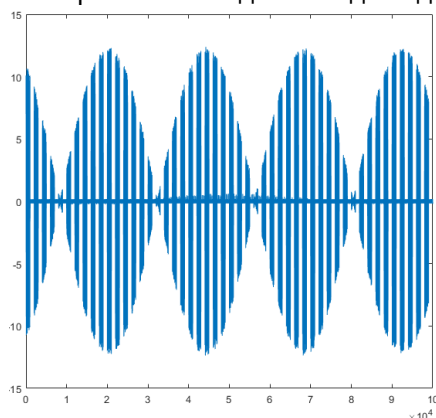


Рис.1. – Модель нестационарных активных шумовых помех в временном виде

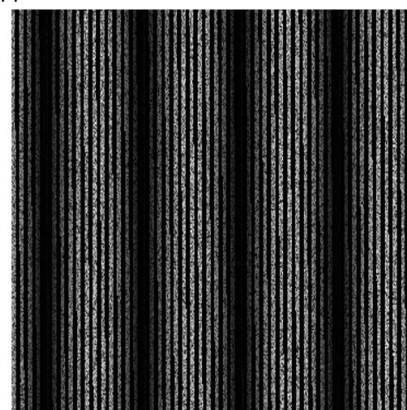


Рис.2. – Модель нестационарных активных шумовых помех в виде “азимут и дальность”

## Алгоритмы работы автокомпенсатора шумовой помехи

Существует большое количество алгоритмов адаптивной пространственной обработки сигналов, которые разбиваются на три большие группы [1, 2, 3]:

- алгоритмы, реализующие градиентный метод (*LMS*-алгоритм и его модификации);
- алгоритмы непосредственного обращения матрицы (*SMI*-алгоритмы);
- алгоритмы рекурсивных наименьших квадратов (*RLS*-алгоритмы).

Однако вычислительная сложность алгоритма *SMI* является высокой. По этой причине в настоящее время на практике применяются *LMS*-алгоритм и его модификации и алгоритм *RLS* [4].

Классический *LMS*-алгоритм формирования весовых коэффициентов может быть получен методом замены производных аналогового прототипа, реализующего градиентный метод поиска экстремума функционала качества, конечными разностями [4]:

$$W(n) = W(n-1) - \mu \cdot K_n \cdot E_K^*(n) \cdot E_\Sigma(n), \quad (1)$$

где  $E_\Sigma(n) = E_0(n) + W(n-1)E_K(n)$ ;  $\mu$  – коэффициент сходимости;  $K_n$  – коэффициент преобразования цепей обратной связи;  $n$  – номер дискрета времени.

Недостатками алгоритма *LMS* являются: возможность потери устойчивости при неправильном выборе коэффициента сходимости; зависимость скорости сходимости от мощности помехи. Достоинствами алгоритма *LMS* являются: минимальная вычислительная сложность; устойчивость к искажениям за счет обратной связи по выходному сигналу.

Попыткой устранения зависимости скорости сходимости алгоритма *LMS* от мощности помехи, является использование алгоритма *NLMS* (*Normalized LMS Algorithm*). Алгоритм *NLMS* используется в тех случаях, когда алгоритм *LMS* не может гарантировать устойчивость из-за неизвестных характеристик помехи или при обработке нестационарных помех и имеет следующий вид [2, р. 262; 3, с. 167]:

$$W(n) = W(n-1) - \frac{\mu}{|E_K(n)|^2} E_K^*(n) \cdot E_\Sigma(n). \quad (2)$$

В нестационарной обстановке часто применяются рекурсивные алгоритмы формирования весовых коэффициентов типа RLS. Алгоритм формирования весовых коэффициентов RLS имеет следующий вид:

$$W(n) = -\hat{R}^{-1}(n) \hat{R}_0(n) = W(n-1) - \hat{R}^{-1}(n) E^*(n) E_\Sigma(n), \quad (3)$$

где  $E_\Sigma(n) = E_0(n) + E^T(n)W(n-1)$ ;

$$R^{-1}(i) = R^{-1}(i-1) - \frac{\alpha R^{-1}(i-1) E^*(i) R^{-1}(i-1)}{1 + \alpha E^T(i) R_m^i E^*(i)}.$$

### Сравнительный анализ эффективности алгоритмов

Сравнительный анализ эффективности алгоритмов работы одноканального автокомпенсатора активных шумовых помех производился методом имитационного моделирования. Эффективность автокомпенсатора оценивалась по мощности остатков компенсации помехи после окончания переходных процессов. Соседние отсчеты и помехи и внутреннего шума являлись некоррелированными. Результат представлены в виде индикатора азимута и дальность.

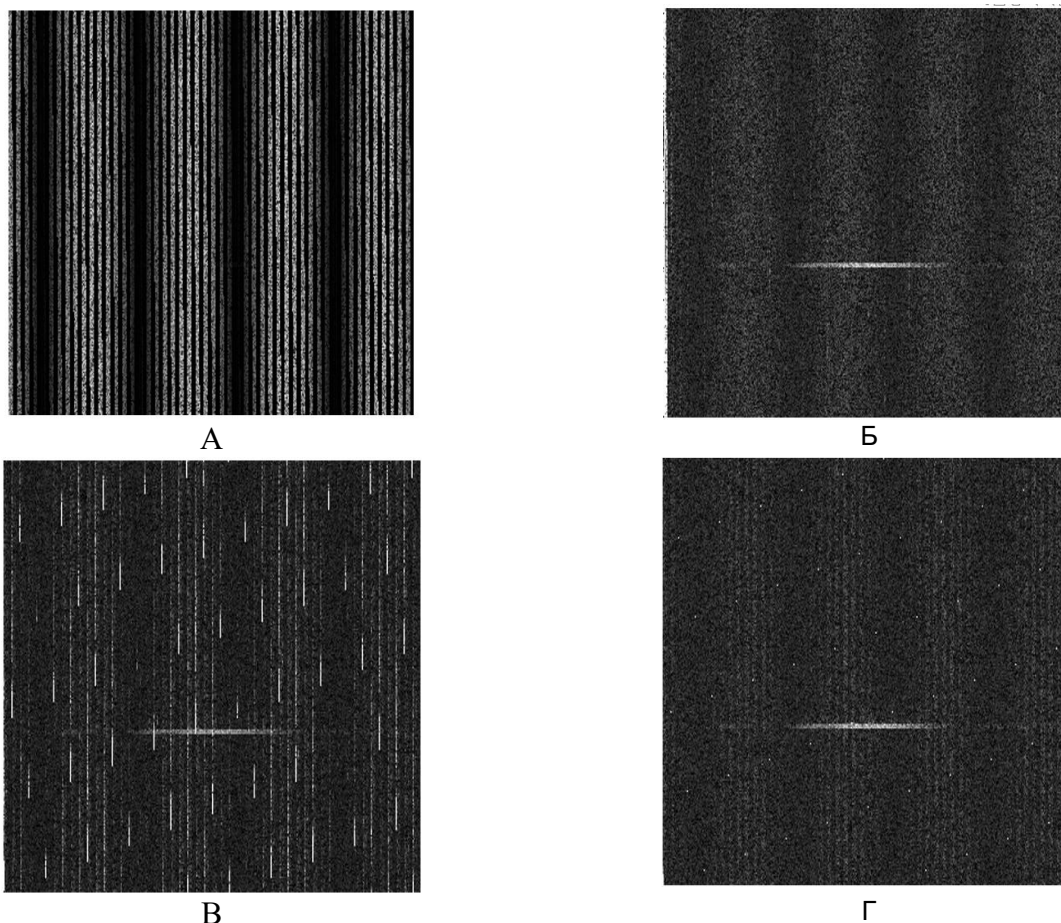


Рис.3. – Индикатора азимута и дальность при выключении АК (А), алгоритме LMS(Б), алгоритме NLMS(В) и алгоритме RLS(Г)

На рисунке 3 показаны результаты имитационного моделирования до включения АКМИ и после применения алгоритмов LMS, NLMS и RLS. Из результатов видно что алгоритмы LMS и RLS дают хорошие возможность наблюдения отметки и лучшие эффективности подавления нестационарных активных шумовых помех. Алгоритм NLMS тоже дает возможность наблюдения отметки, однако эффективности подавления нестационарных активных шумовых помех хуже чем алгориты LMS и RLS.

### Заключение

Сравнительный анализ эффективности подавления нестационарных активных шумовых помех показал, что приблизительно одинаковой эффективностью обладают алгоритмы *LMS* и *RLS*. Эффективность алгоритма *NLMS* при подавлении нестационарных шумовых помех является более низкой за счет разбалтывания весового коэффициента на временном интервале, свободном от помехи.

**Список использованных источников:**

1. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. *Адаптивные антенные решетки* / М.: Радио и связь, 1986. 446 с.
2. Aurelio Uncini. *Fundamentals of Adaptive Signal Processing* / Springer, 2015. 704 p.
3. Джиган В.И. *Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы* / Москва: Техносфера, 2013. 528 с.
4. Джиган В.И. *LMS-алгоритм адаптивной фильтрации: первый или единственный для использования на практике? // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС), 2014. – №4. – С. 159–168.*
5. Brennan L.E., Pugh E.L., Reed I.S. *Control Loop Noise in Adaptive Array Antennas // IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., 1971. – Vol. 7, N2. Pp. 254–262.*
6. Brennan L.E., Reed I.S. *Effect of Envelope Limiting in Adaptive Array Control Loops // IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., 1971. – Vol. 7, N4. Pp. 698–700.*
7. J.I. Nagumo, A. Noda. *A learning method for system identification / IEEE Trans. on Automatic Control, 1967. – Vol. 12, N3. Pp. 282–287.*
8. Sayed A.H. *Fundamentals of adaptive filtering* / NJ, Hoboken: John Wiley and Sons, Inc., 2003. 1125p.
9. Сергиенко А.Б. *Алгоритмы адаптивной фильтрации: особенности реализации в MATLAB. В журнале «Exponenta Pro», 2003, №1. С. 18–28.*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ СИМУЛЯТОРА ПАДЕНИЯ СНЕГА

Никитин Д.А.

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

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

В статье представлена информация о параллельном программировании в языке C#, методах параллельного выполнения кода: многопоточности (класс Thread) и библиотеке TPL (класс Task), спроектирован и разработан проект симуляции падения снега с применением параллельного подхода.

При разработке инструментальных программных средств, насыщенных большим функционалом, возникает вопрос о качестве и скорости работы программы. В настоящее время для программ различного вида и назначения критически важно время выполнения запросов, скорость работы системы и отзывчивость пользовательского интерфейса. Внедрение в программное средство параллельности выполнения задач может повысить быстродействие.

Для разработки программного средства выбран язык программирования C#. При работе с оконными приложениями, написанными на данном языке, может возникнуть проблема блокирования пользовательского интерфейса, в случае если вся логика программы выполняется в главном потоке. Для решения этой проблемы применяются механизмы параллельного программирования. Параллельность в программировании – способ организации компьютерных вычислений, при котором для выполнения задачи выделяется свободный ресурс, не затрагивающий выполняющиеся в этот момент задачи [1]. Симулятор падения снега подразумевает генерацию большого количества снежинок, а на программном уровне каждая снежинка представляет собой объект, их нужно обрабатывать и применять к ним различные операции.

Язык программирования C# имеет несколько методов параллельного выполнения кода, в работе рассматриваются следующие: библиотека TPL (класс Task) и многопоточность (класс Thread). Оба метода имеют уникальные особенности, но в данной ситуации рассматривается функционал, позволяющий параллельно выполнять несколько задач. Для разработки программного средства используется метод параллельного выполнения кода – библиотека TPL (класс Task).

На этапе проектирования программного средства определены конкретные операции, необходимые для вынесения в отдельные потоки:

1. Генерация снежинок – задача заключается в создании объектов с определённым временным промежутком;

2. Движение снежинок – каждая снежинка, находящаяся на холсте должна перемещаться с определённой скоростью в определённом направлении;

3. Обновление холста – изменение координат снежинок предполагает постоянное обновление холста, оно заключается в очищении холста и перерисовывании снежинки.

4. Подсчёт количества отображенных кадров в секунду – счётчик кадров необходим для определения эффективности работы разрабатываемой логики.

Программное средство предусматривает возможность формирования сугроба после преодоления снежинкой края экрана. Решается эта задача путём использования графического

полигона совместно со списком, состоящим из количества элементов соответствующих количеству пикселей по оси X.

Для разработки пользовательского интерфейса программы выбрана технология Windows Presentation Foundation (WPF), которая является основной технологией построения графических интерфейсов в языке C#, при разработке оконных программ для операционных систем семейства Windows.

Каждая операция, необходимая для вынесения в отдельные потоки, не должна содержать в себе параллельности, для этого определён класс, отвечающий за объединение этих операций и внедрение параллельности. Этот класс включает метод, который реализует бесконечный цикл с вызовом на параллельное исполнение описанных операций. Спроектированное решение позволяет запустить симуляцию без дополнительных надстроек на рабочем слое. Помимо этого бесконечный цикл в данном методе необходим в связи с тем, что операциям свойственно единовременное выполнение.

В качестве хранилища снежинок используется коллекция «Список». Она расположена в классе симуляции, это способствует возможности работы операций с одним набором данных.

В момент запуска симуляции для генерации снежинок создаётся таймер, который при превышении заданного заранее периода обнуляется и создаёт снежинку.

Движение снежинок должно осуществляться по двум осям, поэтому необходимо обработать соответствующие условия:

– снежинка при приземлении упадёт в сугроб или сама создаст его – в зависимости от этого необходимо проверять границу по оси Y;

– снежинка преодолела границу сугроба по оси Y – данное условие является вложенным для вышеописанного условия;

– снежинка преодолела границу холста по оси Y;

– снежинка преодолела границы по осям X – данное условие обрабатывает проверку на преодоление снежинкой левой и правой границы холста.

Движение снежинок можно осуществить двумя способами: выделить параллельный процесс для каждой из снежинок или в качестве параллельного процесса обрабатывать весь список снежинок. Первый вариант может вызвать ошибку одновременной обработки списка данных из различных процессов, поэтому выбран второй вариант.

Обновление холста представляет абстракцию для возможности адаптации программы под различные технологии разработки пользовательского интерфейса. Класс симуляции должен содержать замещающий метод обновления холста для возможности подсчёта числа кадров.

Подсчёт числа прорисованных кадров вычисляется каждую секунду благодаря таймеру. При вызове метода отображения снежинок происходит увеличение определённого поля, по превышению счётчика таймера в одну секунду значение этого поля переносится, а само поле очищается для повторного расчёта.

В ходе исследования на основе итерационного процесса составления программ, когда каждая функция имеет несколько итераций, на каждой из которых производятся определённые вычисления, с уникальным набором значений переменных, разработан законченный мини-проект с применением методов параллельного программирования. Ознакомиться с исходным кодом программы можно в GitHub репозитории «denden1s/Snow-simulation». Процесс выполнения программы представлен на рисунке 1.



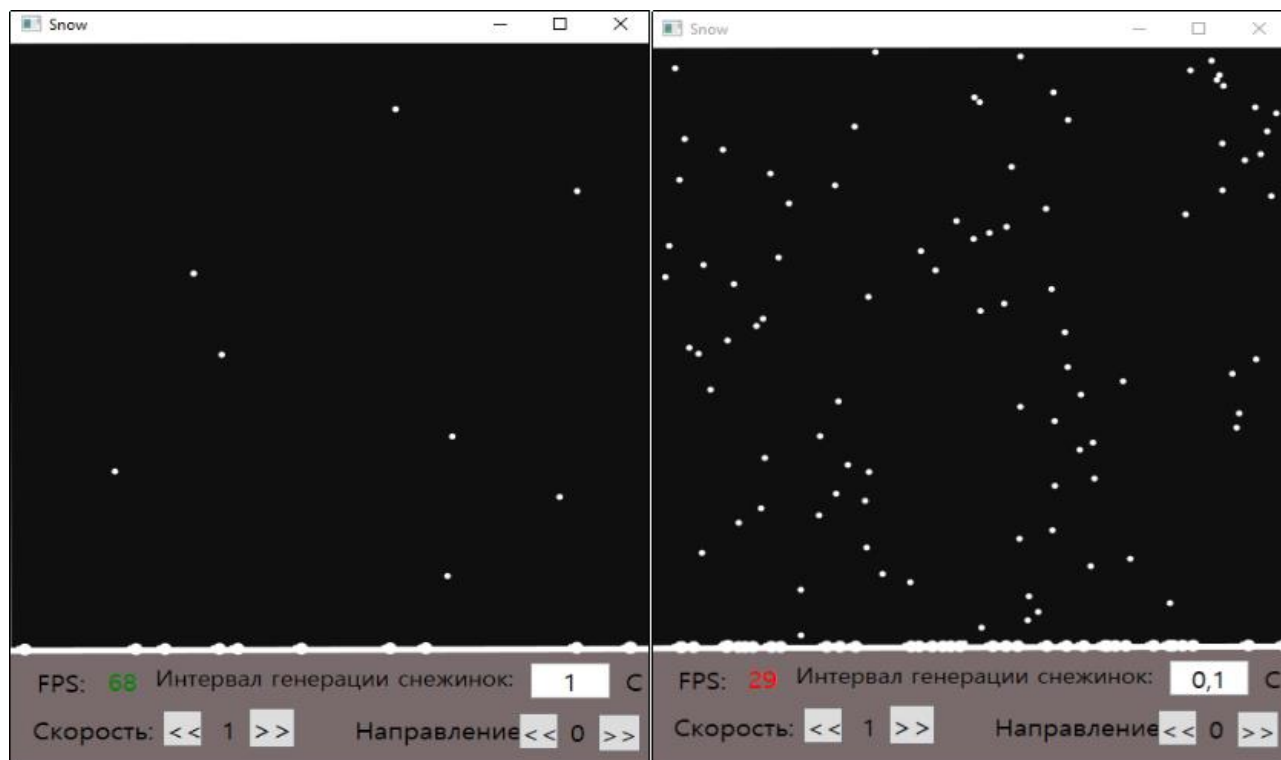


Рисунок 1 – Выполнение программного средства

**Список использованных источников:**

1. Параллельные вычисления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Параллельные\\_вычисления](https://ru.wikipedia.org/wiki/Параллельные_вычисления). – Дата доступа: 30.03.2022.

## РАЗРАБОТКА МАСШТАБИРУЕМЫХ ПРОГРАММ НА ПРИМЕРЕ ГЕНЕРАТОРА КОНТРОЛЬНЫХ СУММ

*Никитин Д.А.*

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

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

В статье речь идёт о выборе структурных элементов системы, способах их соединения, проектировании архитектуры программы и разработке гибкого и масштабируемого программного средства на языке C++ в виде консольной утилиты; в качестве примера определена тема «Генератор контрольных сумм»; масштабирование системы в данном случае заключается в применении порождающего шаблона проектирования «Фабричный метод».

Разработка программных средств является сложным процессом, состоящим из определённых этапов. При рассмотрении функциональной составляющей, самым важным этапом выступает проектирование системы. Проектирование программного продукта – это процесс создания проекта программного обеспечения. Проектированию подлежат: архитектура, устройство компонентов и пользовательские интерфейсы [1]. В данном исследовании речь идёт о проектировании архитектуры программы. При грамотном выборе структурных элементов системы и способах их соединения можно получить программный продукт, который в последующем будет легко поддерживать. Практическая деятельность по разработке программ показывает, что процесс написания программных модулей в таком случае станет проще.

Важным моментом в проектировании архитектуры являются абстракции и интерфейсы, позволяющие создать независимость между различными слоями программы. В некоторых случаях при разработке программных средств требования, предъявляемые к программе, могут изменяться, а хорошо построенная архитектура позволит минимизировать усилия на изменения направлений разработки.

В рамках исследования поставлена цель разработать программное средство на языке C++, позволяющее определять контрольные суммы файлов. Оно должно быть представлено в виде консольной утилиты. На этапе проектирования определено требование о возможности выбора

алгоритма расчёта контрольных сумм пользователем. Проблема в данном случае сводится к выбору объекта конкретного типа на основании полученной строки.

Наиболее простым способом выступает условный оператор или механизм управления выбором «switch-case». В такой ситуации, при рассмотрении системы на бесконечности, такая конструкция станет громоздкой, а внутри каждого блока будет присутствовать несчётное количество дублирующегося кода.

Для решения этой задачи были рассмотрены порождающие шаблоны проектирования. В частности был рассмотрен шаблон «Фабричный метод». В некоторых случаях использование шаблонов проектирования может быть неуместно и вызовет сложности в разработке, поэтому перед применением шаблона необходимо ознакомиться с руководством, в котором описаны случаи, когда применение шаблона уместно. В рекомендациях по применению шаблона «Фабричный метод» одним из случаев является ситуация, когда заранее неизвестно объект, какого типа должен быть создан [2].

Суть шаблона заключается в том, что он предлагает создать абстракцию в виде создаваемого объекта и создателя объектов, а на их основе разрабатывать конкретные объекты и создателей соответственно. Однако в руководстве не сказано, как реализовать выбор необходимого объекта. Фабричный метод можно использовать в совокупности с условными конструкциями. В таком случае объём работы снизится, однако этот способ остаётся сложным и запутанным.

Разработка происходит в объектно-ориентированной парадигме, а соответственно каждый метод хеширования имеет свой уникальный тип или же имя класса, это свойство может послужить критерием выбора. В таком случае наименования классов должны соответствовать наименованиям алгоритмов хеширования.

Основная идея решения заключается в создании контейнера, в котором будет расположен список всех объектов. Тогда для определения конкретного элемента можно проводить перебор по списку и сравнивать тип с введённой строкой. Такое решение подразумевает изменение ролей участников шаблона, а именно, в качестве конкретного создателя выступает контейнер со списком всех элементов.

Однако в программе должны быть дополнительные команды, например справка или просмотр версии программы. Исходя из реализованного абстрактного создателя можно, по аналогии с создателем алгоритмов хеширования, реализовать контейнер для дополнительных команд программы. Таким образом, абстрактный создатель необходимо сделать шаблонным классом. Для абстрактного создателя необходимо добавить шаблонный список (в качестве списка выбран вектор) и объект для передачи, также шаблонного типа.

Выбранный способ поиска объектов обладает независимостью от основного слоя программы и расширяемости. При появлении новых видов объектов необходимо выполнить единственное действие – добавить объект в список.

Для наглядного представления структуры проекта составлена упрощённая диаграмма классов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Упрощённая диаграмма классов разработанного программного средства

В ходе исследования были детально рассмотрены варианты для разработки масштабируемого программного средства, спроектирована структура с применением шаблона «Фабричный метод» и его расширением в виде списка объектов для создания. Ознакомиться с детальной реализацией структуры и самой программы можно в репозитории GitHub «denden1s/HashSums».

**Список использованных источников:**

1. Проектирование программного обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Проектирование\\_программного\\_обеспечения](https://ru.wikipedia.org/wiki/Проектирование_программного_обеспечения). – Дата доступа: 30.03.2022.
2. Фабричный метод (Factory Method) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://metanit.com/sharp/patterns/2.1.php>. Дата доступа: 30.03.2022.

## ЛИЧНЫЙ КАБИНЕТ СТУДЕНТА КАК РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Охотенко А.Л.

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

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

Аннотация. В тезисах представлены основные принципы построения автоматизированной информационной системы, представленной автоматизированным рабочим местом, как совокупностью информационно-программно-технических ресурсов, обеспечивающих пользователю обработку данных и автоматизацию управленческих функций в конкретной предметной области. Изложены условия эффективности использования АРМ, общие принципы создания достоинства внедрения АРМ с целью расширения возможностей пользователя

Ключевые слова: информационные технологии, автоматизированное рабочее место, личный кабинет пользователя, условия, принципы, достоинства.

Сегодня невозможно себе представить рабочее место педагога или обучающегося без наличия персонального компьютера и компьютерных технологий. Компьютерные технологии или

информационные технологии развиваются стремительными темпами и практически с каждого телефона можно зайти в Internet. Информационные технологии представляют собой множество взаимосвязанных научных и технических областей знания, которые обеспечивают использование в практической деятельности методов создания, обработки, хранения, защиты и передачи информации с поддержкой вычислительной техники [1].

С помощью предложения Windows Azure in education преподаватели получают возможность включить в образовательный процесс облачные технологии Microsoft – одну из наиболее инновационных и быстро развивающихся новых технологий, при этом возможны три основных направления использования Windows Azure:

1. Обучение:
  - для расчёта практических задач;
  - в дипломных и курсовых работах.
2. Научно-исследовательские работы:
  - обработка больших массивов данных для НИР;
  - моделирование научных экспериментов;
  - использование инновационных технологий для НИОКР.
3. Информационно-обучающие порталы:
  - совместная работа над учебными проектами;
  - портал приемной комиссии;
  - дистанционное обучение;
  - личный кабинет студента/сотрудника/преподавателя [2].

Такое применение облачных технологий заключается в отсутствии необходимости устанавливать на персональном компьютере большое количество разнообразных программ и в возможности осуществлять постоянное обновление программного обеспечения.

Личный кабинет — это персонализированное рабочее пространство студента в закрытом доступе, в котором предоставлена вся необходимая для обучающегося информация, доступ к ресурсам и приложениям, используемым в образовательном процессе. В личном кабинете студента доступны: портфолио студента, учебные планы, учебные программы, графики учебного процесса, учебно-методическое обеспечение; расписание занятий, консультаций, сессий, информация об аттестации, сведения об оплате и многое другое. В личном кабинете, после авторизации, студентам предоставляется возможность: следить за актуальностью информации в личном деле; получать доступ к сервисам и приложениям, необходимым в учебном процессе.

Личный кабинет студента относится к автоматизированным рабочим местам (АРМ). Данное словосочетание подразумевает под собой совокупность информационно-программно-технических ресурсов, обеспечивающих конечному пользователю обработку данных и автоматизацию управленческих функций в конкретной предметной области [3]. Автоматизированное рабочее место обеспечивает оператора всеми средствами, необходимыми для выполнения определенных функций.

Эффективность использования АРМ будет улучшена при выполнении следующих условий:

- доступность – доступная пользователю совокупность технических, программных, информационных и других средств;
- адаптация в конкретной сфере деятельности (например, АРМ учителя сильно отличается от АРМ специализированного врача);
- осуществление обработки данных самим пользователем.

Общие принципы создания АРМ:

1) Принцип ориентации на конечного пользователя. Данный метод реализуется путем создания особых средств адаптации АРМ к уровню подготовки пользователя и к возможности его обучения и самообучения, вследствие АРМ часто снабжается специальными демонстрационными роликами. Важно, чтобы ввод новой информации и корректировка сопровождалась автоматизацией операций, встроенным контролем и системой подсказок.

2) Принцип проблемной ориентации. Всякое АРМ специализируется на решении определенного вида задач, объединенных общей специальной технологией обработки данных, единством режимов работы, единством алгоритмов обработки данных.

3) Принцип соответствия информационных потребностей пользователей используемым техническим средствам. Свойства используемых технических средств должны соответствовать объему информации и алгоритмам ее обработки.

4) Принцип творческого контакта разработчиков АРМ и их потенциальных пользователей. Совместное участие пользователя и разработчика в создании АРМ помогает лучше осознать проблемную ситуацию, стимулирует интеллектуальную деятельность будущего пользователя АРМ и, в конечном счете, способствует повышению качества АРМ.

5) Полная документация, которая должна содержать пояснения к задачам, выполняемым с помощью АРМ, инструкцию по установке и эксплуатации АРМ, инструкцию по заполнению и ведению входных и выходных документов.

Необходимо, чтобы любое АРМ удовлетворяло информационным и вычислительным потребностям пользователя; было адаптировано к профессиональным запросам и имело выходы, как в локальную сеть учреждения, так и в глобальную сеть Internet.

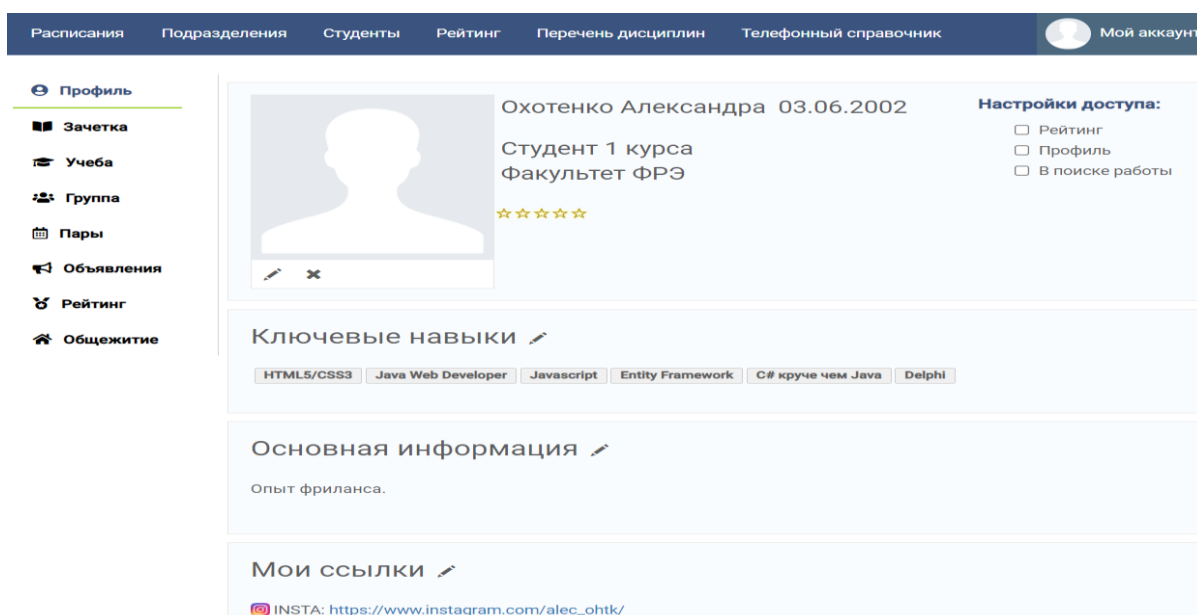
Достоинствами внедрения АРМ являются:

- 1) использование трудосберегающих технологий (например, использование компьютеров);
- 2) повышение безопасности (например, при использовании личных данных студента);
- 3) более быстрое принятие решений;
- 4) увеличение скорости выполнения поставленных задач [4].

Студенты должны уметь правильно организовать свое автоматизированное рабочее место, чтобы эффективно и безопасно его использовать и не нанести вред своему здоровью, в частности, правильная рабочая поза позволит избежать перенапряжения мышц, будет способствовать лучшему кровотоку и дыханию.

Изучив различные интернет ресурсы, проведя анализ данных по вопросу оснащения и работы на автоматизированном рабочем месте, мы пришли к выводу, что сегодня невозможно себе представить современное рабочее место обучающегося без наличия персонального компьютера и другой компьютерной техники.

Пример оформления панели управления личного кабинета студента представлен на рисунке 1. Каждая из вкладок обладает своей собственной структурой и имеет различную информацию. В личном профиле есть возможность описать свои ключевые навыки, основную информацию, указать ссылки на социальные сети, а также дать возможность потенциальному работодателю узнать, что студент находится в поиске работы.



## Рисунок 1 – личный кабинет пользователя

Автоматизированная информационная программа построена по модульному принципу, который позволяет упростить тестирование программы и обнаружение ошибок. Аппаратно-зависимые подзадачи могут быть строго отделены от других подзадач, что улучшает мобильность созданного программ. Поэтому программа открыта для проведения различных изменений с целью расширения возможностей пользователя.

В большинстве случаев личный кабинет позволяет найти актуальную информацию, последние новости, а также узнать:

- расписание занятий (группы, преподавателя, кафедры);
- сведения об успеваемости и рейтинг студентов на основе своего среднего балла;
- задания для выполнения письменных заданий: контрольных работ, самостоятельных работ, а также лабораторных работ;
- узнать перечень дисциплин по семестрам, а также отслеживать процент сдачи предмета на основании предыдущих 4 лет.
- подать заявление для получения дополнительных занятий по предметам, а также запросить различные виды справок и ведомостичек;
- сроки пересдачи экзаменов и ликвидации академической задолженности;
- электронные варианты лекций, задания к семинарским и практическим занятиям;
- данные преподавателей и одногруппников (телефон, электронная почта, закрепленный кабинет и пр.);
- узнать информацию относительно проживания в общежитии БГУИР (статус заселения, право в очереди на заселение, поощрения и взыскания).

По результатам исследования и разработки программы можно сказать, что использование автоматизированного рабочего места даже в оптимальной комплектации в современных условиях максимально облегчает работу.

### *Список использованных источников:*

1. Автоматизированное рабочее место учителя и учащегося и перспективы его развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nsportal.ru/ap/library/drugoe/2017/10/20/avtomatizirovannoe-rabochee-mesto-uchitelya-i-uchashchegosya-i;>
2. Кравчяня, Э.М. Информационные и компьютерные технологии в образовании. Учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-08 01 01 «Профессиональное обучение (по направлениям)». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/33389/Informacionnye\\_i\\_kompyuternye\\_tekhnologii\\_v\\_obrazovanii.pdf?sequence=7;](https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/33389/Informacionnye_i_kompyuternye_tekhnologii_v_obrazovanii.pdf?sequence=7;)
3. StydRef. Автоматизированное рабочее место (APM) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studref.com/336137/informatika/avtomatizirovannoe\\_rabochee\\_mesto#397;](https://studref.com/336137/informatika/avtomatizirovannoe_rabochee_mesto#397;)
4. letopisi.ru [Электронный ресурс] / Автоматизированное рабочее место специалиста. – Режим доступа: [http://letopisi.ru/index.php/Автоматизированное\\_рабочее\\_место\\_усилитель\\_деловой\\_и\\_творческой\\_активности;](http://letopisi.ru/index.php/Автоматизированное_рабочее_место_усилитель_деловой_и_творческой_активности;)

## **ОБЛАЧНЫЕ СЕРВИСЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ**

*Павлюченко Н.Н.*

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

*Каленкович Е.Н. – старший преподаватель кафедры ИРТ*

В работе рассматриваются облачные вычисления и их значение для отрасли Интернета вещей и мира в целом.

Актуальность проведения исследований в области облачных технологий, позволяющих реализовать концепцию Интернета вещей, обусловлена стремительным развитием информационных технологий и ростом потребностей человечества в вопросах оптимизации окружающих процессов и корректной организации взаимодействия информационных ресурсов с людьми. Данные задачи являются основополагающими для концепции Интернета вещей, которая заключается в самостоятельной

интеграции и согласованной работе вещей без непосредственного вмешательства в управление человека.

Облачные вычисления - это технология, образованная программно-аппаратным обеспечением и предоставляющая возможности по повсеместному сетевому доступу по требованию пользователей к разделяемым конфигурируемым вычислительным ресурсам. Технология облачных вычислений основывается на внешней и внутренней частях. Внешняя часть обеспечивает взаимодействие пользователя и системы и состоит из клиентского оборудования и приложений, осуществляющих доступ к облачной среде. Внутренняя часть является самой облачной инфраструктурой, включающей в себя сервисы, серверы, компьютеры, хранилища данных.

Актуальность применения облачных технологий в различных сферах жизни обусловлена их многофункциональностью. В основном, их стремительное развитие и распространение обусловлено рядом преимуществ: доступность, мобильность, экономичность, технологичность, гибкость, безопасность. Данные аспекты хорошо отражают удобство использования облачных технологий в Интернете вещей.

Интернет вещей (Internet of Things, IoT) - сеть физических объектов, содержащих встроенную технологию, которая позволяет этим объектам измерять параметры собственного состояния или состояния окружающей среды, использовать и передавать эту информацию. Иными словами, под IoT можно понимать некую совокупность устройств, которые взаимодействуют между собой и их владельцем посредством Internet или других сетей. Развитие Интернета вещей на данный момент обусловлено колоссальным количеством технической периферии, что доступна каждому и делает процесс сбора данных не затратным. Не стоит так же забывать о тенденции роста скорости подключения к сети во многих странах и появлении все более развитых и общедоступных аналитических инструментов, в совокупности позволяющих оперировать данными в близком к реальному времени.

На сегодняшний день существует большое количество облачных платформ типа PaaS, предоставляющие разнообразные и многофункциональные сервисы для разработок, мониторинга, вычислений или хранения данных. Однако не все из них располагают необходимым функционалом для решения той или иной поставленной задачи. Например, Google Disk никто не сможет использовать для мониторинга IoT, а Google Azure – для хранения данных. Перед выбором облачного сервиса необходимо знать функционал, которым он должен обладать и произвести сравнительный анализ среди подходящих сервисов, чтобы найти лучший вариант.

Для работы с Интернетом вещей, нужно рассмотреть такие облачные сервисы, как Thing Speak, Thing Network и “Народный мониторинг”.

ThingSpeak ([www.thingspeak.com](http://www.thingspeak.com)) - это платформа, предоставляющая различные услуги, предназначенные для создания приложений IoT. Он предлагает возможности сбора данных в реальном времени, визуализации собранных данных в виде диаграмм, возможность создания плагинов и приложений для совместной работы с веб-сервисами, социальными сетями и другими API.

The Things Network ([www.thethingsnetwork.org](http://www.thethingsnetwork.org)) - открытая LoRaWAN сеть, поддерживаемая и развиваемая ее участниками. Сервис предоставляет набор открытых инструментов и глобальную открытую сеть для создания IoT-приложений. Благодаря надежному сквозному шифрованию создается защищенная и совместная сеть Internet of Things, охватывающая многие страны мира. Сейчас работают тысячи шлюзов, обеспечивающих покрытие миллионам людей. Любой желающий может зарегистрировать в сети свое LoRa-устройство как узел (node).

“Народный мониторинг” ([www.narodmon.ru](http://www.narodmon.ru)) – отечественный проект, по отображению на карте мира и контролю (по e-mail и sms) показаний датчиков среды (температуры, влажности, атмосферного давления, скорости и направления ветра, радиации, энергопотребления и др.), а также веб-камер.

Пример анализа подходящего сервиса: необходимо создать бюджетное устройство на ESP32 для личного использования, которое будет отслеживать температуру в помещении. Для работы с ThingSpeak и “Народным мониторингом” необходимо купить только датчик температуры, в то время как для The Things Network пришлось бы докупить еще и LoRa-модуль. Если датчик должен быть приватным и просматриваться только его владельцем, то подойдет уже только ThingSpeak, благодаря функционалу создания приватных каналов.

Таблица 1 – Сравнение облачных сервисов IoT по функционалу

Параметр	Thing Speak	The Things Network	“Народный мониторинг”
Универсальность	++		+
Функционал	+	++	+
Приватность	+	++	
Доступ к данным	+	+	++
Пропускная способность	+	++	+
Стоимость услуг	нет	нет	нет

Благодаря внедрению облачных решений, использованию большого количества датчиков и распределенных микропроцессорных систем уже в ближайшее время могут быть созданы прорывные решения в таких областях, как транспорт, сельское хозяйство, промышленное производство, здравоохранение, социальная сфера, быт и других. Все большее количество компаний обращает внимание на применение идей и технологий Интернета вещей для внедрения аналитики их деятельности и поиска новых возможностей для продуктов и услуг.

**Список использованных источников:**

1. Types of Cloud Computing: Private, Public and Hybrid Clouds. [Электронный ресурс]. // AppCore. URL: <http://www.appcore.com/types-cloud-computing-private-public-hybrid-clouds>.
2. Michael Hausenblas. Key Requirements for an IoT Data Platform. [Электронный ресурс]: MAPR. 2015. 19 January. URL: [https://www.mapr.com/blog/keyrequirements-iot-data-platform#.VX1xq\\_ntmko](https://www.mapr.com/blog/keyrequirements-iot-data-platform#.VX1xq_ntmko).
3. Global Strategy, Business Development, Freescale, Emerging Technologies, ARM. What the Internet of Things (IoT) needs to become a Reality. [Электронный ресурс]: Freescale, 2014. May. URL: [freescale.com/loT](http://freescale.com/loT).
4. ThingSpeak Forum [Электронный ресурс]. // ThingSpeak. URL: <https://www.mathworks.com/help/thingspeak/>
5. The Things Network Forum [Электронный ресурс]: // The Things Network. URL: <https://www.thethingsnetwork.org/forum/>
6. Народный мониторинг. [Электронный ресурс]: NarodMon May. URL: <https://www.narodmon.ru/>

## **ЭЛЕКТРОННЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ПСИХОЛОГИЯ»**

*Пасынкова А.С.*

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

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

Работа посвящена вопросам эффективности практического применения материалов электронного образовательного ресурса для изучения дисциплины «Педагогическая психология» в процессе обучения студентов направления специальности 1-08 01 01-7 «Профессиональное обучение (информатика)».

В настоящее время компьютерные технологии играют огромную роль в жизни каждого человека и применяются повсеместно. Они позволяют расширить возможности и быстродействие любой сферы деятельности, благодаря им жизнь людей стала намного проще. Отдельно стоит отметить сферу образования [1].

В нынешних условиях всеобщей цифровизации и развития информационных технологий изменяются способы получения и восприятия информации. Особенно хорошо это можно проследить на современном поколении обучающихся, которое, как известно, уже с детства получает информацию из множества различных электронных источников [4].

Как результат, Интернет – это не только место проведения досуга, общения в социальных сетях, но также и рабочий инструмент в сфере образования для получения знаний. И поскольку методы обучения должны соответствовать современным реалиям для большей эффективности педагогического взаимодействия между субъектами образования, то, как результат, в учебном процессе появляется все больше систем для обеспечения доступности учебных и методических материалов в электронной форме, называемых электронными образовательными ресурсами (ЭОР) [2].

ЭОР обладают большой практической ценностью, предоставляя студентам информацию разнообразными способами и в любое удобное для них время, они дают больше возможностей для самостоятельной работы, а осуществление планирования всех видов работ и установления контрольных сроков выполнения мероприятий повышает мотивацию к обучению и способствует активизации познавательной деятельности [3].



Таким образом, грамотно созданный электронный ресурс способен повысить качество образования, тем самым повышая и уровень подготовки, и уровень конкурентоспособности выпускаемых университетом специалистов. По этой причине мы разработали ЭОР, заказчиком которого выступило высшее учебное заведение «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Разработанный нами ЭОР предназначен для изучения дисциплины «Педагогическая психология» студентами направления специальности 1-08 01 01-7 «Профессиональное обучение (информатика)».

Дисциплина «Педагогическая психология» является одной из психолого-педагогических дисциплин специальности, входит в модуль 2.2 «Специальная педагогическая подготовка» компонента учреждения высшего образования учебного плана и обеспечивает прикладную психо-лого-педагогическую подготовку выпускника по направлению специальности 1-08 01 01-07 «Профессиональное обучение (информатика)».

Цель преподавания учебной дисциплины:

- формирование у студентов знаний о предмете педагогической психологии, ее основных направлениях, взаимосвязях и отношениях между обучением и развитием;
- умений применять психолого-педагогические знания к анализу практических педагогических ситуаций и взаимодействий.

Задачи учебной дисциплины:

- раскрытие психологических феноменов и закономерностей учебной деятельности, воспитания и развития субъектов образовательного процесса;
- формирование и развитие умений психологического анализа и прогнозирования эффективности организации обучения, воспитания, профессионально-педагогической деятельности;
- формирование профессионального мышления будущих педагогов.

Он включает в себя следующие блоки: «Восстановление доступа», «Добавление конспектов лекции», «Добавление практических занятий», «Добавление условных сокращений, использованных и рекомендуемых источников, списка вопросов к экзамену», «Добавление учебной программы», «Добавление тестов», «Просмотр конспектов лекций», «Просмотр практических занятий», «Просмотр условных сокращений, использованных и рекомендуемых источников, списка вопросов к экзамену», «Просмотр учебной программы», «Прохождение тестов».

Студент в ЭОР может ознакомиться с теоретическим материалом предложенных преподавателем тем в блоке «Лекции», а также с материалом практических занятий в соответствующем блоке, пользуясь средствами навигации, что делает процесс обучения более удобным. После изучения лекций по дисциплине студент может закрепить полученные знания посредством прохождения тестов, а также студенту доступны тесты после выполнения практических занятий, что дает студенту возможность проверить полученные знания. Контроль знаний в виде тестов доступен после изучения отдельных модулей учебной дисциплины и всего курса. После прохождения теста студент получает сведения о количестве правильных и неправильных ответов, а также отметку за пройденный тест в 10-балльной шкале. Также студент может ознакомиться с используемыми условными сокращениями, использованными и рекомендуемыми источниками, списком вопросов к экзамену и учебной программой по дисциплине в соответствующих блоках.

Содержание ЭОР соответствует действующий учебной программе по дисциплине, поэтому в процессе разработки ресурса в него внесены лекции по 5 разделам дисциплины:

1. Педагогическая психология: становление, современное состояние.
2. Психология обучения.
3. Психология воспитания.
4. Психология педагогической деятельности.
5. Психология педагогического взаимодействия.

Ресурс содержит 12 лекций, а также 8 практических занятий по каждому из разделов:

1. Педагогическая психология: становление, современное состояние.
2. Психологические основы обучения учащихся на различных возрастных этапах.
3. Психологическая характеристика обучающегося.
4. Психологические основы методов воспитания.
5. Стиль педагогической деятельности.
6. Диагностика педагогических способностей.
7. Психологический анализ занятий.
8. Педагогические конфликты: причины и методы разрешения.

Для диагностики результатов учебной деятельности в ресурсе имеются тесты самоконтроля по результатам практической работы, тестирование по разделу дисциплины и итоговое тестирование по курсу.

Средство содержательно готово к использованию по дисциплине. Для подготовки контента нами использованы учебная программа по дисциплине «Педагогическая психология» и ЭОР по дисциплине «Педагогическая психология» для направления специальности 1-08 01 01-7 «Профессиональное обучение (информатика)», который расположен в системе электронного обучения учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», также этот ЭОР был рассмотрен в качестве аналога [5].

В ходе анализа были выявлены достоинства и недостатки рассматриваемого ЭОР, которые были учтены при разработке собственного программного средства для изучения дисциплины «Педагогическая психология».

Преподаватель может добавить либо отредактировать конспекты лекций, практические занятия, условные сокращения, использованные и рекомендуемые источники, список вопросов к экзамену, учебную программу и тестовые задания к лекциям, практическим занятиям, модулям.

Права доступа работы в ЭОР разделены: режим работы администратора (преподавателя) и пользователя (студента). В режиме администратора возможно обновлять, изменять и дополнять информацией все блоки, а также изменить данные авторизации. В режиме пользователя возможно только просматривать информацию и осуществлять контроль знаний.

ЭОР может быть использован на любом этапе занятия, а также для самостоятельного изучения курса. Таким образом, созданный ЭОР по дисциплине «Педагогическая психология» позволит эффективно осуществить процесс обучения и контроль знаний студентов направления специальности 1-08 01 01-7 «Профессиональное обучение (информатика)», а также сделает процесс обучения информативным, полезным и практически значимым для студентов.

**Список использованных источников:**

1. Аксютин, А. А. Информационные технологии в образовании и науке / А. А. Аксютин, А. А. Вицен, Ж. В. Мекшенева. // *Современные наукоемкие технологии*. – Москва, 2009. – № 11. – С. 50 - 52.
2. Славинская, О. В. Осмысление технологий медиадидактики «цифровыми мигрантами» / О. В. Славинская, М. Н. Демидко // *Вестник МГИРО*. – 2018. – № 2 (34). – С. 82-88.
3. Беляева, О. А. Педагогические технологии в профессиональной школе : учеб.-метод. пособие / О. А. Беляева. – 11-е изд., стер. – Минск : РИПО, 2019. – 60 с.
4. Никулина, Т. В. Информатизация и цифровизация образования: понятия, технологии, управление / Т. В. Никулина. – Москва, 2018. – 168 с.
5. Славинская, О. В. Педагогическая психология : электронный образовательный ресурс по дисциплине для направления специальности 1-08 01 01-07 «Профессиональное обучение (информатика)» / О. В. Славинская. – Минск : БГУИР, 2022.

## ТЕХНОЛОГИЯ ИММЕРСИВНОГО ОБУЧЕНИЯ

Пасынкова А.С.

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

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

Работа посвящена вопросам эффективности применения технологии иммерсивного обучения в образовательном процессе.

В современных условиях, когда модернизация знаний стремительна, а старые знания быстро устаревают, единственным выходом для получения высокой квалификации и поддержания ее на профессиональном уровне является массовое освоение педагогами новых педагогических технологий, формирующих активную роль обучающегося в учебном процессе.

Технологии обучения, которые используются на сегодняшний день в образовании, нуждаются в пересмотре и усовершенствовании. Необходимо внедрять новые технологии обучения, которые бы повышали эффективность обучения и оказывали мотивирующее воздействие на обучающихся. Современный рынок образования требует более активного и практикоориентированного подхода к обучению. Обучение через проживание уже давно считается наиболее эффективным способом обучения.

Технология иммерсивного обучения все больше набирает обороты, а снижение стоимости оборудования, цифровизация образования и, как следствие, его массовая доступность определяют ключевые позиции в ближайшей перспективе в сфере образования. Также VR-технологии по сравнению с традиционными формами обучения оказывают более сильное мотивирующее воздействие на обучающихся. Однако современные педагоги мало знакомы с этой технологией. Она

фактически не используется и мало доступна в учреждениях образования. Поэтому актуальным является ее освоение педагогами и внедрение в учебный процесс.

Система образования должна обеспечивать обществу уверенный переход в цифровую эпоху, ориентированную на рост производительности, новые типы труда, потребности человека, что возможно посредством включения в образовательный процесс всех слоев населения, выстраивания индивидуальных маршрутов обучения, управления собственными результатами обучения, виртуальную и дополненную реальность [1, 2].

Технология иммерсивного обучения – это виртуальное и дополненное расширение реальности, позволяющее лучше воспринимать и понимать окружающую действительность. Наиболее широкое применение иммерсивные технологии получают в создании новых принципов обучения.

Под иммерсивностью образовательной среды понимается свойство среды, отражающее ее возможности по вовлечению субъекта в систему отношений, определяемую ее содержанием. Иммерсивность можно определить как свойства технологической части среды, обеспечивающие психологическое состояние человека, в котором его «Я» воспринимает себя включенным в процесс и взаимодействующим со средой, обеспечивающей ему непрерывный поток стимулов и опыта.

Иммерсивная обучающая среда является динамическим системным самоорганизующимся психологическим конструктом, обладающим свойствами глубокого погружения, присутствия в ней субъекта, интерактивности, внесубъектной пространственной локализации, избыточности, наблюдаемости, доступности когнитивному опыту, насыщенности, пластичности, целостности. Присутствие в иммерсивной обучающей среде включает человека (его психологическую и психофизиологическую системы) в среды человеческого опыта в процессе их конструирования и освоения, сопровождаемых эффектом присутствия. [3]

Цель обучения в иммерсивной среде состоит в создании условий для получения практического опыта и его переноса в профессиональную деятельность, поскольку среда обучения моделирует специализированные профессиональные ниши для организации обучения с практикой. Цели деятельности в иммерсивной среде строго не определены, а отражены в форме общей стратегии, миссии, определяющей направление деятельности обучающегося в среде обучения.

Главным достоинством технологии иммерсивного обучения является виртуальное и дополненное расширение реальности, позволяющее лучше воспринимать и понимать окружающую действительность, что влечет за собой лучшее понимание учебного материала обучающимися, повышение заинтересованности в обучении и мотивационного воздействия.

**Список использованных источников:**

1. Левитес, Д. Г. *Современные образовательные технологии* / Д. Г. Левитес. – Новосибирск, 1999. – 288 с.
2. Славинская, О. В. *Осмысление технологий медиадидактики «цифровыми мигрантами»* / О. В. Славинская, М. Н. Демидко // *Вестник МГИРО*. – 2018. – № 2 (34). – С. 82-88.
3. Даутова, О. Б. *Традиционные и инновационные технологии обучения студентов : учеб. пособие : в 2-х ч.* / О. Б. Даутова, О. Н. Крылова, А. В. Мосина; под ред. А. П. Тряпицыной. – СПб., 2010. – 135 с.

## **ЭЛЕКТРОННЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС ПО ПРЕДМЕТУ «ИНФОРМАТИКА» ДЛЯ IX КЛАССА**

*Петроченко М.С.*

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

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

В работе рассматривается вопрос эффективности практического применения материалов авторского электронного образовательного ресурса по предмету «Информатика» для IX класса общеобразовательной школы.

Средства обучения — объекты и процессы, которые служат источником учебной информации и инструментами для усвоения содержания учебного материала, развития и воспитания учащихся. Цель использования средств обучения — минимизировать умственные затраты учащегося на процесс познания [1].

Применение средств обучения является обязательной составляющей учебного процесса. Выбор средств обучения определяется рядом условий учебного процесса, но в основном зависит от выбора учителем метода обучения. Средства и методы обучения тесно связаны и всегда используются в сочетании друг с другом, поэтому при проектировании учебного процесса они выбираются системно и должны взаимодополнять друг друга. Учитель продумывает эту систему обычно на этапе разработки системы занятий, а детализирует при проектировании конкретного занятия.

Создание средств обучения должно быть системным, опираться на имеющийся арсенал средств и результаты обучения, а также принятые к использованию методики обучения и оценки. Однако учителю не запрещается «улучшить» имеющееся средство. Этому способствует применение компьютерных технологий, сложных технических средств обучения. Все средства обучения, включая учебники, учебные пособия (как печатные, так и электронные), создаются для определенного комплекса условий, прогнозируемых авторами на момент их создания. При их применении учитель должен хорошо представлять, как данное средство обучения будет использоваться в тех условиях, которые имеются у него в учебном процессе, сопоставлять их.

Развитие цифровых технологий обусловило появление новой формы образования – электронного образования, то есть обучения с использованием информационно-коммуникационных технологий. Основой электронного образования являются электронные образовательные ресурсы (ЭОР) [2, 3].

Электронный образовательный ресурс – это совокупность программных средств, информационных, технических, нормативных и методических материалов, полнотекстовых электронных изданий, включая аудио и видеоматериалы, иллюстративные материалы и каталоги электронных библиотек, размещенные на компьютерных носителях и/или в сети Интернет [4].

Главная цель ЭОР на уроках, — это повышение уровня образовательного процесса. В настоящее время электронные средства обучения — это наглядный вид полученной информации, которая расширяет представление ученика об окружающем нас мире [5].

Учебный предмет «Информатика» является относительно предметом, содержание которого постоянно обновляется. Для него на республиканском уровне еще не созданы качественные отечественные вспомогательные электронные ресурсы, а уже имеющиеся обладают набором существенных недостатков. Разработанный нами ЭОР (рисунок 1) устраняет недостатки аналогов, раскрывает содержание и выполняет требования учебной программы по предмету.

Одной из поставленных целей для разработки ЭОР является повышение интереса учеников к изучаемому материалу, поэтому в обучающем средстве реализован интуитивно понятный и привлекательный пользовательский интерфейс, а также осуществлены функции, которые упрощают изучение предмета. В ЭОР размещены все необходимые для этого теоретические и практические материалы. Они поделены на модули и размещены таким образом, чтобы каждый ученик и учитель мог легко ориентироваться в них.

В обучающем средстве реализована регистрация и авторизация пользователей (как учителей, так и учеников). Ученики и учителя смогут отслеживать свой процесс обучения (рисунок 2).

Данный ЭОР может применяться не только как вспомогательное средство обучения, но и как дополнительное средство контроля знаний, что оптимизирует работу учителей учебного предмета. В обучающем средстве реализованы тесты по каждой из глав учебного предмета для закрепления изученного материала.

Входными данными для обучающего средства является учебный материал по предмету «Информатика», размещенный в учебнике, имеющем гриф Министерства образования Республики Беларусь. Поэтому на титульном слайде средства мы использовали титульный лист учебника.

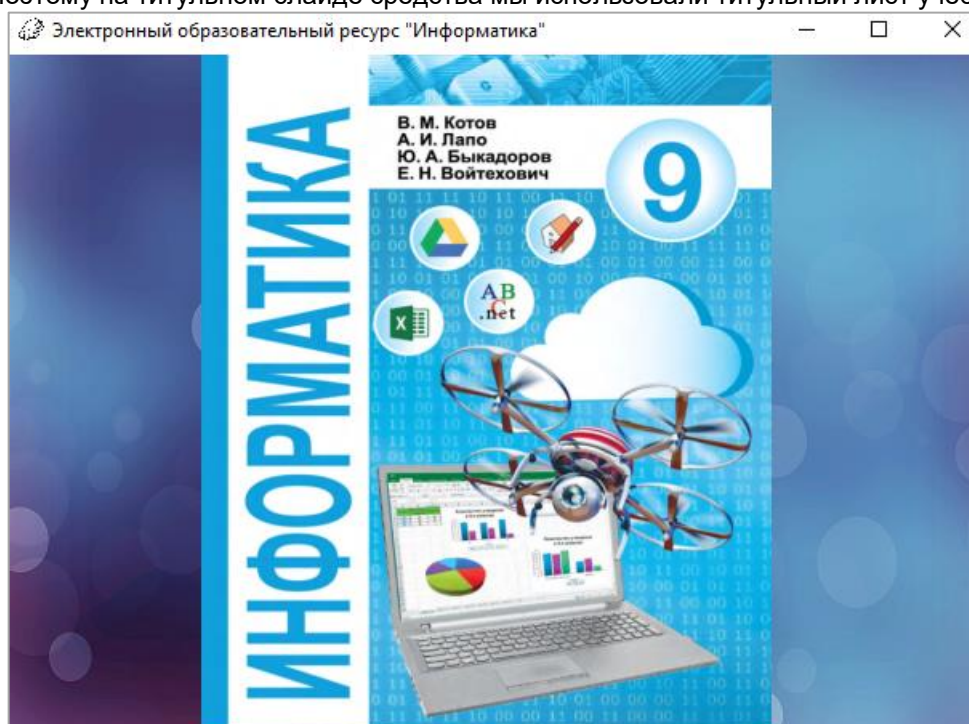


Рис. 1 – Титульный слайд ЭОР по предмету «Информатика» для IX класса

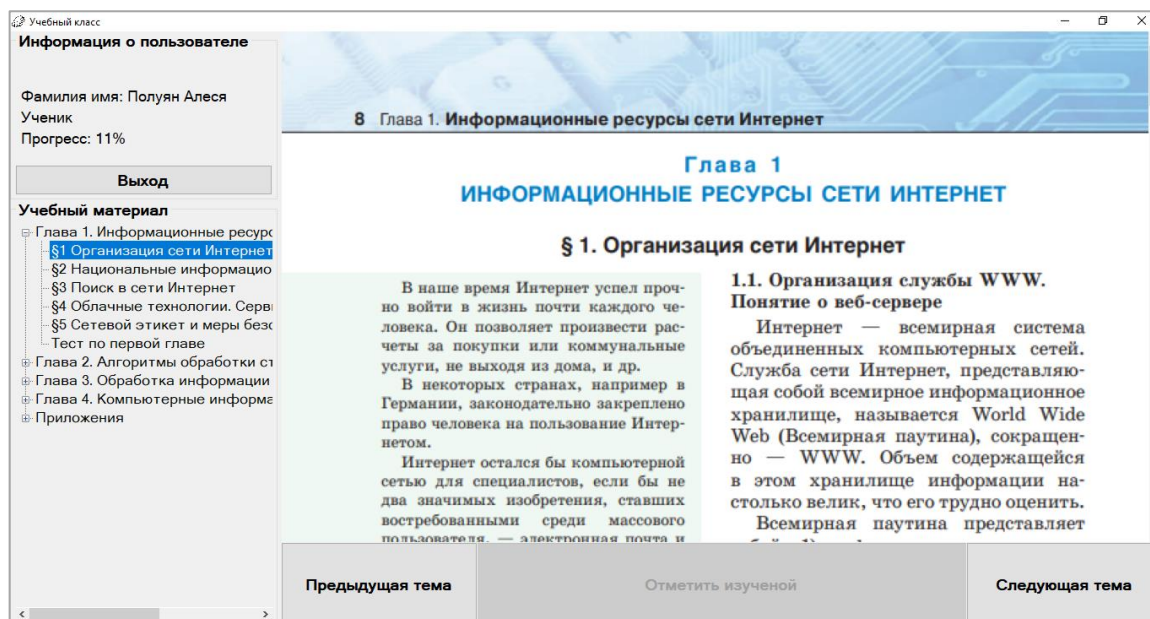


Рис. 2 – Окно учебного кабинета учащегося

ЭОР может быть использован на любом этапе урока и в самостоятельной домашней работе учащихся. Таким образом, созданный ЭОР по предмету «Информатика» для IX класса позволит повысить интерес к изучаемому материалу и эффективно осуществить процесс обучения.

**Список использованных источников:**

1. Славинская, О. В. Педагогика : электронный ресурс по учебной дисциплине для направления специальности 1-08 01 01-07 «Профессиональное обучение (информатика)» / О. В. Славинская [Электронный ресурс] – Минск : БГУИР, 2017.
2. Электронные образовательные ресурсы. Виды, структуры, технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://swwsweb.ru/electronic-educational-resources.html>. – Дата доступа : 08.04.2022.
3. Славинская, О. В. Осмысление технологий медиадидактики «цифровыми мигрантами» / О. В. Славинская, М. Н. Демидко // Вестник МГИРО. – 2018. – № 2 (34). – С. 82-88.
4. Электронные образовательные ресурсы в образовательной деятельности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://nsportal.ru/detskiy-sad/informatika/2017/11/23/elektronnye-obrazovatelnye-resursy-eor-v-obrazovatelnoy>. – Дата доступа : 08.04.2022.
5. Виды электронных образовательных ресурсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://moluch.ru/archive/369/83083/>. – Дата доступа : 08.04.2022.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИНИЙ ЗАДЕРЖКИ СОВМЕСТНО С МАТРИЦЕЙ ЛАВИННЫХ ФОТОДИОДОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СКОРОСТИ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ФОТОНОВ В ОПТИЧЕСКОМ ИМПУЛЬСЕ

Пикуза М.О.

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

Михневич С.Ю. – канд. физ.-мат. наук

В работе предложено использовать линии задержки, подключенные к выходам отдельных ячеек матрицы лавинных фотодиодов, для эффективной регистрации фотонов в принимаемом оптическом импульсе. Эффективность достигается за счет разноса во времени сигналов с нескольких фотодиодов, сработавших с разницей во времени меньше, чем мертвое время фотодиода. Линии задержки предлагается реализовать при помощи конфигурации проводников на печатной плате детектора фотонов.

Генераторы случайных чисел (ГСЧ) предназначены для получения равновероятностной последовательности случайных бит. В зависимости от вероятностных характеристик выходной случайной последовательности, ГСЧ могут применяться как в компьютерном моделировании и игровой индустрии, так и в криптографии [1].

Физические генераторы случайных чисел реализуются на основе источников случайности, которые подчиняются законам классической физики. К таким источникам

относятся тепловой, лавинный и темновой шум. Подчинение источников случайности к законам классической физики говорит о детерминированности выходного сигнала и как следствие теоретической возможности при наличии определенных вычислительных мощностей выразить закон изменения этого сигнала и таким образом предсказать выходную последовательность бит ГСЧ.

Для исключения детерминированности выходного сигнала применяются источники случайности, основанные на законах квантовой физики. Таким источником случайности может быть фотон, одним из свойств которого является вероятность его испускания. На основе данного свойства построено множество ГСЧ, в которых происходит излучение слабого потока единичных фотонов и дальнейшее определение различных параметров, например определение времени между детектирование двух фотонов, количества детектированных фотонов за определенное время и т.д.

В качестве источника фотонов зачастую используют светодиоды, которые работают в ослабленном [2] либо импульсном режиме [3]. В качестве детекторов единичных фотонов или коротких последовательностей единичных фотонов используют однофотонные лавинные фотодиоды. Кремниевые лавинные фотодиоды более распространены поскольку могут работать при комнатных температурах и имеют лучшие характеристики по темновым токам. Кроме темновых токов существует такой важный параметр как мертвое время, это время, которое необходимо для возврата фотодиода в состояние готовности к детектированию фотона после гашения лавинового тока.

В течении мертвого времени фотодиод не сможет распознать новый фотон, что ограничивает возможную скорость их генерации. Для решения этой проблемы можно использовать матрицу независимых лавинных фотодиодов (ячеек), подключенных к общему выходу через линии задержки. В такой структуре напряжение смещения подается одновременно на все ячейки матрицы, а снятия сигнала происходит с объединенного выхода линий задержки. Таким образом при интенсивном потоке фотонов в оптическом импульсе, при срабатывании нескольких детекторов с разницей во времени меньше, чем мертвое время фотодиода, сигналы будут разнесены во времени, что позволит их сосчитать и использовать для генерации случайных последовательностей.

В качестве линий задержки можно использовать различные длины проводников на печатной плате детектора фотонов. Необходимую длину проводника можно вычислить через скорость распространения сигнала в проводнике, которая вычисляется по следующей формуле:

$$v=c/\sqrt{\epsilon_r} \quad (1),$$

где  $c$  – скорость света в вакууме,  $\epsilon_r$  - относительная диэлектрическая проницаемость материала.

Таким образом для обеспечения задержки в 1 нс на основе длины проводника, расположенного на печатной плате из материала FR-4 ( $\epsilon_r=4.5$ ), можно найти скорость распространения сигнала, равную примерно  $1,4 \cdot 10^8$  м/с, из этого необходимая длина проводника будет равна 14 см.

**Список использованных источников:**

1. Bisadi Z. All-Silicon-Based Photonic Quantum Random Number Generators / Z. Bisadi // University of Trento, 2017.- 152 p.
2. Stipčević, M. Quantum random number generator based on photonic emission in semiconductors / M. Stipčević, M. B. Rogina // Rev. Sci. Instrum, 2007.- 9 p
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.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЧЕБНОГО ВИДЕО В СОВРЕМЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ

Платоненко А.С.

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

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

Многие преподаватели с удовольствием используют в своей работе учебное видео, так как оно является достаточно популярным и эффективным средством обучения. Данная статья описывает понятие учебного видео и особенности его использования в образовательном процессе. Также в данной работе описаны ресурсы и средства для создания собственных учебных видеороликов.

Ничто не стоит на месте, все развивается и движется вперед. Это касается и очень важной области развития человечества – образования.

В настоящее время педагогу достаточно сложно привлечь внимание современных обучающихся обыкновенным объяснением, чтением лекции. Разрешить эту ситуацию помогает применение различных информационно-коммуникационных технологий. [1]

К ним относится и создание, и использование видео в образовательном процессе. Это логично, ведь куда понятнее и эффективнее будет не просто прочитать несколько страниц текста, а посмотреть обучающее видео и получить в результате просмотра не только теоретические знания, но также ознакомиться с работой какого-то устройства или протеканием какого-то процесса, в понятном, объемном, реальном виде.

Учебное видео — это аудиовизуальное средство обучения, объединяющее в себе звук и изображение. Видео способствует развитию образного компонента мышления учащихся, является опорой, которая облегчает понимание, фактором увеличения скорости выполнения заданий и средством повышения личностной активности обучаемых, что позволяет выявить ряд преимуществ при применении видеоматериала на занятиях [2]:

- возможность более оперативно и быстро донести до обучающихся информацию;
- постоянное совершенствование педагогом своих знаний;
- возможность использовать готовые материалы бесконечное количество раз;
- высокая степень наглядности;
- возможность многократно просматривать материал и систематически его усваивать;
- устранение психологических барьеров в обучении за счет создания эффекта индивидуального контакта преподавателя с обучающимся;
- возможность просмотра материала с остановками, что позволяет контролировать процесс обучения;
- возможность проводить обучение в любое время и в любом месте;
- возможность размещения видеоматериалов в глобальной сети (в том числе в режиме с субтитрами).

Главное отличие учебного видео от обычного заключается в том, что у первого всегда есть цель и сценарий. Главной целью учебного видео является предоставление обучающей информации.

Существует множество различных платформ и ресурсов, где педагогу представлены различные готовые видеоматериалы. Одной из самых известных платформ с видеоматериалами является *YouTube* [3]. Данный видеохостинг позволяет найти огромное количество обучающих видеороликов на различные темы в образовании и не только.

Однако не всегда в видеохостинге можно найти необходимые материалы. В таком случае педагогу приходится создавать свои собственные видеоролики. Созданный самостоятельно видеоролик имеет значительные преимущества перед видеороликами с хостинга. Главные их них – это авторские права и тот факт, что педагог представляет содержание занятия или темы учебной программы в том виде, который ему необходим.

Существует больше количество программных средств для создания видеоматериалов. Самыми популярными из них являются: *Adobe Premiere Pro* [4], *Camtasia* [5] и *Sony Vegas Pro* [6].

Это профессиональные программные продукты для обработки и монтажа видео. Все средства платные, но имеют бесплатные пробные версии. У последних двух средств срок пробной версии составляет 30 дней, в то время как у *Adobe Premiere Pro* – 7 дней.

*Adobe Premiere Pro* — профессиональная программа нелинейного видеомонтажа компании *Adobe Systems*. Является наследником программы *Adobe Premiere*. Первая версия программы вышла 21 августа 2003 года для операционных систем семейства *Windows*. Начиная с третьей версии программа стала доступной и для операционных систем *OS X*. *Premiere Pro* используется такими компаниями как Би-би-си, *The Tonight Show*. В ней проводился монтаж многих фильмов.

*Camtasia* (ранее «*Camtasia Studio*») — программное обеспечение для захвата видео с экрана, разработанное компанией *TechSmith*. Пользователь определяет область экрана или окна, которое должно быть захвачено, а также устанавливает параметры записи перед его началом. *Camtasia Studio* позволяет пользователю записывать звук с микрофона или динамиков, а также разместить на экране видеоматериалы с веб-камеры.

*Sony Vegas Pro* довольно популярная программа для видео монтажа, которой пользуется большинство веб-разработчиков, а также создатели короткометражных фильмов и сериалов.

*Sony Vegas Pro* имеет очень большой функционал. Профессиональная программа *Sony Vegas Pro* позволяет делать монтаж контента в реальном времени; обеспечивает качественную запись дисков; позволяет создавать и редактировать красочную объемную анимацию в 3D; позволяет создавать многорожечные записи в высоком качестве HD; возможность редактирования, монтажа и изменения видео и аудиоконтента, высокие характеристики обработки звука; поддерживается редактирование видео оптимизированного под параметры определенного устройства; имеются встроенные аудио и видеоэффекты; способность работы в режиме полного отсутствия окружающего

звука, а также полноценная интеграция с аудиофайлами, субтитрами; поддерживаются разные источники исходного контента: диски, видеокамера, файлы, захват потока, экрана.

Я предпочитаю Sony Vegas Pro за следующий ряд преимуществ: монтаж, редактирование видео и аудиоматериала на профессиональном уровне; возможна установка плагинов и модулей, добавляющих дополнительные функции; удобство обработки видео, аудио потоков и другого материала; возможна высококачественная запись звука; возможность пользоваться многоязычным меню; функция картинка в картинке, незаменимая при создании видеуроков с использованием визуальных эффектов; возможность использования горячих клавиш для вызова различных команд; легкая настройка цветовой гаммы изображения в кадре, функция цветокоррекции фрагментов; полноценная поддержка импорта и экспорта видеофайлов в различных популярных форматах; профессиональные инструменты рендеринга цифрового видео с высокой частотой кадров; встроенный функционал обработки звуковых дорожек; наличие световых эффектов, специальных видеоэффектов, переходов и фильтров; в программе имеются пользовательские шаблоны и параметры редактирования, монтажа видео, аудиоматериала, опция синхронизации и микширования треков; программа Sony Vegas Pro распознает обширное количество форматов видео и аудио; в новой версии присутствует английский/русский интерфейс.

Не всегда есть необходимость покупать платные профессиональные программы. В таком случае педагог может воспользоваться любым бесплатными продуктами, такими как: *Movavi*, *DaVinci Resolve* и *Clipchap* [7]. Последнее является онлайн-ресурсом, что выделяет его среди остальных, так как нет необходимости в загрузке и установке программы.

*Movavi* – простой и понятный видеоредактор *Movavi* отлично подойдет даже для начинающих, не имеющих опыта видеомонтажа. Помимо банальных функций в *Movavi* можно использовать различные фильтры, титры, переходы, стикеры от профессиональных дизайнеров... Все основные функции доступны в бесплатной версии, для расширения функционала предлагают купить версию «Плюс».

*DaVinci Resolve* – бесплатной программы-видеоредактора, с помощью которой можно обрабатывать видео, используя передовые технологии, с которыми работают в Голливуде.

*Clipchap* – простой и удобный онлайн видео редактор, который совсем недавно приобрела Microsoft. Можно работать в онлайн версии (поддерживаются браузеры Chrome и Edge) или скачать программу на локальный компьютер. В редакторе уже есть готовые шаблоны для разных проектов (например, YouTube или Facebook).

Одним их критериев хорошего образования является эффективность, и использование видео в образовании помогает добиться прогнозируемого результата. Многие педагоги используют видеоролики в образовательном процессе. Особенно это актуально в нынешнее время пандемии – использование видеоматериала очень помогает обучающимся. Ведь педагог имеет возможность записать видео-урок для своих учащихся, в котором может продемонстрировать какой-то опыт или эксперимент при этом комментируя и обращая внимания на важные моменты. А показать реально такой опыт или сразу на камеру бывает не возможно. Или такой показ получится невнятным и некачественным.

Бесспорно, педагог, обладающий компетенцией по созданию обучающего видеоролика – наиболее успешный, современный педагог.

**Список использованных источников:**

1. Славинская, О. В. Методика производственного обучения : учеб.-метод. пособие [Гриф УМО по ПТО] / О. В. Славинская. – Минск : БГУИР, 2021. – 143 с.
2. Славинская, О. В. Педагогика : электронный ресурс по учебной дисциплине направления специальности 1-08 01 01-07 «Профессиональное обучение (информатика)» / О. В. Славинская. – [Электронный ресурс] – Минск : БГУИР, 2017.
3. YouTube [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/>. – Дата доступа: 15.04.2022
4. Adobe Premiere Pro [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Adobe\\_Premiere\\_Pro#cite\\_note-bbc\\_businesswire-4](https://ru.wikipedia.org/wiki/Adobe_Premiere_Pro#cite_note-bbc_businesswire-4). – Дата доступа: 15.04.2022
5. Camtasia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Camtasia>. – Дата доступа: 15.04.2022
6. Sony Vegas Pro [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://softcatalog.info/ru/programmy/sony-vegas-pro>. – Дата доступа: 15.04.2022
7. Топ-18: лучшие бесплатные программы для создания видео [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ichip.ru/sovety/top-18-luchshie-besplatnye-programmy-dlya-sozdaniya-video-136804>. – Дата доступа: 15.04.2022



# ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИГНАЛОВ 5G NR В ШИРОКОПОЛОСНОЙ СПЕКТРОГРАММЕ

Полидовец И.И., магистрант гр.045201

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

Козел В.М. – канд. тех. наук, доцент

**Аннотация.** В данной работе представлены результаты обучения нейронной сети для идентификации и классификации модуляции сигналов 5G New Radio в широкополосной спектрограмме.

**Abstract.** This paper presents the results of training a neural network to identify and classify the modulation of 5G New Radio signals in a broadband spectrogram.

**Ключевые слова.** Нейронная сеть, идентификация, классификация, модуляция сигналов, 5G New Radio, спектрограмма.

Компьютерное зрение использует метод семантической сегментации для идентификации объектов и их местоположения на изображении или видео. При обработке беспроводных сигналов интересующими объектами являются беспроводные сигналы, а местоположениями объектов являются частота и время, занимаемые сигналами. В данной работе рассмотрен метод семантической сегментации к беспроводным сигналам для идентификации спектрального содержимого и классификации модуляции в широкополосной спектрограмме.

Для этого были сгенерированы обучающие сигналы в качестве обучающих данных. Обучена нейронная сеть для идентификации и классификации модуляции 5G New Radio.

Преимущество беспроводных сигналов в области глубокого обучения – это тот факт, что сигналы синтезируются. Можно сгенерировать сигналы 5G NR с различным видом модуляции с помощью 5G Toolbox. Вы можете передать эти сигналы через заданные стандартами модели каналов для создания обучающих данных.

Прежде чем использовать нейронную сеть для идентификации и классификации модуляции или любой другой задачи, нужно обучить сеть с известными (или помеченными) данными. Используя функции Communications Toolbox, такие как модуляторы, фильтры и нарушения канала, генерируются синтетические обучающие данные. Далее идет фокусировка на определении, обучении и тестировании нейронной сети для задачи идентификации и классификации модуляции сигналов 5G NR. После проверяется производительность сети с беспроводными сигналами с использованием платформ программно-определяемой радиосвязи (SDR).

Обученная сеть может различать и классифицировать вид модуляции сигналов 5G NR. Сеть может быть не в состоянии правильно идентифицировать каждый сигнал. В таких случаях нужно улучшить обучающие данные, либо сгенерировать более репрезентативные синтетические сигналы, либо захватывая беспроводные сигналы и включая их в обучающую выборку.

Если вам нужно отслеживать более широкие полосы спектра, увеличьте sampleRate, повторно сгенерируйте обучающие данные и повторно обучите сеть.

## Список использованных источников:

- 1 Лю Х., Д. Ян и А. Е. Гамаль. «Архитектуры глубоких нейронных сетей для классификации модуляции».
2. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning>.

# ЧАСТОТНЫЙ ДИАПАЗОН 5G NEW RADIO

Полидовец И.И., магистрант гр. 045201, Горин А.С. магистрант гр. 045241

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

Козел В.М. – канд. тех. наук, доцент

**Аннотация.** Данная работа посвящена частотному диапазону сетей связи пятого поколения 5G New Radio.

**Ключевые слова.** 5G, частотный диапазон, FR1, FR2.

На сегодняшний день частотный диапазон, выделенный для работы сетей связи 5G является важным вопросом, поскольку реализация сетей пятого поколения, особенно повышение скоростей передачи данных, потребует существенного увеличения частотного ресурса.

Разработчики сетей связи нового поколения стремятся использовать более широкий спектр частот, в зависимости от задач и подключаемых устройств. Диапазон 700 МГц вместе с 3,4–3,8 ГГц планируется отдать для использования в беспилотных автомобилях, роботах и автоматизированном промышленном оборудовании. Это связано с тем, что именно в этих частотных диапазонах 5G может передавать данные без задержек и поддерживать максимально устойчивое соединение даже с быстродвижущимися объектами.

Дополнительное преимущество частот ниже 1 ГГц – это легкость и невысокая стоимость построения инфраструктуры, используемого оборудования, а также же гарантировано хорошее покрытие на местности. Предполагается, именно в этом диапазоне будут работать умные датчики, счётчики и техника, интернет вещей.

Высокие частоты необходимы для достижения максимальной пропускной способности, вплоть до 20 Гбит/сек. Именно, здесь будут работать устройства 3D-видео, технологии дополненной и виртуальной реальности, связь с использованием голографических и тактильных технологий, мощные облачные сервисы для игр и бизнес-проектов.

Предполагается, что сети 5G будут широко использовать полосу частот от 100 МГц до нескольких ГГц. На частотах до 40 ГГц полоса частот должна быть не менее 500 МГц. Соответственно, при увеличении частоты, на которой передаются данные, уменьшается радиус соты, которую сможет обслуживать базовая станция. Следовательно, сети пятого поколения будут развертываться на основе малых сот (Small Cells).

В сетях 5G New Radio для разделения линии вниз (DL) и линии вверх (UL) направлений применяется частотный (FDD) и временной (TDD) дуплекс – в зависимости от используемого бэнда. Для улучшения радиопокрытия сетей в высоких диапазонах частот, где ограничивающей по дальности связи, является сигнал от пользовательского терминала.

В 5G New Radio максимальная допустимая ширина полосы частот одного радиоканала по сравнению с сетями 4G-LTE увеличилась с 20МГц до 100МГц для блока радиочастот FR1. Так ширина одного радиоканала для блока FR1 может быть 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100 МГц, в зависимости от варианта разноса между поднесущими. В таблице 1 представлены частоты FR1.

Таблица 1 – Диапазоны частот FR1 для 5G New Radio

Диапазон New Radio	Линия вверх	Линия вниз	Тип дуплекса
n1	1920 МГц – 1980 МГц	2110 МГц – 2170 МГц	FDD
n2	1850 МГц – 1910 МГц	1930 МГц – 1990 МГц	FDD
n3	1710 МГц – 1785 МГц	1805 МГц – 1880 МГц	FDD
n5	824 МГц – 849 МГц	869 МГц – 894 МГц	FDD
n7	2500 МГц – 2570 МГц	2620 МГц – 2690 МГц	FDD
n8	880 МГц – 915 МГц	925 МГц – 960 МГц	FDD
n12	699 МГц – 716 МГц	729 МГц – 746 МГц	FDD
n20	832 МГц – 862 МГц	791 МГц – 821 МГц	FDD
n25	1850 МГц – 1915 МГц	1930 МГц – 1995 МГц	FDD
n28	703 МГц – 748 МГц	758 МГц – 803 МГц	FDD
n34	2010 МГц – 2025 МГц	2010 МГц – 2025 МГц	TDD
n38	2570 МГц – 2620 МГц	2570 МГц – 2620 МГц	TDD
n39	1880 МГц – 1920 МГц	1880 МГц – 1920 МГц	TDD
n40	2300 МГц – 2400 МГц	2300 МГц – 2400 МГц	TDD
n41	2496 МГц – 2690 МГц	2496 МГц – 2690 МГц	TDD
n50	1432 МГц – 1517 МГц	1432 МГц – 1517 МГц	TDD
n51	1427 МГц – 1432 МГц	1427 МГц – 1432 МГц	TDD
n66	1710 МГц – 1780 МГц	2110 МГц – 2200 МГц	FDD
n70	1695 МГц – 1710 МГц	1995 МГц – 2020 МГц	FDD
n71	663 МГц – 698 МГц	617 МГц – 652 МГц	FDD
n74	1427 МГц – 1470 МГц	1475 МГц – 1518 МГц	FDD
n75	N/A	1432 МГц – 1517 МГц	SDL

n76	N/A	1427 МГц – 1432 МГц	SDL
n77	3300 МГц – 4200 МГц	3300 МГц – 4200 МГц	TDD
n78	3300 МГц – 3800 МГц	3300 МГц – 3800 МГц	TDD
n79	4400 МГц – 5000 МГц	4400 МГц – 5000 МГц	TDD
n80	1710 МГц – 1785 МГц	N/A	SUL
n81	880 МГц – 915 МГц	N/A	SUL
n82	832 МГц – 862 МГц	N/A	SUL
n83	703 МГц – 748 МГц	N/A	SUL
n84	1920 МГц – 1980 МГц	N/A	SUL
n86	1710 МГц – 1780 МГц	N/A	SUL

Ширина одного радиоканала для блока FR2: 50, 100, 200 и 400 МГц, в зависимости от варианта разноса между поднесущими. В таблице 2 представлены диапазоны частот для второго диапазона.

Таблица 2 – Диапазоны частот FR2 для 5G New Radio

Диапазон New Radio	Полоса частот	Тип дуплекса
n257	26500–29500 МГц	TDD
n258	24250–27500 МГц	TDD
n260	37000–40000 МГц	TDD
n261	27500–28350 МГц	TDD

Частоты 5G в каждой отдельной стране выделяются местным самоуправлением. Безусловно, при этом учитывается мнение экспертов и мобильных операторов. С точки зрения технологий, наибольшее значение имеет тот факт, будет ли выделенный диапазон 5G находиться ниже 6 ГГц или выше. Это важно, потому что от длины волны зависит особенности распространения и отражения сигнала, а также дальность работы устройств и базовых станций, плотность подключений и трафика, которую можно использовать.

**Список использованных источников:**

1. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://5g-russia.ru/chastota-5g-setej-v-rossii-i-v-mire-vse-diapazonu>.
2. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://1234g.ru/5g/diapazonny-chastot-5g>.
3. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.unitest.com/pdf/appnotes/5992-2997RURU.pdf>.

## ФОРМИРОВАНИЕ ИТ-КОМПЕТЕНЦИЙ КАК РЕЗУЛЬТАТ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ

Пуня И.А.

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

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

Аннотация: В статье рассматриваются цели подготовки специалистов, обладающих не просто знаниями, умениями и навыками, а набором компетенций в определенных областях деятельности, которыми необходимо обладать специалисту в современном мире, чтобы быть востребованным на рынке труда; представлен процесс формирования компетенций как результат профессионального обучения в учреждении высшего образования.

Актуальность формирования информационно-технологических компетенций (ИТ-компетенций) обусловлена тем, что переход на компетентностное образование является основополагающим в новом поколении образовательных стандартов, и перед учреждениями образования встал вопрос подготовки специалистов, обладающих не просто знаниями, умениями и навыками, а набором компетенций в определенных областях деятельности. Специалист по направлению специальности 1-

08 01 01-07 «Профессиональное обучение (информатика)» должен быть подготовлен к решению следующих профессиональных задач, включающих разработку структуры компьютерных кодов, необходимых для создания программного обеспечения разработанного назначения; изменение конфигурации, существующих программ; проектирование и разработка локальных вычислительных сетей; разработку баз данных и др.

Компетенция представляет собой – знания, умения, опыт, личностную способность специалиста или обучающегося, решать определённый класс задач, связанных с профессией. Также под компетенцией понимают формально описанные требования к личностным и профессиональным качествам, а также к знаниям, умениям, навыкам обучающихся или сотрудников.

Общие цели подготовки специалиста включают формирование и развитие социально-профессиональной, практико-ориентированной компетентности, позволяющей сочетать универсальные, базовые профессиональные, специализированные компетенции для решения задач в сфере профессиональной и социальной деятельности [1]. В нашем исследовании ИТ-компетенции мы рассматриваем как специализированные компетенции будущего специалиста, необходимые для его профессиональной деятельности в сфере профессионально-технического, среднего специального или высшего образования, в сфере научных исследований в научно-исследовательских институтах; в производственном процессе на предприятиях отраслей экономики. Для решения задач в сфере профессиональной деятельности все универсальные, базовые профессиональные и специализированные компетенции включаются в набор требуемых результатов профессионального обучения и освоения содержания образовательной программы по специальности. Интеграция в образовательном процессе компетентного и инновационного подходов определяет взаимозависимость между, с одной стороны, условиями функционированием образовательной среды университета, содержанием, учебно-методическим обеспечением ее основных составляющих и, с другой, – формированием у будущих специалистов соответствующих компетенций, совокупность которых и выступает результатом обучения и современным критерием качества высшего образования.

Применение информационных технологий в образовании обеспечивает беспрецедентные возможности для того, чтобы сделать образование более эффективным: путем разработки образовательных программ, онлайн-обучения, расширения доступа к ним широкому кругу обучающихся [2, с.113]. Использование электронных образовательных ресурсов и инновационных образовательных технологий третьего поколения на основе телекоммуникационных систем (сетевых, Интернет) позволяет последовательно моделировать социальное содержание будущей профессиональной деятельности педагога-программиста: опираться на методы развивающего обучения; разрабатывать и внедрять в процесс преподавания и прохождения педагогической практики систему практико-ориентированных заданий; организовывать контекстное обучение; учитывать уровень способностей студентов; создавать среду опережающего профессионального развития.

Важнейшей задачей современного учреждения образования является формирование у обучающихся личностных компетенций, обеспечивающих успешность профессиональной, организаторской и управленческой деятельности.

В сфере ИТ наиболее значимыми профессионально-личностными качествами являются :

- лидерство, проявляется в способности обучающегося сформировать работоспособный коллектив и привести его к намеченной цели;
- коммуникабельность, характеризуется способностью чётко, грамотно и аргументированно излагать собственные мысли, как в устной, так и в письменной форме, устанавливать контакт с другими обучающимися и преподавателями, слушать и слышать, уметь задавать вопросы;
- умение работать в команде, которое характеризуется умением общаться и взаимодействовать с другими обучающимися, вежливостью и уважительным отношением к ним;
- стрессоустойчивость, проявляется в возможности лёгкой адаптации к возникающим нестандартным и напряжённым ситуациям;
- стремление к самообучению и развитию, заключается в обладании внутренней мотивацией на приобретение новых знаний, стремлению к профессиональному совершенствованию и саморазвитию на протяжении всей жизни;
- креативность, характеризуется новаторским и творческим подходом при решении ежедневных задач;
- ответственность, подразумевает способность принимать решения, оценивать и отвечать за возможные последствия, а также выполнять взятые на себя обязательства;
- самостоятельность, заключается в способности обучающегося действовать без постоянного вмешательства и практической помощи извне, при решении задач;
- аккуратность, проявляется в способности выполнять работы без помарок и ошибок;
- усидчивость, выражается в терпении, самоорганизации и выдержке, при решении поставленных задач, обычно требующих длительной работы [3].

Развитие компетенций, связанных с профессией, требует комплексной реализации учебных и воспитательных, аудиторных и внеаудиторных педагогических средств в рамках целостного образовательного процесса. Сформированность компетенций выпускников может обеспечиваться только в единстве социально-гуманитарной, профессиональной и специальной подготовки, студенческих практик и научно-исследовательской работы студентов, при содержательно-технологической интеграции учебного и воспитательного процессов с опорой на проблемно-исследовательские, активные, коллективные формы и методы обучения и воспитания [4].

Вышеперечисленные компетенции, необходимые для будущего специалиста оказывают большое влияние на достижение целей и результатов обучения, повышают его мобильность и востребованность на рынке труда. В зарубежных исследованиях Marks (2000), (Eyoung и Schniederjans, 2004) сообщается, что «различия между студентами, а не различия между классами и школами были ответственны за результативность обучения» [5]. Большое количество современных исследований подчёркивают роль личности студента как главного фактора его развития в процессе обучения.

Таким образом, образовательный процесс по специальности 1-08 01 01-07 «Профессиональное обучение (информатика)», базирующийся на научно обоснованном использовании ИТ, теории и методике информатизации образования, концепции открытого образования, использующий новый интерактивный контент позволяет: более эффективно адаптировать профессиональную подготовку обучающихся к запросам личности, рынка труда, государства, стать эффективным средством личностно-профессионального развития будущего специалиста и формирования ИТ-компетенций.

**Список использованных источников:**

1. ОСВО 1-08 01 01-2018. Образовательный стандарт высшего образования. Специальность 1-08 01 01 «Профессиональное обучение (по направлениям)» [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://pravo.by/upload/docs/op/W21933799p\\_1551819600.pdf](https://pravo.by/upload/docs/op/W21933799p_1551819600.pdf).

2. Парафиянович, Т. А. Управление процессом личностного и профессионального развития будущих педагогов-программистов / Т. А. Парафиянович // Проблемы повышения эффективности образовательного процесса на базе информационных технологий = Problems of improving the efficiency of the educational process based on information technology: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 25 апреля 2019 года) / редкол.: Ю. Е. Кулешов [и др.]. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 112-116.

3. Насейкина, Л.Ф. Методика оценки компетентности будущих ИТ-специалистов // Cyberleninka [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-otsenki-kompetentnosti-buduschih-it-spezialistov>.

4. Жук, О.Л. Формирование и диагностика компетенций как результатов освоения образовательных программ высшего образования / О.Л.Жук // Вышэйшая школа.– 2017. №5.– С. 3–5.

5. Ашмаров, И.А. Влияние личностных качеств студентов в процессе обучения на результативность процесса профессионального становления и развития // CareerJourney [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://careerjourney.ru/wp-content/uploads/2019/09/vliyanie-lichnostnyh-kachestv-studentov-v-protssesse-obucheniya-na-rezultativnost-protssessa-professionalnogo-stanovleniya-i-razvitiya>.

## **ЭЛЕКТРОННЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИНСТРУМЕНТЫ И СРЕДСТВА ПРОГРАММИРОВАНИЯ»**

*Рудько Е.С.*

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

*Рябычина О.П. – канд.тех.наук, доцент кафедры ИРТ, преподаватель высшей  
категории*

ЭОР по дисциплине "Инструменты и средства программирования" предназначен для эффективного применения в обучении учащихся БГУИР.

Электронный образовательный ресурс (ЭОР) – это совокупность программных средств, информационных, технических, нормативных и методических материалов, полнотекстовых электронных изданий, включая аудио и видеоматериалы, иллюстративные материалы и каталоги электронных библиотек, размещенные на компьютерных носителях или в сети Интернет [2].

ЭОР представляют собой фотографии, видеофрагменты, модели объектов и явлений, картографические материалы, звукозаписи, текстовые документы и иные материалы, которые могут быть использованы для организации и проведения учебного процесса.

Электронные образовательные ресурсы учебного назначения не только активизируют учащихся к учебно-познавательной деятельности, но и позволяют освободить преподавателя от рутинной бумажной работы, сокращая при этом время на подготовку и проведение контроля.

Разрабатываемое программное средство выступает в роли электронного образовательного ресурса. Рассмотрим варианты использования ресурса пользователями. На рисунке 1 представлена диаграмма вариантов использования непосредственно учащимся.

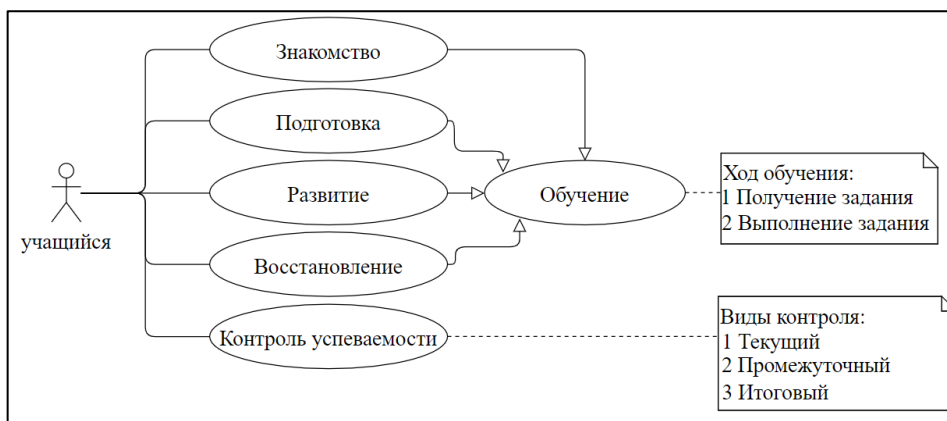


Рисунок 1 – Сценарий использования ЭОР учащимся

На рисунке 2 представлена диаграмма использования для случая работы преподавателя с ЭОР. Два типичных случая взаимодействия:

1. Составление задания. Это его создание и регистрация в системе.
2. Настройка системы. Включает открытие доступа учащимся к учебному материалу и заданиям.
3. Анализ работы учащегося. Просмотр модели учащегося, т.е. результатов интеллектуальной работы системы, а именно выводов, сделанных из протокола работы учащихся [3].

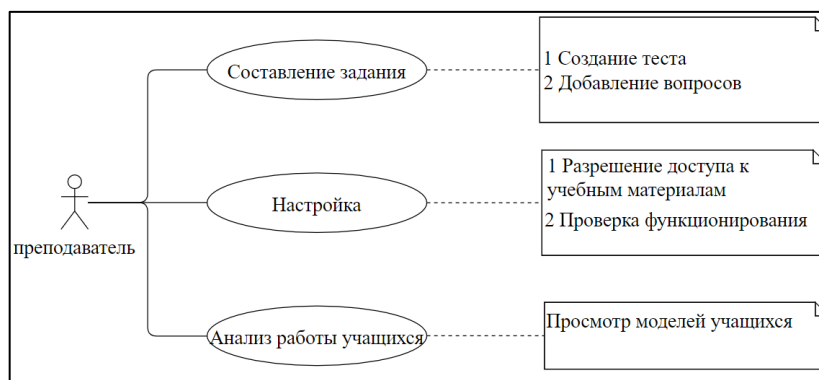


Рисунок 2 – Сценарий использования ЭОР преподавателем

Представленные сценарии подходят для использования в учреждениях образования для решения основных педагогических задач. Также электронный образовательный ресурс предоставляет возможность самообразования, т.е. использование ее без участия преподавателя.

ЭОР по дисциплине «Инструменты и средства программирования» содержит теоретический материал, практические задания, а также раздел контроля знаний в виде тестов по всем темам и разделам.

В числе главных достоинств электронного образовательного ресурса можно выделить компактность, а также возможность быстрого обновления (добавления и изменения информации), способность отслеживать результаты учащихся.

Разработанный электронный образовательный ресурс по дисциплине «Инструменты и средства программирования» повышает эффективность обучения учащихся и работы преподавателя, ускоряет процесс обработки данных, предоставляет необходимую информацию, составляет необходимую отчетность.

**Список использованных источников:**

1. Применение ЭОР в учебном процессе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nsportal.ru/shkola/materialymetodicheskikh-obedinenii/library/2019/05/13/primenenie-eor-v-uchebnom-protsess>. – Дата доступа: 23.03.2020.
2. Осин, А. В. Электронные образовательные ресурсы нового поколения. – М. : ИИТО ЮНЕСКО, 2017.
3. Осин, А. В. Электронные образовательные ресурсы нового поколения в вопросах и ответах. – М. : Агентство "Социальный проект", 2016.

## ВЗАИМОСВЯЗЬ ТИПОВОГО КЛАССА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ И ДАЛЬНЕЙШИХ ЭТАПОВ ЕЕ АТТЕСТАЦИИ

*Сергеевко М.С., Дворникова Т.Н.*

Белорусский Государственный университет информатики и радиоэлектроники г. Минска  
Республики Беларусь, 2022 год.  
Минск, Республика Беларусь, 2022 г.

В данной работе представлены результаты исследования взаимосвязи выбора типового класса информационной системы на предоставляемые требования к системе защиты информации, а также методике и плану ее аттестации.

This paper presents the results of a study of the relationship between the choice of a typical class of an information system and the provided requirements for an information security system, as well as the methodology and plan for its certification.

### ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с требованиями [1] информация, обрабатываемая в государственных информационных системах (далее – ИС) обязана иметь аттестованную систему защиты информации (далее – СЗИ)., в порядке, установленном Советом Министров Республики Беларусь.

Аттестация систем защиты информации ИС – необходимое условие функционирования систем должным образом. Системы, подвергающиеся данному процессу, предназначены как для обработки, хранения и предоставления информации ограниченного распространения, так и для общедоступной информации.

Процесс аттестации проводится в следующих случаях: создание СЗИ, продление аттестата соответствия, изменение технологии обработки защищаемой информации.

Аттестация – трудоемкий процесс, в основе которого лежит комплекс организационно-технических мероприятий с документальным подтверждением соответствия системы требованиям законодательства. Аттестация состоит из множества пунктов, которые приведены в [3], каждый из которых имеет свое документированное заключение. Стоит отметить, что до процесса аттестации необходимо вначале создание СЗИ, которое является основополагающим в данной цепочке.

**Классификация информационных систем.** Требования к СЗИ напрямую зависят непосредственно от характеристик и предназначения самой ИС. Для возможности выделения каких-то общих требований к ИС, а следовательно проведения их аттестации, необходимо каким-то образом ИС сгруппировать по схожим критериям. Классификация информационных систем, учитывающая их предназначения, циркулирующую информацию и взаимодействия приведена в [2]. Однако, в данном стандарте Беларуси представлена она не в полном объеме. В Положении о порядке технической и криптографической защиты информации и информационных системах, предназначенных для обработки информации, распространение и (или) предоставление которой ограничено, утвержденного приказом Оперативно-аналитического центра (далее – ОАЦ) при Президенте Республики Беларусь от 20 февраля 2020 г. № 66 (в редакции приказа от 12.11.2021 №195) классификация типовых информационных систем представлена в полном объеме.

Первым пунктом в создании СЗИ является анализ циркулирующей информации в ИС, далее же создается акт отнесения ИС к типовому классу, что является ключевым моментом, как в создании системы защиты информации, так и аттестации той же системы, так как первоочередной задачей процесса аттестации является проверка отнесения ИС к типовому классу. Почему это так важно и почему данному моменту уделяется так много внимания? На практике встречаются ситуации, когда не совсем понятно к какому типовому классу отнести рассматриваемую ИС, что заставляет задуматься о направлении политики безопасности организации, особенностей ее деятельности и к чему она хочет прийти в области информационной безопасности, ведь именно от выбранного класса ИС будут зависеть следующие шаги.

**Требования к ИС.** После определения типового класса ИС необходимо составить Задание по безопасности на СЗИ (далее – ЗБ), либо же Техническое задание на нее. Что именно большей роли не играет, так как суть остается одинаковой. Данный документ является основополагающим для процесса аттестации ИС, так как именно он содержит требования к рассматриваемой информационной системе. Но откуда данные требования возникают? Необходимо опять вернуться к типовым классам ИС. В [3] для каждого класса подробно расписаны требования как к самим ИС, так и к их взаимодействию с другими системами. Именно данная структура является основой для создания ЗБ, естественно помимо данных требований необходимо обращать внимание на специфику ИС, работы организации и прочие вещи, однако данные критерии являются основополагающими, от которых отталкиваемся.

**Методика аттестации.** Первым пунктом в аттестации информационных систем является создание программы аттестации. Программа аттестации ИС – документ, определяющий последовательность действий в данном масштабном процессе. К нему стоит подходить обдуманно и внимательно, максимально учитывать особенности, рассматриваемой ИС, обращая внимание на возможные угрозы СЗИ системы или же модель нарушителя, если она представлена в виде отдельного документа на СЗИ или же в ЗБ. Программа аттестации содержит в себе последовательность действий с их характеристикой и сроками, помогая осознать объем работ и структурировать действия.

Следующим пунктом идет Методика испытаний системы защиты информации на соответствие требованиям безопасности в реальных условиях эксплуатации. Данный документ является ядром аттестации и включает в себя все предыдущие. Он включает в себя краткое описание ИС, требования, отраженные в ЗБ, так и, соответственно, типовой класс системы. На основании Программы аттестации ИС, учитывая ранее перечисленное, необходимо продумать испытания ключевых моментов СЗИ, проверить выполнения всех условий сохранения информационной безопасности ИС, выполнения соответствия ИС законодательству, включая во внимания помимо технических аспектов, также организационные.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в данном тезисе отражена взаимосвязь между этапами как создания СЗИ, так и самого процесса аттестации системы.

Аттестация помимо технических аспектов реализации системы защиты информации в целях обеспечения информационной безопасности как непосредственно ИС, так и организации в целом, проверяет и организационные аспекты, что в конечном счете дает понять общую картину и политику информационной безопасности, которой придерживается организация. Таким образом, аттестат соответствия СЗИ ИС отображает кредит доверия к организации, так как до того, как его получить СЗИ проходит множественные проверки, отображенные в методике аттестации, на соответствия требованиям, которые выдвигаются в соответствии с типовым классом рассматриваемой ИС.

Список использованных источников: [1] Закон Республики Беларусь от 10 ноября 2008 г. 455-3 «Об информации, информатизации и защите информации»;

[2] СТБ 34. 101. 30-2017 Информационные технологии. Методы и средства безопасности. Информационные системы. Классификация;

[3] Положение о порядке технической и криптографической защиты информации и информационных системах, предназначенных для обработки информации, распространение и (или) предоставление которой ограничено, утвержденного приказом Оперативно-аналитического центра при Президенте Республики Беларусь от 20 февраля 2020 г. № 66 (в редакции приказа от 12.11.2021 №195).

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

*Сойко Д.Д., Мозолевский В.С.*

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

*Дворникова Т.Н. – ст. преподаватель*

Предлагаемый комплекс решения проблем информационной безопасности обеспечивает надёжную сохранность данных различной степени ценности. При этом раскрываются новые идеи и методы, обеспечивающие надёжную защиту информации на предприятии.

Научно-технический прогресс превратил информацию в продукт, который можно купить, продать, обменять. Нередко стоимость данных в несколько раз превышает цену всей технической системы, которая хранит и обрабатывает информацию. Поэтому очень важно стало научиться защищать информацию и, следовательно, себя.

Интерес к вопросам безопасности информационных систем в последнее время вырос, что связывают с возрастанием роли информационных ресурсов в конкурентной борьбе, расширением использования сетей, а также возможностей несанкционированного доступа к хранимой и передаваемой информации, которая является наиболее динамично развивающейся сферой мировой экономики.

Ключевую роль в сохранности данных имеют аппаратные функции безопасности. Они должны быть заложены в архитектуру продукта с самого начала разработка (Security by Design). Безопасность на уровне устройств начинается с надёжных конструктивных решений, обеспечивающих защиту пользователей. Каждый компонент и источник его поставки должны быть проверенными: лишь это служит гарантией отсутствия «встроенных» угроз. Преступники всё чаще нацеливаются на цепочки поставок, чтобы внедрить уязвимости в устройства во время производства и транспортировки.



Неправомерное искажение или фальсификация, уничтожение или разглашение определённой части информации, равно как и дезорганизация процессов её обработки и передачи в информационно-управляющих системах наносят серьёзный материальный и моральный урон многим субъектам (государству, юридическим и физическим лицам), участвующим в процессах автоматизированного информационного взаимодействия, что угрожает экономической безопасности.

Жизненно важные интересы этих субъектов, как правило, заключаются в том, чтобы определённая часть информации, касающаяся их экономических, политических и других сторон деятельности, конфиденциальная коммерческая и персональная информация, была бы постоянно легко доступна и в то же время надёжно защищена от неправомерного её использования: нежелательного разглашения, фальсификации, незаконного тиражирования, блокирования или уничтожения.

Актуальность темы исследования обусловлена, прежде всего, быстро растущими технологическими возможностями современных информационных систем, которые по своему влиянию на политику, хозяйственно-экономическую, духовно-идеологическую сферу людей стали в настоящее время решающими и всеохватывающими. В современных условиях информационная безопасность становится важнейшим базовым элементом всей системы национальной безопасности любого государства.

Информация сейчас подвергается всё большему числу угроз и уязвимостей. Хакерские атаки перехват данных по сети, воздействие вирусного ПО и прочие угрозы приобретают более изощрённый характер и набирают огромный темп. Отсюда возникает необходимость внедрять системы информационной безопасности, а именно: криптографические системы, антивирусные программы, межсетевые экраны, VPN (Virtual Private Network), ежемесячная смена пароля, повышение грамотности сотрудников.

Использование вышеперечисленных систем уменьшит вероятность возникновения утечки информации, тем самым обеспечит сохранность данных различной степени ценности.

В статье предлагается разработать методы по обеспечению информационной безопасности для надёжной защиты информации на предприятии, в которой будет учтено: актуальная модель угроз, произведена оценка рисков и на основании этого приняты соответствующие меры защиты.

**Список использованных источников:**

1. Вострецова, Е. В. Основы информационной безопасности: учебное пособие для студентов вузов / Е. В. Вострецова. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. — 204 с.
2. Партыка, Т.Л. Информационная безопасность / Т.Л. Партыка, И.И. Попов. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2021. — 432 с.
3. Кенин, А. М. Самоучитель системного администратора / А. М. Кенин, Д. Н. Колисниченко. — 5-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2019. — 608 с.: ил.
4. Таненбаум, Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум, Д. Узеролл. — 5-е изд. — СПб.: Питер, 2016. — 960 с.: ил.

## СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Сойко Д.Д.

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

Дворникова Т.Н. – ст. преподаватель

Предлагаемый комплекс решения проблем информационной безопасности обеспечивает надёжную сохранность данных различной степени ценности. При этом раскрываются новые идеи и методы, обеспечивающие надёжную защиту информации на предприятии.

Научно-технический прогресс превратил информацию в продукт, который можно купить, продать, обменять. Нередко стоимость данных в несколько раз превышает цену всей технической системы, которая хранит и обрабатывает информацию. Поэтому очень важно стало научиться защищать информацию и, следовательно, себя.

Интерес к вопросам безопасности информационных систем в последнее время вырос, что связывают с возрастанием роли информационных ресурсов в конкурентной борьбе, расширением использования сетей, а также возможностей несанкционированного доступа к хранимой и передаваемой информации, которая является наиболее динамично развивающейся сферой мировой экономики.

Ключевую роль в сохранности данных имеют аппаратные функции безопасности. Они должны быть заложены в архитектуру продукта с самого начала разработка (Security by Design). Безопасность на уровне устройств начинается с надёжных конструктивных решений, обеспечивающих защиту пользователей. Каждый компонент и источник его поставки должны быть проверенными: лишь это служит гарантией отсутствия «встроенных» угроз. Преступники

всё чаще нацеливаются на цепочки поставок, чтобы внедрить уязвимости в устройства во время производства и транспортировки.

Неправомерное искажение или фальсификация, уничтожение или разглашение определённой части информации, равно как и дезорганизация процессов её обработки и передачи в информационно-управляющих системах наносят серьёзный материальный и моральный урон многим субъектам (государству, юридическим и физическим лицам), участвующим в процессах автоматизированного информационного взаимодействия, что угрожает экономической безопасности.

Жизненно важные интересы этих субъектов, как правило, заключаются в том, чтобы определённая часть информации, касающаяся их экономических, политических и других сторон деятельности, конфиденциальная коммерческая и персональная информация, была бы постоянно легко доступна и в то же время надёжно защищена от неправомерного её использования: нежелательного разглашения, фальсификации, незаконного тиражирования, блокирования или уничтожения.

Актуальность темы исследования обусловлена, прежде всего, быстро растущими технологическими возможностями современных информационных систем, которые по своему влиянию на политику, хозяйственно-экономическую, духовно-идеологическую сферу людей стали в настоящее время решающими и всеохватывающими. В современных условиях информационная безопасность становится важнейшим базовым элементом всей системы национальной безопасности любого государства.

Информация сейчас подвергается всё большему числу угроз и уязвимостей. Хакерские атаки перехват данных по сети, воздействие вирусного ПО и прочие угрозы приобретают более изощрённый характер и набирают огромный темп. Отсюда возникает необходимость внедрять системы информационной безопасности, а именно: криптографические системы, антивирусные программы, межсетевые экраны, VPN (Virtual Private Network), ежемесячная смена пароля, повышение грамотности сотрудников.

Использование вышеперечисленных систем уменьшит вероятность возникновения утечки информации, тем самым обеспечит сохранность данных различной степени ценности.

В статье предлагается разработать методы по обеспечению информационной безопасности для надёжной защиты информации на предприятии, в которой будет учтено: актуальная модель угроз, произведена оценка рисков и на основании этого приняты соответствующие меры защиты.

**Список использованных источников:**

1. Вострецова, Е. В. Основы информационной безопасности: учебное пособие для студентов вузов / Е. В. Вострецова. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. — 204 с.
2. Партыка, Т.Л. Информационная безопасность / Т.Л. Партыка, И.И. Попов. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2021. — 432 с.
3. Кенин, А. М. Самоучитель системного администратора / А. М. Кенин, Д. Н. Колисниченко. — 5-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2019. — 608 с.: ил.
4. Таненбаум, Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум, Д. Уззеролл. — 5-е изд. — СПб.: Питер, 2016. — 960 с.: ил.

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ «УМНОГО ДОМА»**

*Степурко М.Н.*

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

*Дуйнова Ю.А. — старший преподаватель БГАС*

Информационная система оценки угроз информационной безопасности «умного дома» позволяет на основе показаний датчиков и исполнительных механизмов оценить возможные угрозы информационной безопасности системы «умный дом».

Проектируемая информационная системы оценки угроз информационной безопасности основана на модели средства информационной безопасности, выделенной в процессе анализа литературных источников. Модель проектируемой системы:

- описание модели системы «умный дом»;
- описание модели угроз информационной безопасности;
- разработка методов оценки угроз;

Описание «умного дома» осуществляется путем разделения системы на подсистемы. Выделены следующие подсистемы [1]: управления и связи, безопасности и мониторинга, освещения, климат-контроля, кухонного оборудования, мультимедиа.

Далее подсистема разбивается на компоненты, объекты управления и элементы: датчик и исполнительный механизм. Все объекты управления в «умном доме» имеют датчик для считывания необходимых данных и исполнительный механизм, выполняющий какое-либо действие. Показания датчика и действие исполнительного механизма непосредственно оказывают влияние на состояние

объекта и состояние информационной безопасности всей системы, поэтому для них определяются ограничения.

Метод оценки состояния «умного дома» основывается на следующих этапах:

- описание системы «умный дом» пользователя;
  - сбор данных с системы, определение ограничений;
  - анализ данных, сравнение с установленными ограничениями;
  - определение подсистемы и объекта, в котором возникла угроза;
  - оценка угрозы по определенному экспертами списку угроз и информационных активов;
- Список угроз [2] представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Угрозы информационной безопасности «умного дома»

Тип атаки	Уязвимость	Возможные последствия
Хакерские атаки на центральный сервер	Подключение сети «умного дома» к Интернет. Отсутствие (неэффективность) механизмов защиты периметра сети	Нарушение работы, либо выход из строя центрального сервера, а следовательно и всей системы. Нарушение конфиденциальности, целостности и доступности информации (КЦД)
Влияние вирусных и троянских программ на работу системы	Подключение сети «умного дома» к Интернет. Отсутствие (неэффективность) механизмов защиты периметра сети	Сбои в ПО системы, а следовательно нарушение работы либо вывод из строя аппаратуры системы. Нарушение КЦД информации, находящейся внутри сети
Перехват информации, передаваемой по проводным и беспроводным каналам связи	Возможность доступа злоумышленника к проводным каналам или к зоне устойчивого перехвата радиосигналов сети. Отсутствие (неэффективность) механизмов защиты трафика	Нарушение конфиденциальности информации передаваемой по каналу. Возможен захват управления системой
Ошибки пользователя.	Отсутствие (неэффективность) механизмов защиты системы от неправильных действий пользователей	Нарушение КЦД информации. Возможны сбои в системе из-за неправильного использования оборудования
Утечка информации по акустоэлектрическому каналу	Наличие акустоэлектрических преобразователей (датчики охранной, пожарной сигнализации и т.д.), подключенных к проводным линиям	Нарушение конфиденциальности информации

Информационная система также способна проводить анализ угроз перехвата данных, собранных с датчиков IoT-устройств с использованием вредоносного ПО [3], таких как: перехват нажатий клавиш на клавиатуре (Keystroke Inference Attack), перехват данных о текущем состоянии IoT-устройств (Task Inference Attack), определение местоположения (Location Inference Attack), прослушивание (Eavesdropping). Возможные последствия реализации угроз: кража ID и пароля через датчик движения, утечка данных о местоположении пользователя и внутренней структуре дома, утечка конфиденциальной информации через IP-камеру, утечка информации о местоположении пользователя внутри дома через магнитный датчик.

Информационная система на основе выявленных угроз даёт следующие рекомендации [4] пользователю: отслеживание поведения системы с целью выявления любой подозрительной активности, частое резервное копирование данных, внедрение многофакторной аутентификации, использование оборудования и программного обеспечения для сбора и анализа сетевого трафика.

**Список использованных источников:**

1. Малыш, В.Н. Анализ угроз информационной безопасности системы «Умный дом» / В.Н. Малыш, Д.С. Букреев // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2012. – Т.1.
2. Снегуров, А.В. Риски информационной безопасности систем, построенных по технологии «Умный дом» / А.В. Снегуров, Е.А. Ткаченко, А.Д. Кравченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т.4, №3(52). – С.30-34.
3. Park, M. Security Risk Measurement for Information Leakage in IoT-Based Smart Homes from a Situational Awareness Perspective / M. Park, H. Oh, K. Lee // Sensors. – 2019. – Vol.19, iss.9. – DOI: 10.3390/s19092148.

## ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ РАДИОСТАНЦИЯ ДЕКАМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Сухов Н.Д.

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

Титович Н.А. – к.т.н., доцент

Описан процесс проектирования радиостанции декаметрового диапазона, использующей особенности распространения радиоволн в ионосфере. При проектировании функциональной и принципиальной схем передатчика и приёмника использованы новейшие интегральные микросхемы (ИМС) и модули.

Короткие волны (КВ) от 3 МГц до 30 МГц составляют декаметровый диапазон. Они используются для радиовещания, а также для любительской и профессиональной связи, осуществляемой как правило с помощью персональных портативных радиостанций. Главными критериями при проектировании таких приемо-передатчиков являются компактность, малый вес, высокая надёжность. Большая дальность связи, обусловлена особенностями распространения коротких волн в ионосфере. Ионосфера находится на высоте 60...1200 км и состоит из нескольких ионизированных слоёв (D, E, F1 и F2) степень ионизации которых в основном зависит от активности солнца, географического месторасположения, а так же времени суток и года. Путём многократных переотражений от ионосферы и поверхности Земли, радиоволны могут распространяться на большие расстояния. Из-за наличия нескольких слоёв, траектория распространения радиоволны может быть 1 - «скачкообразная», 2 - «рикошетирующая» или 3 - «огibaющая». Траектории распространения радиоволн показаны на рисунке 1.

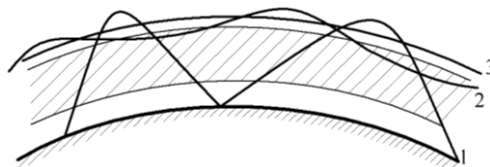


Рисунок 1 – Типы траекторий радиоволн в ионосфере

Связь в КВ-диапазоне на дальние расстояния с помощью мобильных станций малой мощности может иметь значительные экономические и практические преимущества перед другими способами связи. Однако качество создаваемого канала может изменяться из-за изменений высоты и плотности слоёв ионосферы, в зависимости от времени суток и года, солнечной активности а так же других атмосферных явлений. Надёжность данного канала связи может быть недостаточно высокой из-за замираний сигнала в ионосфере и наличия «зон молчания», а в некоторых случаях и вовсе пропадать. Но возможность передачи информации на дальние расстояния позволило широко использовать радиостанции КВ-диапазона в системах местной магистральной радиосвязи и в аварийно-спасательных службах. При этом радиостанции КВ-диапазона используются как резервные для более надёжных линий связи. Их роль существенно возрастает при возникновении чрезвычайных ситуаций, т.к. в этом случае её живучесть намного выше, чем у проводной либо радиорелейной связи.

Радиостанция состоит из передатчика, приёмника и общего синтезатора частоты (СЧ). Для обеспечения связи в широком диапазоне используется приёмник инфрадинного типа (рисунок 2), промежуточная частота которого выше верхней границы рабочей частоты, благодаря чему увеличивается как избирательность по зеркальному каналу, так и надёжность радиостанции, т.к. широкополосный преселектор приемника можно сделать не перестраиваемым. Возможно применение интегрального СЧ как с внешним генератором управляемым напряжением (ГУН), так и с интегрированным в ИМС. В данном случае используем СЧ с ГУН в интегральном исполнении, что уменьшает количество элементов в схеме и повышает её надёжность. В нашем случае используется ИМС СЧ ADF4360-9 с интегрированным ГУНом, внешним ОГ и петлевым фильтром. Благодаря этому решению, СЧ можно интегрировать в блок приёмника, тем самым уменьшив весо-габаритные характеристики и увеличить надёжность конструкции в целом. В итоге схема синтезатора частот в связке с приёмником полностью состоит из ИМС.

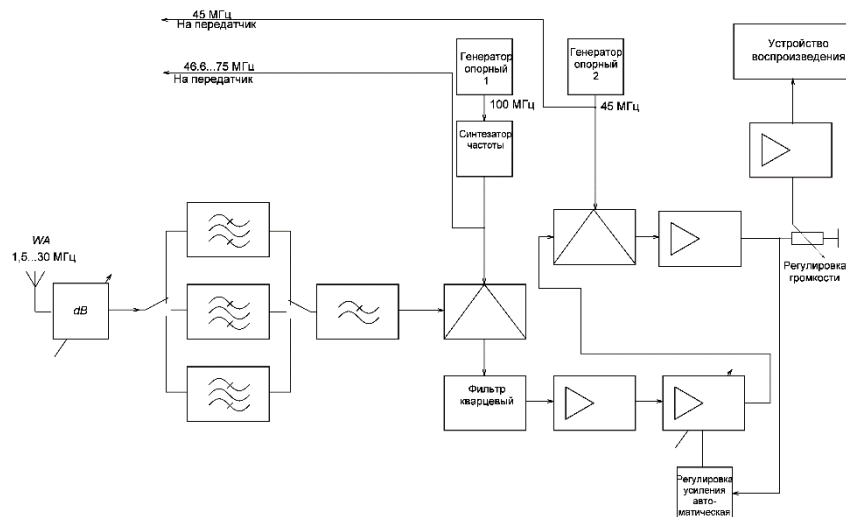


Рисунок 2 – Функциональная схема приёмника

Передача данных в КВ-диапазоне из-за заполненности помехами и шумами требует эффективных методов модуляции, одним из которых является однопослая модуляция с полным подавлением несущей. Эффективность данного вида модуляции заключается в выигрыше в несколько раз по мощности, а также уменьшении полосы частот, занимаемой каналом связи, в два раза, по сравнению с другими видами модуляции.

Конфигурация функциональной схемы передатчика определяется описанной выше схемой приёмника. Передатчик состоит из блока данных, балансного модулятора, фильтров боковой полосы частот, смесителя а также широкополосного блока усиления мощности. Особенность передатчика заключается в модуляции сигнала на промежуточной частоте в 45 МГц с последующим переносом спектра радиосигнала в рабочую область, в диапазоне 1,6...30 МГц. Для обеспечения необходимого подавления побочных излучений, на выходе усилителя установлен 6-ти диапазонный коммутируемый интегральный фильтр, переключение которого происходит синхронно с переключением фильтра широкополосного преселектора приёмника. Также в схеме передатчика предусмотрена автоматическая регулировка мощности. В результате проектирования схема передатчика, которая изображена на рисунке 3, также полностью построена на ИМС, включая и оконечный усилитель мощностью 20 Вт.

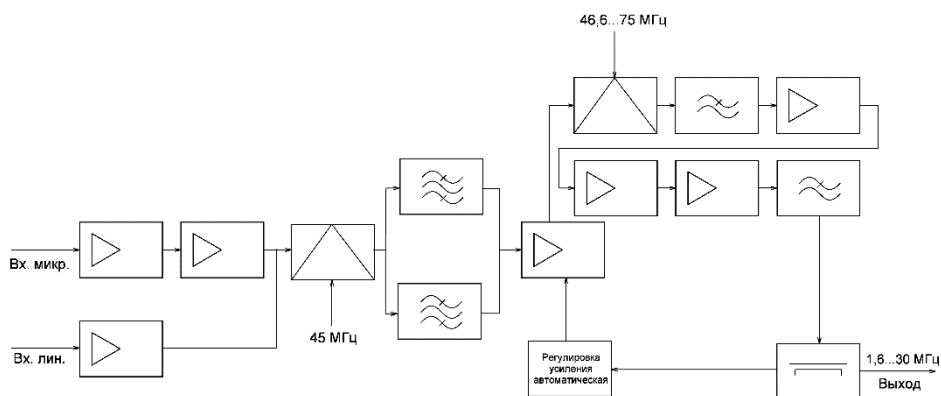


Рисунок 3 – Функциональная схема передатчика

Разработанный передатчик с однопослойной модуляцией, и интегральный синтезатор частот, встроенный в инфрадинный приёмник с не перестраиваемым преселектором, позволили упростить схему и конструкцию радиостанции, а также повысить её надёжность при уменьшении габаритов и веса.

**Список использованных источников:**

1. Радиопередающие устройства : учебное пособие / В. В. Шахгильдян.[и др.]. – М.: Радио и связь, 2003. – 560 с.

## МОБИЛЬНАЯ РАДИОСТАНЦИЯ УКВ-ДИАПАЗОНА

Сухов С.Д.

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

Титович Н.А. – к.т.н., доцент

Рассматриваются особенности построения современной мобильной радиостанции УКВ-диапазона. В отличие от радиостанций более ранних поколений проектируемая радиостанция позволяет осуществлять связь как в аналоговом, так и в цифровом форматах. Наличие микропроцессора и цифрового СЧ позволяют производить быструю перестройку по диапазону. При необходимости радиостанция может быть переведена в режим ППРЧ.

Для организации связи на небольшие расстояния лучше всего использовать радиостанции, работающие в УКВ диапазоне. В отличие от КВ диапазон УКВ имеет большую частотную ёмкость, позволяющую передавать широкополосные сигналы, меньшую зависимость качества связи от среды распространения. В настоящее время в системах связи иногда еще используются радиостанции 3 и 4 поколения, разработанные в 80-х годах прошлого столетия. Они реализованы на транзисторах и простых микросхемах и работают с аналоговыми сигналами с угловой модуляцией. При современных требованиях к скорости передачи информации и переходе к цифровому стандарту связи, данная аппаратура выглядит морально устаревшей и требует модернизации.

Проектируемая УКВ радиостанция предназначена для передачи информации как в аналоговом, так и в цифровом форматах. Анализ построения схем радиостанций, выпускаемых ранее, показал, что они имеют большие габариты и вес, медленную перестройку по диапазону, в основном не имеют микропроцессорного управления. Разработанная станция позволяет избавиться от отмеченных выше недостатков.

Радиостанция состоит из блоков приёмника, передатчика и синтезатора частот (СЧ). Для построения СЧ выбрана микросхема HMC832. Для передатчика, в котором модуляция осуществляется непосредственно на рабочей частоте, в режиме передачи СЧ генерирует сигналы с частотой 30-108 МГц. Функциональная схема передатчика показана на рисунке 1. Она состоит из блока формирования модулирующего сигнала (аналого-цифрового преобразователя (АЦП1), микропроцессора (МПУ) и цифро-аналогового преобразователя (ЦАП1)), квадратурного модулятора (КвМ), предварительного (ПУМ) и оконечного (УМ) усилителей мощности и выходных фильтров. С выхода СЧ ВЧ сигнал поступает на вход КвМ, где под воздействием информационных сигналов I и Q осуществляется его модуляция. После усиления в УМ ВЧ сигнала происходит очистка от гармонических составляющих с помощью фильтра нижних частот (ФНЧ). Фильтрация субгармонических составляющих осуществляется в полосовом фильтре (ПФ). Фильтровые коммутаторы обеспечивают подключение необходимого ПФ в зависимости от рабочей частоты приёмопередатчика. Следует отметить, что данный трёхзвенный ПФ передатчика используется также в качестве входных цепей приёмника радиостанции. Антенный коммутатор (АК) обеспечивает своевременное переключение антенны ко входу приёмника и к выходу передатчика в режимах приёма и передачи.

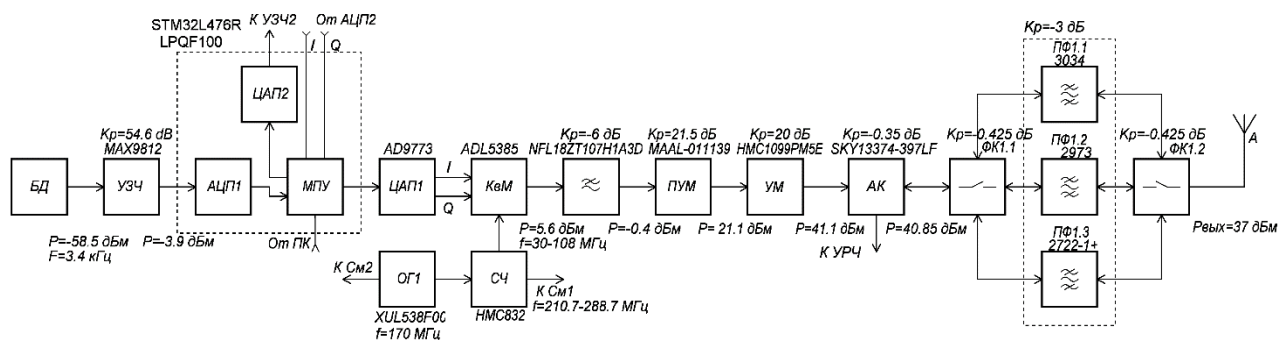


Рисунок 1 – Функциональная схема передатчика

Функциональная схема приёмника изображена на рисунке 2. С коммутатора АК радиосигнал поступает на аттенуатор и широкополосный усилитель. Для повышения избирательности по

зеркальному каналу используется схема приемника инфрадинного типа с преобразованием частоты принимаемого сигнала в значение, превышающее верхнюю частоту рабочего диапазона. Вместе с принимаемым сигналом в диапазоне 30 — 108 МГц на смеситель поступает сигнал СЧ с частотой 210,7 — 288,7 МГц. На выходе первого смесителя (См1) выделяется сигнал промежуточной частоты (ПЧ), равный 180,7 МГц. В результате упрощается схема фильтрации возможных помех по зеркальному каналу, для ее реализации достаточно простейшего ФНЧ в трехзвенном ПФ. Далее с целью упрощения схемы дальнейшей обработки сигнала происходит понижение частоты этого сигнала ПЧ до значения 10,7 МГц, что осуществляется во втором смесителе (См2). В качестве опорного сигнала для См2 можно использовать сигнал ОГ1 СЧ. Качество фильтрации сигналов ПЧ в приемнике обеспечивается двумя фильтрами сосредоточенной селекции (ФСС), включенными после См1 и См2. После усиления в УПЧ2 сигнал с частотой 10,7 МГц поступает на квадратурный демодулятор (КвДМ), выделяющий ИЧ составляющие I и Q информационного сигнала, которые после блока АЦП2, МПУ и ЦАП2 поступает на усилитель низкой частоты (УЗЧ) и далее к потребителю (ОУ).

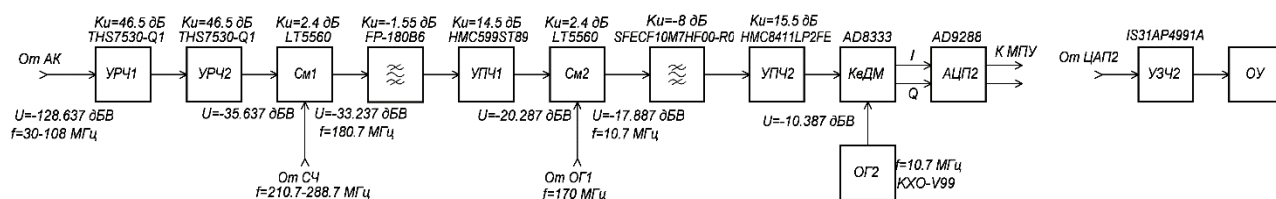


Рисунок 2 – Функциональная схема приёмника

Для передачи в цифровом формате в блоке передатчика оцифрованное сообщение поступает на микропроцессор МПУ и далее на формирователь комплексной огибающей. В приёмнике сигнал обрабатывается квадратурным детектором, оцифровывается и также поступает на процессор, а далее после цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) на УНЧ.

Таким образом, была разработана мобильная радиостанция УКВ-диапазона, соответствующая современным требованиям к аналогичным изделиям пятого поколения. Она позволяет осуществлять связь как в аналоговом, так и в цифровом форматах. Наличие микропроцессора и цифрового СЧ позволяют производить быструю перестройку по диапазону. Применение инфрадинной схемы приемника позволяет упростить схему фильтрации помех по зеркальному каналу. При необходимости радиостанция может быть переведена в режим псевдослучайной перестройки частоты (ППРЧ). Все блоки приёмника и передатчика выполнены на современных микросхемах. Это позволило значительно снизить габариты и вес радиостанции в сравнении с аналогами четвёртого поколения.

#### Список использованных источников:

1. Радиопередающие устройства: учебник для вузов / В.В.Шахильдян [и др.]; под ред. В.В. Шахильдяна. – 3-е изд. – Москва: Радио и связь, 2003. – 560 с.
2. Белов, Ю. Г. Устройства генерирования и формирования сигналов: комплекс учебно-метод. мат. Часть 1. / Ю. Г. Белов, Э. А. Ермилов. – НГТУ, Н. Новгород, 2015. – 78 с.
3. Бабунько, С. А. Радиопередающие устройства [Электронный ресурс]: комплекс учебно-методических материалов / С. А. Бабунько, Ю. Г. Белов – Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2016. – 1 компакт-диск (CD-R).

## АКТУАЛЬНОСТЬ НАПРАВЛЕНИЙ, СПОСОБСТВУЮЩИХ ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ШИРОКОПОЛОСНЫХ РАДИОСИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Фам К.Б., магистрант, Нгуен К.Д., магистрант

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

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

В докладе рассматривается использование фазово-модулированных и частотно-модулированных шумоподобных сигналов в широкополосной радиосистеме.

В современных радиосистемах передачи информации всё большой акцент делается на широкополосные радиосистемы (ШПРС). ШПРС позволяет существенно улучшить такие показатели качества как помехозащищенность, скрытность действия возможность борьбы с многолучевостью и замираниями, возможность работы в одной и той же полосе частот множеству других радиосистем в

том числе и узкополосных. Полоса частот, занимаемая ШПРС, значительно больше чем полоса частот передаваемого сообщения и обеспечивается применением сложных сигналов с большой базой.

На рис. 1 приведена структурная схема ШПРС:

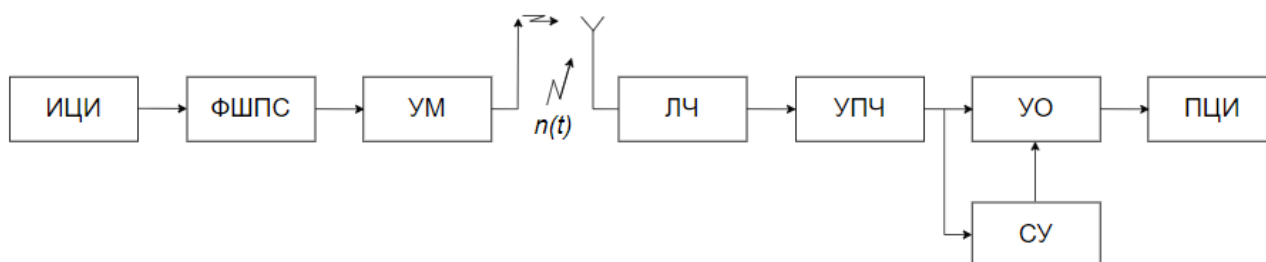


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема ШПРС

- ИЦИ – источник цифровой информации;
- ФШПС – формирователь шумоподобного сигнала;
- УМ – усилитель мощности;
- ЛЧ – линейная часть приемника, в состав которой входят усилитель высокой частоты (УВЧ), смеситель и гетеродин для перевода по промежуточную частоту;
- УПЧ – усилитель промежуточной частоты;
- УО – устройство обработки;
- СУ – синхронизирующее устройство;
- ПЦИ – потребитель цифровой информации.

Самый важный узел передатчика системы - ФШПС. Среди сложных сигналов предпочтение отдают шумоподобным сигналам, статические характеристики которых приближаются к случайным процессом. В частности, автокорреляционная функция шумоподобного сигнала подобна кнопочной структуре - имеет малый уровень боковых остатков по сравнению с пиком. Шумоподобные сигналы создают низкий уровень корреляционных шумов. Цифровая информация может быть по битной и по символьной. При по битной передаче цифровой информации требуется две формы ШПС. При по символьной передаче символ образуется из  $k$  бит, необходимо иметь  $2^k$  форм ШПС. Желательно иметь ансамбль ортогональных ШПС. В основном, находят применение два метода сформированных ШПС:

- введение в бит или символ псевдослучайной видеопоследовательности (ПСП) с последующей манипуляции на  $0, \pi$  радиан фазы несущего колебания (ПС-сигнал с ФМн);
- псевдослучайная перестройка  $N$  дискретных частот за время бита или символа (ПС-сигнал с ЧМн).

На рис 2. Приведена структура схема формирователя ПС-сигналов с ФМн:

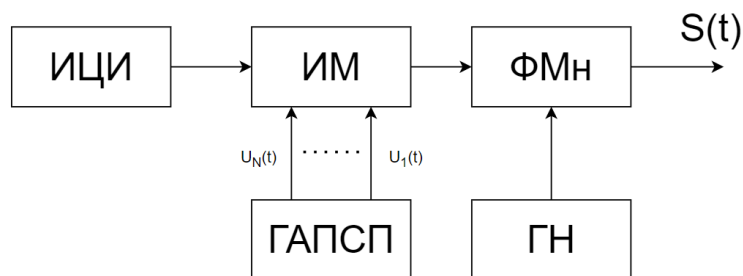


Рисунок 2 – структура схема формирователя ПС-сигналов с ФМн

ИМ – информационный модулятор, обеспечивающий побитовую или посимвольную передачу цифровой информации.

ГАПСП – генератор ансамбля ПСП,  $N = 2^k$ ,  $k$  – количество бит в символе.

ФМн – фазовая манипуляция.

ГН – генератор несущего колебания.

На рисунке 3 приведена структурная схема формирователя ПС-сигнала ЧМн



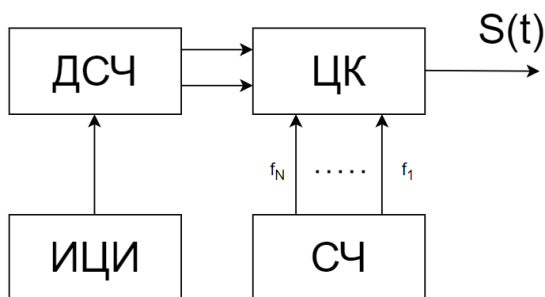


Рисунок 3 – структура схема формирователя ПС-сигналов с ЧМн

ЦК – цифровой коммутатор,  
 ДСЧ – датчик случайных чисел,  
 СЧ – синтезатор сетки дискретных частот.

Исходя из рисунка 2 и 3 вытекает важное направление при разработке ШПРС – нахождение алгоритмов и методов формирования ансамбля ортогональных шумоподобных сигналов. При обработке таких сигналов по приемной стороне (УО) используют оптимальные алгоритмы когерентного или некогерентного типа. Для ансамбля ортогональных шумоподобных сигналов потенциальная помехоустойчивость оценивается выражением

$$P_{ош_1} = \frac{(m-1)}{K} \left[ 1 - \Phi \left( \sqrt{\frac{E}{N_0}} \right) \right]$$

При оптимальной когерентной обработке выражением

$$P_{ош_2} = 0,5 \frac{(m-1)}{K} \exp \left( -\frac{E}{2N_0} \right)$$

При оптимальной некогерентной обработке  $m = 2^K$ ,  $E$  – энергия сигнала,  $N_0$  – спектральная плотность шума.

**Список использованных источников:**

1. *Радиотехнические системы передачи информации / под ред. В. В. Калмыкова. – М.: Радио и связь, 1990.*
2. *Информационные технологии в радиотехнических системах / под ред. И. Б. Федорова. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003.*
3. *Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – М.: Изд. Дом «Вильямс», 2003.*

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕКОДИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ КОДОВ В СЛУЧАЙНЫХ КАНАЛАХ ПЕРЕДАЧИ

Фам Х.А. , магистрант

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

*Саломатин С.Б. – канд. тех. наук, доцент*

**Аннотация:** В статье рассматриваются пространственно-временные коды на основе алгебраической структуры, пространственное мультиплексирование, золотой код, серебряный код, скорость и эффективности пространственно-временных кодов,

**Ключевые слова:** система MIMO, пространственное мультиплексирование (BLAST), Golden code, Silver code, стандарте IEEE 802.16e (Wi-Max).

Методы пространственно-временного кодирования были успешными и широко применялись в последние годы. Некоторые пространственно-временные коды были интегрированы в несколько стандартов, таких как 3GPP (HSDPA), Wi-fi (стандарт IEEE 802.11n), Wi-max (стандарт IEEE 802.16e) и 5G.

Рассматриваются неортогональные пространственно-временные коды, на которые не накладывается ограничений, связанных с низкой сложностью алгоритма декодирования. Эти коды позволяют обеспечить наиболее высокую спектральную эффективность системы связи [1-4].

Самый простой вариант неортогонального пространственно-временного кодирования является пространственным мультиплексированием, также известное как архитектура BLAST [1, 5, 6]. В стандарте IEEE 802.16e (Wi-Max) известен неортогональный пространственно-временный код Golden (G-код) для системы MIMO с двумя передающими антеннами, также был предложен новый пространственно-временный код под названием Silver code (S-код) для канала  $2 \times 2$  MIMO. Этот код имеет низкую сложность декодирования по сравнению с G-кодом.

Рассмотрим систему MIMO с  $N$  передающими антеннами и  $M$  приёмными антеннами. Модель принимаемого сигнала на входе приёмника может быть представлена в следующем выражении:

$$y = Hs + \eta, \quad (1)$$

где  $H$  – матрица канала с размерностью  $M \times N$ ,  
 $s$  – передаваемый сигнал с размерностью  $N \times 1$ ,  
 $\eta$  – вектор шума с размерностью  $M \times 1$ ,  
 $y$  – принимаемый сигнал с размерностью  $M \times 1$ .

Пространственно-временная матрица, соответствующая системе BLAST, в которой используется  $N$  передающих антенн, имеет следующий вид:

$$B_N(s_1, s_2, \dots, s_N) = [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_N]^T. \quad (2)$$

Скорость пространственно-временного кода, используемого в системе BLAST, численно равна количеству передающих антенн, т. е.  $R = N$ , что обеспечивает её исключительно высокую спектральную эффективность. Рассматриваются системы G-код и S-код, которые имеют более высокой скорости кода чем известный код Аламоути (со скоростью кода равной единице).

G-код ( $G_2$ ) с четырьмя информационными символами  $\{s_1, s_2, s_3, s_4\}$  определен в [1, 2] таким образом:

$$G_2(s_1, s_2, s_3, s_4) = \frac{1}{\sqrt{1+r^2}} \begin{bmatrix} s_1 + jrs_4 & rs_2 + s_3 \\ s_2 - rs_3 & jrs_1 + s_4 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $r = \frac{-1 + \sqrt{5}}{2}$  – числовой коэффициент;  $j = \sqrt{-1}$ .

Структурная схема беспроводной связи, реализующей G-код представлена на рисунке 1:

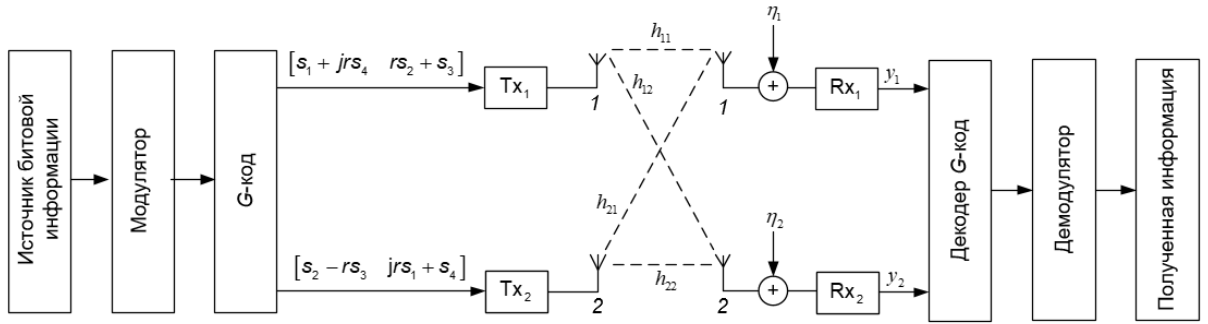


Рисунок 1 – Структурная схема беспроводной связи, реализующей G-код.

Так же S-код ( $S_2$ ) с четырьмя информационными символами  $\{s_1, s_2, s_3, s_4\}$  определен в [1-4] таким образом:

$$S_2(s_1, s_2, s_3, s_4) = \{S = S_A + TS_B\}, \quad (4)$$

где  $S_A = S_A(s_1, s_2) = \begin{pmatrix} s_1 & -s_2^* \\ s_2 & s_1^* \end{pmatrix}$ ,  $S_B = S_B(z_1, z_2) = \begin{pmatrix} z_1 & -z_2^* \\ z_2 & z_1^* \end{pmatrix}$ , два информационных символа  $\{z_1, z_2\}$  определяются таким образом  $\begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \end{pmatrix} = U \begin{pmatrix} x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}$  с унитарной матрицей  $U = \frac{1}{\sqrt{7}} \begin{pmatrix} 1+j & -1+2j \\ 1+2j & 1-j \end{pmatrix}$ ,  $j = \sqrt{-1}$ , скручивающая матрица  $T = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$ .

Матрицы (3) и (4) позволяют передать  $k = 4$  комплексных информационных символа на  $p = 2$  тактовых интервалах. Таким образом, скорости соответствующих пространственно-временных кодов равны 2 и совпадают со скоростью в системе с пространственным мультиплексированием с двумя ( $N = 2$ ) передающими антеннами.

На приемнике используется алгоритм декодирования минимума среднеквадратической ошибки (МСКО), находим оценку  $\hat{s}^{\text{МСКО}}$  линейным преобразованием принятого вектора  $y$ :

$$\hat{s}^{\text{МСКО}} = W_{\text{МСКО}} y = (H^H H + 2\sigma_\eta^2 I_N)^{-1} H^H y. \quad (5)$$

Структурная схема декодирования по алгоритму МСКО представлена на рисунке 2:

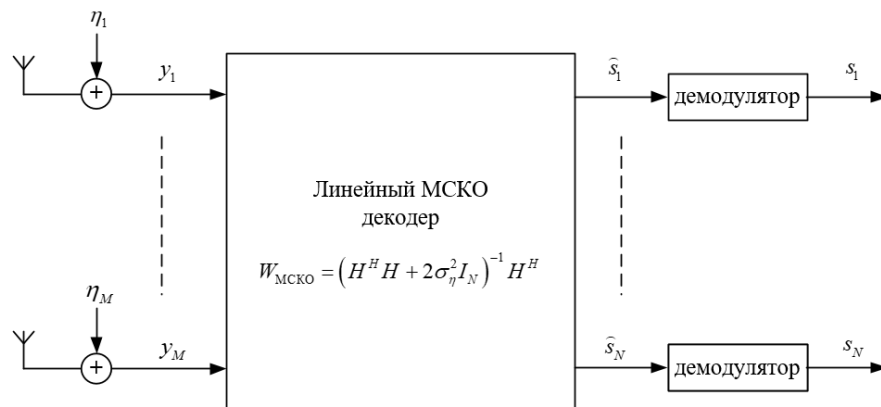


Рисунок 2 – Структурная схема декодирования по алгоритму МСКО.

**Результат моделирования.** График зависимости вероятности ошибки на бит от отношения сигнал/шум для системы BLAST, G-код и S-код представлен на рисунке 3.

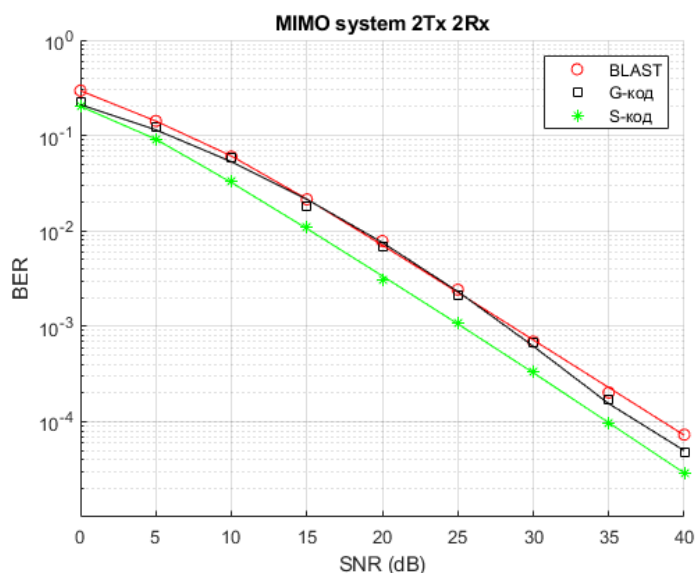


Рисунок 3 – Зависимости вероятности ошибки на бит от отношения сигнал/шум для системы *BLAST*, *G*-код и *S*-код при декодировании по алгоритму МСКО.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

- При вероятности ошибки равной  $10^{-4}$  энергетический выигрыш *S*-код с *G*-код составляет 1,8 дБ, и энергетический выигрыш *S*-код со схемой *BLAST* составляет 3,8 дБ.

**Заключение.** Представили алгебраические структуры *G*-код и *S*-код, совершенных пространственно-временных кодов с размеростью  $2 \times 2$ . *G*-код и *S*-код дают значительный (2 дБ и 3,8 дБ по рисунку) энергетический выигрыш по сравнению с схемой пространственного мультиплексирования при декодировании по алгоритму МСКО. Заметим что, пространственно-временные *G*-код и *S*-код известны только для случая двух передающих антенн.

**Список использованных источников:**

1. Lee S.J. et al. A Space-Time Code with full Diversity and Rate 2 for 2 Transmit Antenna Transmission. *IEEE C802.16e-04/434r2*. [www.ieee802.org/16](http://www.ieee802.org/16).
2. Andrews J.G., Ghosh A., Muhamed R. *Fundamentals of Wi-Max. Understanding Broadband Wireless Networking*. – USA, Boston: Prentice Hall, 2007. – 449 p.
3. O. Tirkkonen and A. Hottinen, "Square-matrix embeddable space-time block codes for complex signal constellations," in *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 48, no. 2, pp. 384 – 395, February 2002.
4. O. Tirkkonen and R. Kashaev, "Combined information and performance optimization of linear MIMO modulations," in *Proc IEEE Int. Symp. Inform. Theory (ISIT 2002)*, Lausanne, Switzerland, p. 76, June 2002.
5. *MIMO System Technology for Wireless Communications / Edited by George Tsoulos*. – USA, FL, Boca Raton: CRC Press, 2006. – 378 p.
6. Duman T.M., Ghayeb A. *Coding for MIMO Communication Systems*. – Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2007. – 338 p.

УДК

## ШИРОКОПОЛОСНАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Филоненко Д.А., студент гр.841301

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

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

**Аннотация.** Тезис раскрывает возможности и преимущества применения широкополосных радиотехнических систем передачи информации в функционировании беспилотных летательных аппаратов.

**Ключевые слова.** Радиотехнические системы, радиотехнические системы передачи информации, беспилотный летательный аппарат, широкополосные сигналы, сложные сигналы.

Сегодня современной тенденцией является применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в различных сферах деятельности человека, таких как мониторинг состояния окружающей среды, оперативный мониторинг несанкционированной деятельности, аэросъемка, геодезия,

картография, военные операции и т.п. При этом важно установить надёжную связь между БПЛА и его пунктом управления (ПУ) с высокой помехоустойчивостью системы при наличии как пассивных, так и активных помех.

Одним из методов повышения помехоустойчивости радиотехнической системы (РТС), является применение широкополосных (сложных, шумоподобных) сигналов (ШПС) на основе псевдослучайной последовательности (ПСП). ШПС называют такие сигналы, у которых произведение активной ширины спектра на его длительность много больше единицы.

Помимо высокой помехоустойчивости ШПС для РТС могут:

- позволять в полной мере реализовать преимущества оптимальных методов обработки сигналов;
- позволять успешно бороться с многолучевым распространением радиоволн путем разделения лучей;
- обеспечивать электромагнитную совместимость (ЭМС) ШП систем связи с узкополосными системами радиосвязи и радиовещания, системами телевизионного вещания;
- допускать одновременную работу многих абонентов в общей полосе частот;
- позволять создавать системы связи с повышенной скрытностью;
- обеспечивают лучшее использование спектра частот на ограниченной территории;
- повышают точность измерения расстояния до цели и разрешающую способность по дальности;
- распознать класс и тип цели, а также получают радиоизображение цели;
- повышают вероятность обнаружения и устойчивость сопровождения цели за счет увеличения эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) цели;
- повышают вероятность обнаружения и устойчивость сопровождения цели за счет устранения «нулей» в структуре вторичных диаграмм направленности (ДН) облучаемых целей;
- повышают устойчивость сопровождения цели под низким углом места за счет устранения интерференционных провалов в ДН антенны;
- повышают устойчивость к воздействию всех видов пассивных помех, поскольку ЭПР помех в малом импульсном объеме становится соизмеримой с ЭПР цели;
- уменьшать "мертвую зону";
- изменять характеристики излучения (ширину и форму диаграммы направленности) путем изменения параметров излучаемого сигнала; в том числе возможно получение сверхузкой ДН.

Из возможных недостатков введения ШПС в РТС БПЛА – усложнение конструкций приёмников и передатчиков ПУ и БПЛА.

Таким образом, РТС передачи информации с применением ШПС на БПЛА позволит обеспечить бесперебойную связь с заданной скоростью передачи данных и дальностью связи с высокой помехоустойчивостью данной системы.

**Список использованных источников:**

1. *Е.В.Васильев. Радиопередатчики для исследования ММО канала связи с беспилотным летательным аппаратом/ Вестник РГРТУ №54. Часть 1. 2015 – 6 с.*
2. */ Анализ широкополосных сигналов для современных радиолокационных и связных станций/ - 4с.*
3. *С.И. Макаренко Анализ средств и способов борьбы с беспилотным летательным аппаратом. Часть 3. Радиоэлектронное подавление систем навигации и радиосвязи / С.И. Макаренко. – Системы управления, связи и безопасности №2 , 2020. – 75 с.*

## **BROADBAND INFORMATION TRANSFER SYSTEM FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE**

*Filonenka D.A.*

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

*Karpushkin E.M. – PhD in Technique, docent*

**Annotation.** This thesis describes capability and advantage to use broadband information system in work to unmanned aerial vehicle.

**Keywords.** Radio engineering systems, information transfer system, unmanned aerial vehicle, broadband signals, complex signals.

## ОСОБЕННОСТИ СХЕМНОГО И КОНСТРУКТИВНОГО ПОСТРОЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАТЧИКОВ

Чепиков И.А.

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

Титович Н.А. – к.т.н, доцент

Телевидение является одним из самых распространённых и доступных средств массовой информации. За короткий период произошел переход от аналогового к цифровому вещанию. Сегодня появляются все новые технологии для улучшения качества телевизионных программ. Одновременно стоит задача создания менее затратных методов передачи информации и обеспечения высокой надежности работы аппаратуры.

Целью ведущих производителей является создание цифрового телевизионного передатчика с большим коэффициентом полезного действия (КПД) и высокой линейностью. Из многих методов построения энергоэффективных усилителей мощности сегодня предпочтение отдается методу Догерти [1]. Схема такого усилителя изображена на рисунке.

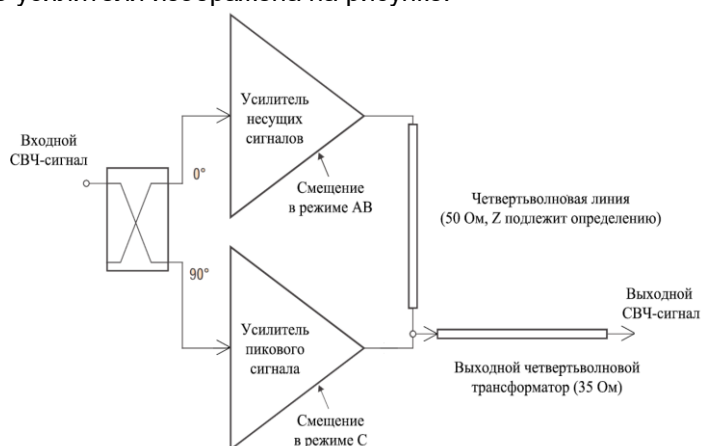


Рисунок 1 – Схема усилителя мощности по методу Догерти

Данный метод предполагает использование двух усилительных элементов, один из которых работает постоянно, а другой включается только при пиковых значениях. С развитием технологии производства элементной базы, данный метод является одним из наиболее перспективных, так как позволяет в значительной степени повысить линейность и КПД систем, передающих сигнал, с большим значением пик-фактора. Ключевой особенностью данного метода является то, что входной сигнал разделяется на две составляющие, и подаётся на основной и пиковый усилитель. Данные усилители работают в разных режимах: основной в режиме АВ, а пиковый в режиме С. При малых значениях усиливаемого сигнала работает только основной усилитель, а при пиковых значениях сигнала – работают оба усилителя, тем самым достигая максимального КПД. Чтобы не перегружать систему, для пикового усилителя, вносится фазовый сдвиг сигнала в 90 градусов. При сложении усиленных сигналов в выходной цепи основного усилителя для обеспечения баланса фаз включена четвертьволновая линия, а для согласования усилителя с нагрузкой — четвертьволновой согласующий трансформатор. Для достижения еще большей энергоэффективности разработчики пытаются добавить не один пиковый усилитель, а два и три. Но данные схемы кроме небольшого преимущества обладают очень большим недостатком: сложностью согласования выходных сопротивлений всех усилителей. Поэтому классическая схема с одним пиковым усилителем является наиболее практичной в использовании.

К недостаткам усилителя мощности по схеме Догерти стоит отнести её узкополосность. Она ограничена в 8 МГц из-за размеров микрополоски, вещание в более широком диапазоне приведёт к сильным искажениям сигнала. Но при использовании данной схемы для передачи одного телевизионного сигнала, ширина которого от 6 до 8 МГц, данная схема будет работать эффективно.

Для достижения высокого КПД и одновременного обеспечения надежности работы важно чтобы телевизионный передатчик имел хорошую систему охлаждения.

Для отвода тепла от полупроводниковых приборов применяют теплоотводы, действие которых основано на различных способах рассеивания тепловой энергии: теплопроводности, естественной и принудительной конвекции воздуха и жидкости, изменения агрегатного состояния вещества, термоэлектрическом эффекте Пельтье. В настоящее время в радиоэлектронной аппаратуре

применяют различные конструкции теплоотводов: пластинчатые, оребренные, штыревые, петельно-проволочные, каждая из которых для определенных условий эксплуатации является оптимальной.

В таблице 1 показаны основные характеристики систем охлаждения [2].

Таблица 1 – Основные характеристики систем охлаждения

Охлаждение	Преимущества	Недостатки
Принудительное воздушное	Низкая цена, отсутствие утечек	Большой объем, необходимо распределение тепла, высокое тепловое сопротивление, акустические шумы
Жидкостное	Малый объем, гибкая конфигурация, малый уровень шумов	Необходим компрессор, возможность утечек, высокая цена
Тепловые трубы	Малый объем, низкое тепловое сопротивление, малый уровень шумов	Ограниченная теплонесущая способность, высокая цена, сложная конструкция
Компрессорное	Малый объем, низкое тепловое сопротивление, нет зависимости от окружающей среды	Высокая цена, сложная конструкция, акустические шумы
Термоэлектрическое	Малый объем, низкое тепловое сопротивление, нет зависимости от окружающей среды	Ограниченная теплонесущая способность, низкая эффективность
Термоакустическое	Низкое тепловое сопротивление, нет зависимости от окружающей среды	Отсутствуют разработанные промышленные технологии

Анализ показывает, что большинство разработчиков используют радиатор с принудительным воздушным охлаждением, постоянно совершенствуя его конструкцию. Последние же пять систем целесообразно применять при создании специальной аппаратуры, где вопрос цены стоит не так остро.

Поведение теплоотвода в системе охлаждения описывается следующим выражением [2]:

$$Q = \alpha \cdot A \cdot \Delta T \quad (1),$$

где  $Q$  – количество рассеянного тепла;  $\alpha$  – коэффициент теплопередачи;  $A$  – эффективная площадь поверхности;  $\Delta T$  – температура в центре теплостока.

Данная формула позволяет определить тепловое сопротивление, являющееся важнейшей характеристикой радиатора:

$$R_{th} = 1/(\alpha \cdot A) \quad (2),$$

Величина теплового сопротивления зависит от числа расположенных на радиаторе модулей, при этом справочное значение, как правило, относится к случаю равномерного распределения температуры по монтажной поверхности. Увеличение количества источников тепла приближает ситуацию к этому идеальному варианту, обеспечивающему минимально возможную величину сопротивления. Как видно из выражения 2, величина  $R_{th}$  снижается с ростом активной площади радиатора  $A$ , определяемой линейными размерами и количеством ребер. Отметим, что увеличение площади за счет оребрения не должно препятствовать свободной циркуляции воздуха, снижать скорость потока и коэффициент теплопередачи  $\alpha$ .

Распределение тепла по телу радиатора достигается за счет хорошей теплопроводности его материала, снижения толщины профиля или с помощью встроенных тепловых труб. Равномерное размещение силовых модулей по монтажной поверхности также способствует улучшению этого показателя, причем зачастую приходится находить компромисс между компактным дизайном и приемлемыми тепловыми характеристиками конструкции.

**Список использованных источников:**

1. Шахгильдян В. В., Иванюшкин Р. Ю. Методы повышения энергетической эффективности линейных усилителей мощности // Т-Сотт – Телекоммуникации и транспорт, 2011, №9

2. Колпаков А. Охлаждение в системах высокой мощности // Силовая электроника, 2010

## МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

*Шкляник Е.И.*

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

*Давыденко И.Н. – канд. тех. наук, доцент*

В предоставленной статье рассматривается фундаментальная проблема, важная как для научных, так и прикладных целей, а именно, исследование природы околоземного космического пространства. При её решении используют различные экспериментальные и модельные методы. С запуском космических аппаратов на околоземную орбиту начали развиваться спутниковые методы изучения окружающей среды. Цель данной работы – развитие теории и разработка технологии непрерывного мониторинга, предназначенных для исследования ионосферы и решения задач оперативного контроля высотного распределения и полной электронной концентрации ионосферы Земли с использованием радиосигналов спутниковых навигационных радиосистем в реальном масштабе времени.

В настоящее время для определения характеристик различных объектов используются радиофизические методы, основанные на решении обратных задач математической физики. Эти методы находят широкое применение при зондировании ионосферы Земли. Функции ионозонда могут выполнять многочастотные спутниковые системы, предназначенные для других целей.

Измерения параметров спутниковых сигналов в сочетании с методами математической обработки и моделирования нашли широкое применение в связи с внедрением в практику исследований современных вычислительных средств и методов экспериментальных исследований. Наличие штатных измерений радионавигационных параметров дает возможность использовать спутниковые радионавигационные системы как уже существующий, технически совершенный, надежный, широко распространенный и в этом смысле относительно дешевый инструмент получения диагностической информации об атмосфере Земли. В частности, они позволяют определять высотное распределение электронной концентрации ионосферы Земли с использованием специального математического аппарата решения так называемых некорректных обратных задач (без дополнительного зондирования с помощью спутниковых ионозондов и ионосферных станций или их редкого использования для сопоставления измерений в части высот, доступных ионосферным станциям).

Предложенные в [10-16] методы определения параметров ионосферы по данным спутниковых измерений дают возможность контролировать только интегральное содержание электронного распределения ионосферы Земли. Рассматриваемый в [3, 4] метод определения параметров земной ионосферы основан на использовании классической схемы радиопросвечивания спутник-спутник. Он позволяет определять высотное распределение электронной концентрации ионосферы Земли, но требует наличия одновременно двух спутников. Обеспечивая глобальность наблюдения за состоянием нижней части ионосферы Земли, данный метод не обладает высоким пространственным разрешением. Кроме того, геометрия эксперимента по затменной схеме радиопросвечивания спутник-спутник как правило такова, что получить высотное распределение ионосферы в данном месте и в данное время не всегда представляется возможным.

Глобальные спутниковые радионавигационные системы GPS и ГЛОНАСС дают уникальную возможность получения высотного профиля распределения электронной концентрации ионосферы Земли в подорбитальном пространстве космического аппарата для различных гелио- и геофизических условий в любое время суток и любой точке земной поверхности, включая океаны и моря, северный и южный полюса [1, 2, 6-7].

Использование навигационных систем для изучения и контроля состояния ионосферы представляет собой научно-технологический прорыв в области дистанционного зондирования верхней атмосферы и обладает глобальной перспективой, обусловленной большим количеством навигационных спутников и наземных пунктов наблюдения. Глобальные навигационные спутниковые системы можно использовать для изучения таких характеристик ионосферы, как интегральная электронная концентрация [9-11], профиль высотного распределения электронной концентрации [2, 6-7], ионосферные неоднородности, спорадический E-слой, активность авроральной области ионосферы [9], перенос крупномасштабных неоднородностей, воздействие искусственных возмущений на ионосферу, реально-временные и азимутально-временные вариации параметров максимума слоя F2.

Преимущества глобальных навигационных систем для мониторинга ионосферы Земли заключаются в следующем [5]:



- 1) возможность использования уже существующих спутниковых сигналов;
- 2) наличие хорошо развитой сети наземных пунктов международной геодезической службы (IGS - International Geodynamics Service) и опорных региональных пунктов (CORS - Continuously Operating Reference Stations);
- 3) применение для измерений стандартных двухчастотных навигационно-геодезических приемников;
- 4) интегральное электронное содержание ионосферы не зависит от предположений о магнитном поле Земли вплоть до высоты 20000 км;
- 5) данные двухчастотных измерений могут быть получены из многих источников, например, из баз данных IGS и CORS через Интернет;
- 6) данные измерений содержат информацию о всей толще ионосферы;
- 7) базы данных IGS и CORS содержат измерения разных типов приемников в едином формате RINEX (Receiver Independent Exchange);
- 8) влияние поглощения в ионосфере и магнитного поля Земли на параметры радиоволн можно не учитывать, так как номиналы излучаемых спутниками сигналов достаточно высоки.

Наземная навигационная сеть, насчитывающая в настоящее время свыше 1000 стационарных приемников GPS/ГЛОНАСС, данные которых представлены в Интернете, довольно плотно покрывает Северную Америку, Европу и гораздо хуже Азию. Меньше приемников на Тихом и Атлантическом океанах. Однако такое заполнение земной поверхности уже сегодня позволяет решать задачу глобального детектирования возмущений с невиданным ранее пространственным накоплением. Общедоступность международной геодезической сети, данные которой ежедневно выставляются на сайте в Интернете, позволяет проводить обработку методик детектирования эффектов воздействия на ионосферу различных факторов - как естественного, так и антропогенного происхождения.

Наличие незначительного числа наблюдательных пунктов на территории Беларуси и России не позволяет использовать для определения параметров ионосферы хорошо развитые в настоящее время методы компьютерной радиотомографии [8]. В такой ситуации метод радиопросвечивания на трассе спутник-Земля является практически единственно возможным средством, позволяющим одновременно определять высотные профили распределения электронной концентрации ионосферы на большей части её территории [1, 2, 6-7].

Поскольку наблюдения в сети проводятся непрерывно в различных точках земной поверхности, то получаемые с них данные измерений являются хорошей дополнительной, а часто и единственной информацией о динамике ионосферы. Эти измерения позволяют проводить исследования регулярных вариаций максимума электронной концентрации таких, как сезонные, суточные с выявлением различного рода трендов.

Методология исследований, основанная на решении обратных задач, является одним из новых направлений в изучении процессов, происходящих в ионосфере Земли. Преимущество методов, основанных на решении обратных задач распространения радиоволн в неоднородной атмосфере, заключается в том, что они позволяют проводить экспериментальные исследования непосредственно при эксплуатации спутниковых систем, предназначенных для решения других задач. Этот подход повышает информативность исследований и дает возможность проводить экспериментальные исследования более оперативно по сравнению с традиционными методами.

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

- [1] Афраймович, Э.Л. Детектирование ионосферных возмущений естественного и антропогенного происхождения сигналами GPS / Э.Л. Афраймович, В.М. Смирнов //Сб. докл. XXI Всерос. науч. конф. Йошкар-Ола, 25-27 мая 2005г.- Йошкар-Ола: 2005.- Т.1.- С.46-52.
- [2] Альперт, Я. Л. Распространение радиоволн и ионосфера / Я.Л Альперт. -М.: АН СССР, 1960.-480 с.
- [3] Глобальные навигационные системы: тем. вып. /Труды Инст. инж. по электротехнике и радиоэлектронике.- 1983.- №10.- С.71.
- [4] Смирнов, В.М. Результаты применения спутникового мониторинга для расчета максимально применимых частот / В.М. Смирнов //Сб. тр. МГУЛ.-2000.- В.314.- С.104-110.
- [5] Андрианов, В.А. Зондирование ионосферы Земли с помощью спутниковых навигационных систем / В.А. Андрианов, Н.А. Арманд, Е.Л. Мосин, В.М. Смирнов //Электроника: Наука, технология, бизнес. 1997.-№2.- С.11-17.
- [6] Полное электронное содержание в авроральной и субавроральной ионосфере по данным радиопросвечивания навигационных ИСЗ / С.М Черняков и др. //Геомагнетизм и аэронавигация.- 1992.- Т.32.- №4.- С.94.
- [7] Wanninger, L.E. Determination of total electron content with GPS -Difficulties and their solution / L.E. Wanninger, E. Sardon, R. Warnant //Proc. of the Intern. Beacon Satellite Symp.- 1994. P.13.
- [8] Mannucci, A. A new method for monitoring the Earth's ionosphere total electron content using the GPS global network / A. Mannucci, B.D. Wilson, C.D. Edwards //Proc. of the ION GPS-93.- Ins. of Navigation, 1994.- P.1323-1332.
- [9] GPS and Ionosphere / A.J. Mannucci et al. //The Review of Radio Science. 1996-1999.- URSI, ed. by W. Ross Stone.- 1999.- P.625-665.
- [10] Исследование электронной концентрации ионосферы при помощи наземного приема радиосигналов, излучаемых с космических аппаратов / Г.Г. Гетманцев и др. // Радиофизика.- 1968.-Т.ii.- №5.-С.649.
- [11] Митяков, Н.А. Результаты наблюдений ИСЗ «Космос-1» и «Космос-2» в Крыму / Н.А. Митяков, Э.Е. Митякова, В.А. Череповецкий //Геомагнетизм и аэронавигация.- 1963.- Т.3.- №5.- С.816.
- [12] Carriott, O.K. The determination of ionospheric electron content and distribution from satellite observations / O.K. Carriott //J. Geophys. Res.-1960.-V.65.-№.4- P. 1139.

[13] Солодовников, Г.К. Дистанционное зондирование ионосферы Земли с использованием радиомаяков космических аппаратов / Г.К. Солодовников, В.М. Синельников, Е.Б. Крохмальников. М.: Наука, 1988. - 191 с.

[14] Wilson, B.D. Instrumental biases in ionospheric measurements derived from GPS data / B.D. Wilson, A.J. Mannucci // Proc. of ION GPS 93. - Ins. of Navigation, 1993. - P.1341.

[15] Davies, K. Recent progress in satellite radio beacon studies with particular emphasis on the ATS-6 radio beacon experiment / K. Davies // Space Sci. Rev. - 1980. - V.25. - P.357.

[16] Смирнов, В.М. Вариации ионосферы в период солнечного затмения по данным спутниковой навигационной системы GPS / В.М. Смирнов // Радиотехника. -2004. -№ 1. -С.3 8-41.

## ГЕНЕРАТОР ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗАШУМЛЕНИЯ

Юхо М.Ю.

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

Дворникова Т.Н. – магистр техн. наук

Информационные технологии активно развивались последнее время и развиваются сейчас не менее стремительно, всё больше проникая во все сферы жизни общества. Поэтому, острее становится и вопрос информационной безопасности. Одним из устройств способных обеспечить необходимую защиту служит генератор пространственного зашумления.

Генератор пространственного зашумления предназначен для маскировки информативных побочных электромагнитных излучений и наводок персональных ЭВМ и периферийных устройств, а также другой оргтехники посредством создания помех в широкой полосе частот. С технической точки зрения, генератор пространственного зашумления может быть реализован на базе различных шумящих электронных элементов, например, ламп, транзисторов, различных диодов [1].

Генератор пространственного зашумления формирует широкополосную электромагнитную помеху, которая зашумляет побочные излучения защищаемого объекта. При этом шумовой сигнал значительно превышает уровень побочных электромагнитных излучений вычислительной техники, и тем самым выделить какой-либо полезный сигнал не представляется возможным.

Генераторы пространственного зашумления могут быть как индивидуальными, предназначенными для защиты отдельного устройства, так и коллективными, предназначенные для защиты группы объектов. Также они могут быть различными по размерам, одни иметь внушительный вес, а другие с легкостью помещаться в карман брюк, что делает их удобными в использовании [2].

Генераторы пространственного зашумления обладают следующими техническими характеристиками:

- диапазон рабочих частот – от 0,1 до 2000 МГц;
- коэффициент качества шума не менее 0,8;
- среднеквадратичное значение спектральной плотности напряженности на расстоянии 1 м от излучателя в диапазоне частот:
  - от 0,1 до 10,0 МГц не менее 30 дБ;
  - от 10,0 до 700,0 МГц не менее 45 дБ;
  - от 700,0 до 1000,0 МГц не менее 40 дБ;
  - от 1000,0 до 2000,0 МГц не менее 30 дБ;
- электропитание осуществляется от сети переменного тока с номинальным напряжением 230 В с и частотой 50 Гц;
- масса варьируется от 0,3 кг до 3,5 кг [2].

Однако, серьезным недостатком их применения является создание непреднамеренных помех широкому классу радиоэлектронных устройств, расположенных в непосредственной близости от источника маскирующих излучений [3]. Так, например, генератор пространственного зашумления делает невозможным прием телевизионных программ, радио, парализует работу мобильной связи. То есть применение данной аппаратуры может быть затруднено в связи с ограничениями по электромагнитной совместимости.

Несмотря на недостатки в настоящее время генераторы пространственного зашумления очень востребованы на рынке радиоэлектронных средств защиты информации, из-за своей простоты использования и небольшой стоимости. А также он является отличным средством защиты информации, так как защита средств вычислительной техники имеет первоочередной приоритет из-за своей распространенности в современном обществе. В работе предлагается использование генератора пространственного зашумления для защиты от побочных электромагнитных излучений на предприятии.

### Список использованных источников:

1. Хорев, А. А. Техническая защита информации : учеб. пособие для студентов вузов. В 3 т. Т. 1. Технические каналы утечки информации. – М. : НПЦ «Аналитика», 2008. – 436 с.

2. *Технические средства пространственного шумления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.delphiplus.org/zashchita-informatsii-tehnicheskimi-sredstvami/tehnicheskie-sredstva-prostranstvennogo-zashumleniya.html>.*

3. Лунегов, А. Н. *Технические средства и способы добытия и защиты информации / Лунегов, А. Н., Рыжов, А. Л. – М. : ВНИИ «Стандарт», 1993. – 95 с.*

## ОСОБЕННОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ПЕДАГОГОВ-ПРОГРАММИСТОВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «ПСИХОЛОГИЯ»

Яцко Д. А.

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

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

**Аннотация.** В статье представлен опыт использования системы электронного обучения для дистанционного обучения студентами БГУИР (педагогами-программистами) по дисциплине «Психология».

**Введение.** Образование сегодня является одним из главных приоритетов государства и нацелено на формирование творческой, интеллектуально и физически развитой личности. Образовательная программа во многом способствует развитию личности в целом, ее адаптируемости, привитию индивидуально-нравственных ценностей, правил поведения и образование имеет ключевую роль в подготовке квалифицированных специалистов.

Современный специалист, освоивший содержание образовательной программы по специальности, должен обладать комплексом компетенций: универсальными, базовыми профессиональными и специализированными компетенциями [1, с.7].

**Основная часть.** В БГУИР существуют следующие формы обучения: очная, заочная, дистанционное обучение (ДО). Элементы ДО сегодня включены и в очную систему получения образования, при этом новая организация образовательного процесса, базируется на принципе самостоятельного обучения студента и включает в себя: введение в процесс обучения новейших образовательных технологий и создание посредством этого современного образовательного пространства; стимулирование самостоятельной поисковой работы обучающихся, направляемой преподавателями; постепенный переход к современному креативному обучению. Ввиду развития информационных технологий и повсеместного развития коммуникационных сетей, постепенно процессы обучения также переходят и в формат онлайн. Формат онлайн-взаимодействия педагога и обучающихся отражает все присущие образовательному процессу компоненты (цели, содержание, методы, организационные формы, средства обучения) и реализуется специфическими средствами Интернет-технологий или другими средствами, предусматривающими интерактивность. Онлайн-формат – это демократичная, простая и свободная система обучения, при которой теоретические знания усваиваются без дополнительных усилий.

Сегодня БГУИР – единственный университет, который проводит обучение полностью на удаленной основе: обучение, сессии, вебинары, видеоконференции, консультирование, защиты выпускных работ и др. Удаленное обучение реализуется с 2002 года через электронную платформу Системы электронного обучения (СЭО). В СЭО содержится информация об изучаемых студентами на данный момент учебных дисциплинах определенной специальности. В этой системе можно проходить теорию и практику, преподаватели могут давать задания для самостоятельной подготовки и выкладывать темы занятий, что упрощает учебный процесс.

Будущий педагог-программист может осваивать нужные ему компетенции с помощью СЭО, в частности изучение дисциплины «Психология». На рисунке 1 представлен внешний вид сайта с выбранным курсом «Психология». Общие цели подготовки педагогов-программистов включают формирование социально-профессиональной, практико-ориентированной компетентности, сочетающей в себе ряд вышеперечисленных компетенции [1, с.7]. Знания и умения, полученные студентами при изучении названной учебной дисциплины востребованы для решения не только психолого-педагогических задач в условиях учреждений образования, но и для решения социально-профессиональных проблем в сфере любой профессии. Этот курс содержит «теоретический» раздел лекционного материала по темам учебной программы, «практический раздел» с конкретными практическими заданиями и вопросами для самостоятельной подготовки и раздел «контроль знаний», включающий тестовые задания и вопросы к зачету по итогу первого семестра и вопросы к экзамену. Разделы «Введение в психологию», «Психология познавательных процессов» и «Психология личности» включают в себя отдельные темы, каждая из которых представлена в виде текстовых документов и презентаций к ним. В любой момент представляется возможность доступа к предыдущим темам для повторения или уточнения материала.

СЭО Мои курсы Русский (ru)

Яцко Диана Александровна

## Психология. Часть 1 (ДН) Парафиянович

В начало / Мои курсы / Психология. Ч1 (ДН) Парафиянович

Объявления

Видеоконференция

### РАЗДЕЛ "ВВЕДЕНИЕ В ПСИХОЛОГИЮ"

**W** ТЕМА 1.1. Общая характеристика предмета психологии  
Отметить как пройденное

**P** Презентация к ТЕМЕ 1.1. Общая характеристика предмета психологии.  
Отметить как пройденное

**W** ТЕМА 1.2 Основные исторические этапы развития психологической науки  
Отметить как пройденное

Рисунок 1 – Система электронного обучения, курс «Психология»

В современное время у будущих педагогов-программистов есть возможность дистанционно обучаться благодаря интернет-ресурсам. Это позволяет студенту самому распределить силы для выполнения определенной задачи в своем темпе, что способствует формированию не только профессиональных компетенций, но и универсальных.

**Заключение.** В данном исследовании выполнен анализ преимуществ использования в образовательном процессе системы электронного обучения. Рассмотрено дистанционное обучение педагогов-программистов по дисциплине «Психология» на примере работы в СЭО. Особенности данного вида обучения обуславливают: стимулирование интеллектуальной активности обучающихся с помощью определения целей изучения, обеспечивают вовлечение обучающихся в отбор и проработку материала; усиление учебной мотивации, что достигается путем четкого определения ценностей и внутренних причин, побуждающих учиться; развития способностей и навыков обучения и самообучения, что достигается расширением и углублением учебных технологий и приемов.

**Список использованных источников:**

1. ОСВО 1-08 01 01-2018. Образовательный стандарт высшего образования. Специальность 1-08 01 01 «Профессиональное обучение (по направлениям)» [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://pravo.by/upload/docs/op/W21933799p\\_1551819600.pdf](https://pravo.by/upload/docs/op/W21933799p_1551819600.pdf)

## СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОНИКА»

УДК 528.83, 528.851, 528.852, 528.854

### МАЛОМАССОГАБАРИТНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО КОМПЛЕКСА АВИАЦИОННОЙ СЪЁМКИ

Гуторов А.В., студент гр.844101

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

**Аннотация.** Для проведения авиационных экспериментов по измерению спектрально-отражательных характеристик лесных покровов и почв, картографирования последствий их деградации и последствий опасных геологических процессов был специально разработан и создан маломассогабаритный беспилотный комплекс авиационного спектрометрирования Бекас на базе используемого в ходе разработки летного средства *MATRICE 300 RTK*.

**Ключевые слова.** Дистанционное зондирование земли, спектрометрирование, аэрофотограмметрия, картографирование, беспилотный летательный аппарат, оптика, мультиспектральный комплекс, разработка отдельного проекта, авиационное спектрометрирование, разработка комплекса авиационной съёмки.

В настоящее время изучение последствий антропогенного и естественного воздействия на земную поверхность и окружающую среду, а также оценка их состояния требуют использования данных дистанционного зондирования (ДЗЗ). При пассивном дистанционном зондировании применяются мультиспектральные и гиперспектральные датчики, которые измеряют полученное количество сигнала с помощью сочетаний разнообразных диапазонов. Эти сочетания могут включать разное количество каналов (с двумя длинами волн и более). Диапазоны охватывают спектры в пределах и за пределами восприятия органами зрения человека (видимый, инфракрасный, ближний, тепловой инфракрасный диапазон).

Актуальность представляют спектрометрические устройства в составе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), которые позволяют оперативно получать качественные пространственные и спектральные характеристики исследуемой местности на небольшой территории. Дистанционное зондирование с использованием БПЛА систематически применяется для мониторинга параметров растительности и окружающей среды, направленное на оптимизацию деятельности в сельском и лесном хозяйстве, инспекцию лесохозяйственной деятельности, обнаружение лесных пожаров, мониторинг здоровья растений и сохранения лесов.

Разрабатываемое устройство содержит спектрометр, соединенный через микроконтроллер с управляющим компьютером, который связан со съёмным *usb*-флеш-накопителем, блоком питания и видеокамерой. Устройство дополнительно содержит подвес с виброразвязкой. При этом спектрометр отъюстирован точной привязкой спектра к изображению видеокамеры. Использование данной технологии, позволит повысить возможность выявления идентификаций аномалий на исследуемом участке. Управляющий компьютер проводит первичную обработку поступающих данных со спектрометра и видеокамеры и связывает их, что позволит облегчить последующую обработку данных оператором. Подвес с виброразвязкой используется для стабилизации устройства в воздухе под действием турбулентности, позволяет использовать заявляемое устройство с различными типами БПЛА.

В представленной на чертеже форме реализации устройства содержит видеокамеру типа RGB. Видеокамера предназначена для получения высококачественных изображений и передачи их на управляющий компьютер типа *Raspberry Pi 4* с операционной системой *Raspbian* и предустановленным специальным программным обеспечением. Спектрометр предназначен для получения изображений не менее чем в 3600 спектральных каналах в диапазоне от 400 до 900 нм, и снабжен точной привязкой спектра к изображению видеокамеры.

Спектрометр соединен с микроконтроллером, который предназначен для управления, обработки спектральных данных и передачи их на управляющий компьютер. Управляющий компьютер дополнительно параллельно соединен со съёмным *usb*-флеш-накопителем, который предназначен для хранения поступающих данных, блоком питания. Блок питания выполнен на основе аккумуляторной батареи с напряжением 5 В и емкостью 10000 мА/ч, что позволяет осуществлять замену аккумуляторных блоков, не отключая устройство и не обесточивая нагрузку. Подключение и взаимосвязь между элементами устройства

### БЕСПИЛОТНЫЙ КОМПЛЕКС АВИАЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРИРОВАНИЯ



3-Д изображение БЕКАС, вид слева      3-Д изображение БЕКАС, вид снизу  
производится через интерфейс *USB* с пассивным питанием.

**Список использованных источников:**

1. Беляев Б.И., Катковский, Л.В. Оптическое дистанционное зондирование / Л.В. Катковский – Минск: БГУ, 2006. – 455 с.
2. Дейвис, Ш.М. Дистанционное зондирование: количественный подход / Ш.М. Дейвис – Москва: Недра, 1983. – 415 с.
3. Алексеев, А.С. Развитие и использование аэрокосмических методов изучения природных явлений и ресурсов / А.С. Алексеев – Новосибирск: издательство «Наука», 1979. – 172 с.
4. Сутырина, Е.Н. Дистанционное зондирование земли: учебное пособие / Е.Н. Сутырина – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. – 165 с.
5. Чумаков А.В., Ивуть П.В., Хомицевич А.Д., Станчик В.В. Устройство для авиакосмической мультиспектральной съемки / П.В. Ивуть – Патент 20200157, 2020. – 6 с.
6. Спецификация Microsoft на основные функции RDP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.securitylab.ru/ /analytics/367591.php>.
7. Общее представление о протоколе удаленного рабочего стола (RDP) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ /troubleshoot/windows-server/remote/understanding-remote-desktop-protocol>.
8. Бручковский И.И., Литвинович Г.С., Попков А.П., Цикман И.М., Домарацкий А.В. Автономный многоканальный спектральный сенсор для БПЛА // Материалы тринадцатой Международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2020». – Минск, 2020. – С. 354–355.
9. Бручковский И.И., **Гуторов А.В.**, Домарацкий А.В., Ивуть П.В., Литвинович Г.С., Ломако А.А., Хомицевич А.В. устройство для авиаспектральной съемки / А.В. Гуторов – Заявка на патент №20220119, от 25.04.2022 г.
10. Катковский, Л.В., Беляев Б.И., Силюк О.О., Литвинович Г.С., Мартинов А.О., Ломако А.А., Бручковская С.И. Методики полётных калибровок спутниковой спектральной аппаратуры / Л.В. Катковский – Минск: Космическая техника и технологии, 2020, 110-120 с.
11. Беляев Б.И., **Гуторов А.В.**, Ивуть П.В., Ломако А.А., Сосенко В.А. Беспилотный комплекс авиационного спектрометрирования / А.В. Гуторов – VIII Белорусский космический конгресс, 2022, 4 с. [в печати]
12. Кэлер А., Брэдки Г. Изучаем OpenCV 3/ пер. с англ. А. А. Слинкина. Москва: ДМК Пресс, 2017. С. 434–490.
13. Джгаркава Г.М., Лавров Д.Н. Использование метода SURF для обнаружения устойчивых признаков изображения при создании сферических панорамных снимков // Математические структуры и моделирование. 2011. Вып. 22. С. 95–100.
14. Макаров А.С., Болсуновская М.В. Сравнительный анализ методов обнаружения особых точек на изображениях при различных уровнях освещения // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2018. Т. 11. № 2. С. 7–18. DOI: 10.18721/JCSTCS.11201.
15. **Гуторов А.В.**, Ломако А.А., Катковский Л.В. Предварительная обработка видеоспектральных данных беспилотного комплекса авиационного спектрометрирования // VIII Белорусский космический конгресс, 2022, 4 с. [в печати]
16. Ломако А.А. Метод формирования изображений по мультиспектральным данным БПЛА, учитывающий дисторсию камеры // Весник БГУ. 2022. С. 18 [в печати]

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

*Коновальчук А.П., студент гр.844101*

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

*Стома С.С. – ассистент кафедры электроники*

**Аннотация.** Процесс работы автоматической системы контроля и управления процессом производства асфальтобетонной смеси заключается в отлаженной работе функциональных модулей и процессора автоматизации в составе программно-технического комплекса. Функциональные модули приема сигналов обеспечивают прием сигналов с датчиков, их минимальную обработку и передачу информации в процессор автоматизации. Процессор обрабатывает сигналы по заданному алгоритму и по результатам обработки передает управляющие команды на запорную арматуру и электродвигатели, посредством функциональных модулей индивидуального управления.

**Ключевые слова.** Автоматическая система контроля и управления, ТПТС-НТ, асфальтный завод, процесс производства асфальтобетонной смеси.

В данной работе рассмотрено проектирование автоматической системы контроля и управления процессом производства асфальтобетонной смеси. Автоматическая система контроля и управления

процессом производства асфальтобетонной смеси — это система, позволяющая осуществлять производство асфальтобетонной смеси в автоматическом режиме, с исключением человеческого фактора и более точным контролем дозирования компонентов, что влечет за собой повышение качества выпускаемой смеси.

Основной задачей подобной системы является обеспечение автоматической бесперебойной работы асфальтосмесительной установки в заданных параметрах, контроль температур используемых материалов, их дозирования и соблюдения времени смешивания.

Целью работы является проведение комплексных инженерных исследований, включая поиск необходимой информации, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов.

Область применения: система предназначена для использования на асфальтобетонных заводах.

Экономическая эффективность/значимость работы: разработанная система является конкурентоспособной и экономически выгодной.

Система автоматического контроля и управления процессом производства асфальтобетонной смеси позволяет уменьшить количество рабочих необходимых для контроля и обслуживания всех узлов и агрегатов асфальтного завода, снизить до минимума влияние человеческого фактора на качество выпускаемой асфальтобетонной смеси.

Ее применение позволяет:

- повысить надежность работы;
- создавать качественную асфальтобетонную смесь;
- обеспечивать контроль всех систем и оборудования без участия человека;
- сократить время цикла производства.

Преимущества данной системы следующие:

- легкость использования;
- автоматизация;
- экономия времени и ресурсов;
- актуальность.

Автоматизированная система контроля и управления процессом производства асфальтобетонной смеси построена на базе программно-технического комплекса ТПТС-НТ, в который входят функциональные модули приема сигналов с датчиков, функциональные модули индивидуального управления и процессор автоматизации.

Для обеспечения безопасной и выгодной работы при эксплуатации завода, реализована проверка систем и оборудования на начальном этапе, при запуске. После того, как оператор подает команду на включение, происходит проверка особо важных параметров, таких как наличие топлива для работы горелки и наличие битума.

После получения команды на запуск происходит пуск 5-ти основных агрегатов: конвейера, сушильного барабана, горелки, элеватора и виброгрохота. Суть этапа проверки заключается в сравнении показателей с датчиков и концевых переключателей запорной арматуры и двигателей, с заданными значениями. При отклонении от нормы на экран оператора будет выведена ошибка с данными о неисправном узле или агрегате, после чего система вернется в исходное состояние и будет ожидать команду от оператора. В противном же случае система перейдет к следующему этапу пуска.

Контроль наличия холодных материалов на складе происходит за счет установленных тензодатчиков или датчиков уровня. При критически малом количестве любого из материалов (<40%) системой будет сформирована ошибка, которая выводится на монитор оператора. Помимо этого, оператор имеет постоянный доступ к показаниям датчиков и может в режиме реального времени контролировать их значения. Если же количество холодных материалов находится на допустимом уровне – система успешно пройдет этап пуска и перейдет к следующему этапу.

Следующим этапом работы завода является подготовка ингредиентов к непосредственному использованию. Системой проводится проверка наличия горячих материалов в карманах, с целью предотвращения их нехватки во время начала производства.

Контроль проводится за счет тензодатчиков или датчиков уровня. Система в автоматическом режиме сравнивает показания с заданными пороговыми значениями и:

- при критически низком значении ( $a < 40\%$ ) – выдает команду-запрет на дальнейшую работу и отправляет команду на включение двигателя подачи недостающего материала со склада;
- при умеренном значении ( $40\% < a < 80\%$ ) – выдает команду-разрешение на дальнейшую работу, однако так же отправляет команду на включение двигателя подачи недостающего материала со склада;
- при высоком значении ( $a > 80\%$ ) – выдает команду-разрешение на дальнейшую работу и отправляет команду на выключение двигателя подачи избыточного материала со склада.

Однако, недостаточно просто включить подачу холодных материалов, необходим контроль их температуры на выходе из сушильного барабана.

Суть данного этапа заключается в поддержании температуры пламени горелки в заданном диапазоне, а также в контроле скорости прохождения материалов через сушильный барабан. Данный контроль осуществляется температурными датчиками, с последующей обратной связью на топливный насос горелки и двигатель приводящий сушильный барабан в движение. Далее горячие материалы с помощью элеватора поднимаются в высшую точку завода и сбрасываются на узел виброгрохота на котором разделяются по фракциям и попадают в горячие карманы.

Параллельно с процессом контроля горячих материалов, сушки и грохочения происходит нагрев других, не менее важных, компонентов: минерального порошка и битума. Контроль данных операций реализован за счет обратной связи между температурными датчиками и нагревательными элементами.

Следующим этапом процесса производства асфальтобетонной смеси является дозирование материалов перед их последующим перемешиванием.

Для достижения большей точности на стадии взвешивания, используются бункерные весы, принцип работы которых заключается в порционном добавлении материалов в бункер. Для получения данных о массе материалов используются тензодатчики.

В начале этапа взвешивания оператор должен ввести данные по рецептуре приготавливаемой смеси, после чего нажать кнопку подтверждения рецепта, так же на этой стадии происходит выбор бункера-накопителя, в который позже отправится готовая смесь. Добавление компонентов происходит по очереди, для начала подачи компонента открывается соответствующая его карману задвижка.

Открытие задвижки происходит по следующему принципу: изначально она открывается на 100%, однако после того, как будет отмерено около 80% компонента, задвижка закрывается до 10%, а далее, по достижении добавления компонента около 97%, закрывается полностью. Дозирование битума происходит по схожему принципу, однако исполнительным механизмом является насос.

Дозирование компонентов по такому принципу позволяет повысить точность взвешивания компонентов, что в итоге позволяет изготовить более качественную смесь.

Следующий этап цикла – перемешивание компонентов.

Суть данного этапа заключается в перемещении взвешенных материалов в смеситель и их тщательного перемешивания. Выгрузка происходит автоматически по завершении этапа дозирования. Перемещение материалов в смеситель происходит путем открывания задвижки, которая находится в основании весов, после чего начинается отсчет времени «сухого» смешивания. Параллельно процессу добавления компонентов в смеситель происходит переключение задвижки для последующего перемещения готовой смеси в указанный бункер-накопитель. Через 10 секунд после перемещения компонентов в смеситель открывается задвижка подачи битума, начинается этап «мокрого» смешивания. Еще через 15 секунд открывается задвижка переноса готовой смеси в бункер-накопитель.

Последним этапом работы асфальтобетонного завода является выгрузка готовой смеси на транспортное средство для отправки на рабочий объект.

Для выполнения данного этапа оператору необходимо выбрать склад, из которого требуется выгрузка, и подать команду на открывание задвижки.

Стоит указать, что на всех этапах работы завода предусмотрена аварийная остановка всех узлов и агрегатов путем нажатия кнопок аварийного останова, которые могут располагаться как в кабине оператора, так и в непосредственной близости к определенным узлам, или на местных пультах управления.

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

1. Деловая сеть [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.ds77.ru/news/1981947/>
2. Студопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://studopedia.ru/16\\_47310\\_sushilnie-barabani-abz-ustroystvo.html](https://studopedia.ru/16_47310_sushilnie-barabani-abz-ustroystvo.html)
3. StudRef [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://studref.com/662354/stroitelstvo/goryachie\\_elevatory\\_sortirovochnye\\_agregaty](https://studref.com/662354/stroitelstvo/goryachie_elevatory_sortirovochnye_agregaty)
4. Журнал спецтехника [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://spec-machine.ru/stroitel'naya/grohoti-ustroystvo-i-rabota/>
5. StudRef [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://studref.com/662357/stroitelstvo/smesiteli\\_prigotovleniya\\_asfaltobetonnih\\_smesey](https://studref.com/662357/stroitelstvo/smesiteli_prigotovleniya_asfaltobetonnih_smesey)
6. ТензоТехСервис [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://tts-kazan.ru/company/articles/asfaltobetonnnye-zavody-kakikh-vidov-oni-byvayut-kak-oni-rabotayut-i-kak-otkryt-takoy-zavod/>
7. Стройка [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://stroit.ru/stati/asfzavod/>
8. NFLG [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://nflg.ru/sistema-upravleniya>



9. Моисеев, М.И. Комплекс средств автоматизации ТПТС-НТ / М.И. Моисеев — Минск, 2015.

10. Кишкин, В.Л. Руководящий технический материал по применению программно-технических средств ТПТС-НТ при проектировании программно-технических комплексов, ч.3 / В.Л. Кишкин — Москва : ВНИИА им. Духова, 2013

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ

*Новик Е.М., студент гр.844101*

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

*Стома С.С. – ассистент кафедры электроники*

**Аннотация.** При разработке термостата в качестве управляющего модуля используется микроконтроллер с датчиком температуры. Для управления, программирования и автономной работы системы используется программа, разработанная на языке программирования *Assembler*. Область применения результатов: устройство предназначено для эксплуатации в помещениях (объемах) с искусственно регулируемым климатическими условиями, например в закрытых отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых производственных и других. Основной способ использования разработанного устройства – управление и контроль терморегулирования помещений в ручном и автоматическом режимах.

**Ключевые слова.** Автоматическая система контроля и управления температурой, микроконтроллер, датчик температуры.

В данной работе рассмотрено проектирование автоматической системы контроля и управления температурой. Для любой отопительной системы основной задачей является поддержание уровня комфортности температуры в отапливаемой емкости, трубопроводе, помещении. Поддерживать необходимую температуру можно разными способами, однако, самым распространенным является метод, основанный на применении специальных устройств – регуляторов температуры. Программируемый термостат предназначен для обеспечения комфортных условий труда.

Терморегулятор – аппарат, автоматически регулирующий температуру в производственных процессах, а также в помещениях. Работает этот электрический прибор по следующему принципу. Сначала он «получает информацию», которая идет от термодатчика о том, какая температура измеряемого пространства в текущий момент. Затем устройство сравнивает данные с теми, что в нем уже заложены при программировании. Далее сценарий зависит от результатов сравнения – если температура ниже заданной, регулятор включает нагрев, если выше – отключает.

Он позволит поддерживать в помещении заданную температуру, меняя ее согласно введенному пользователем недельному почасовому графику или в режиме термостата. Пока температура ниже установленной для текущего часа, нагреватель работает. Как только помещение прогреется до этой температуры, нагреватель выключится. Когда температура упадет, нагреватель автоматически включится снова. Поддержание в помещении оптимальной температуры не только обеспечивает комфорт, но и снижает затраты на отопление.

В зависимости от выбора термодатчика и его функционирования прибор может работать как: комнатный терморегулятор – для измерения температуры используется только встроенный датчик. Комнатным терморегулятором можно управлять и дистанционно – с помощью внешнего блок-выключателя, присоединенного к переключателю. Напольный термостат для дополнительного обогрева пола – температура измеряется только посредством внешнего датчика, встроенного в пол. Комбинированный термостат для обогрева пола – используется комбинация двух термодатчиков: сама регулировка осуществляется на основании данных встроенного комнатного терморегулятора, а внешний напольный датчик является всего лишь предельным, т. е. следит за установленной максимальной или минимальной температурой пола.

Область применения: система предназначена для использования как в бытовых так и в производственных помещениях.

Экономическая эффективность/значимость работы: разработанная система является конкурентоспособной и экономически выгодной. Поддержание в помещении оптимальной температуры не только обеспечивает комфорт, но и снижает затраты на отопление.

Оптимизация расходов – важная задача современного технологического предприятия.

Оптимизация затрат и издержек компании – это поиск и внедрение более эффективного способа управления финансами. Без затрат не может существовать ни один бизнес. Однако расходы должны быть полезными: предприятие рентабельно, когда каждый потраченный рубль ведет к получению прибыли. Оптимизация издержек компании поможет повысить доходность, избежать экономических проблем и сохранить предприятие даже в кризисные времена.

Программируемый терморегулятор экономит до 70% энергии. Так электроэнергия расходуется экономно при высоком КПД отопительной системы. Структурная схема для выбранного варианта реализации термостата приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурная схема устройства

**Список использованных источников:**

- [1] Термостат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/9651502/page:11/>
- [2] Dallas Semiconductor Book.
- [3] Принцип работы терморегулятора [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elquanta.ru/teoriya/princip-raboty-termoregulyatora.html>
- [4] Регуляторы прямого и непрямого действия. Применение в промышленности. Характеристики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.tdteplocontrol.ru/info/articles/regulyatori\\_temperatyri.htm](https://www.tdteplocontrol.ru/info/articles/regulyatori_temperatyri.htm)
- [5] Регулятор температуры прямого действия - устройство и принцип работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://teplovichek.com/regulyator-temperatury-priamogo-deistviya-ustroystvo-princip-raboty/>
- [6] DS18B20 – датчик температуры с интерфейсом 1-Wire [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mypractic.ru/ds18b20-datchik-temperatury-s-interfejsom-1-wire-opisanie-na-russkom-yazyke.html>
- [7] Датчик температуры DS18B20 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chipdip.by/catalog/popular/ds18b20>
- [8] Проектирование печатных плат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pcbdesigner.ru/sposobi-izgotovleniya-pechatnyh-plat/kombinirovannye-metody-izgotovleniya-pechatnyh-plat.html>
- [9] Программа обработки нажатия кнопок для микроконтроллера ATmega8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://avrlab.com/node/83>
- [10] Экономика проектных решений: методические указания по экономическому обоснованию дипломных проектов: учеб.-метод. пособие / В.Г. Горовой [и др.]. – Минск: БГУИР, 2021. –107с.

## СИСТЕМА АВАРИЙНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА

Петкевич В.В., студент гр.844101

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

Стома С.С. – ассистент кафедры электроники

**Аннотация.** Процесс работы пассивной части системы аварийного охлаждения активной зоны начинается с инициализации первоначальных параметров максимально или минимально допустимых значений для каждого из датчиков. Далее производится проверка измерительного канала. При неисправности канала включается сигнализация о неисправности и заново проверяется измерительный канал до устранения неполадок в его работе. После чего происходит получение информации с

датчиков, таких как: уровень жидкости в ёмкости САОЗ, избыточное давление под оболочкой, давление в ёмкости САОЗ, давление на выходе из активной зоны, температура теплоносителя а также получение информации с концевых выключателей задвижки, таких как: «Открыто», «Закрыто». После окончания производится сравнения значений, полученных с датчиков, с уставками по заданным алгоритмам и при достижении пороговых значений формируется сигнал на закрытие либо открытие задвижки.

**Ключевые слова.** Реактор, охлаждение, пассивная часть.

В данной работе рассмотрена пассивная часть системы аварийного охлаждения активной зоны реактора. Система аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ) предназначена для обеспечения безопасного снятия остаточных тепловыделений с реактора при авариях, связанных с разрывом трубопроводов первого и второго контуров установки.

САОЗ состоит из трех основных независимых систем:

- системы пассивного впрыска (гидроёмкости);
- системы активного впрыска высокого давления;
- системы активного впрыска низкого давления.

Каждая система может содержать несколько равнозначных подсистем.

Один из основных принципов, на котором базируется безопасность работы реакторной установки, – это ограничение последствий возможных аварий.

Целью работы является проведение комплексных инженерных исследований, включая поиск необходимой информации, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов.

Область применения: система предназначена для аварийного охлаждения активной зоны реактора и последующего отвода остаточных тепловыделений при авариях, связанных с разуплотнением первого контура, плановое расхолаживание во время останова реакторной установки и отвод остаточного тепла активной зоны при проведении перегрузки, отвод остаточного тепла при проведении ремонтных работ на оборудовании реакторной установки со снижением уровня теплоносителя в реакторе до оси патрубков «холодных» ниток петель без выгрузки зоны.

Экономическая эффективность/значимость работы: работа является конкурентоспособной и экономически выгодной.

Пассивная часть системы аварийного охлаждения зоны предназначена для подачи в реактор раствора борной кислоты с концентрацией не менее 16 г/дм<sup>3</sup> и температурой не менее 20 °С при давлении в первом контуре менее 5,9 МПа в количестве, достаточном для охлаждения активной зоны реактора до подключения системы аварийного впрыска низкого давления, в авариях с потерей теплоносителя.

В основу проектирования пассивной части САОЗ и ее компонентов положено выполнение следующих требований:

- система должна выполнять заданные функции при любом, требующем ее работы, исходном событии с учетом одного независимого от исходного события единичного отказа в одном из каналов;
- система должна выполнять заданные функции при авариях с потерей теплоносителя, путем подачи в реактор раствора борной кислоты с концентрацией не менее 16 г/кг и температурой не менее 20 °С при давлении в первом контуре менее 5,9 МПа;
- техническими мерами должно быть исключено попадание азота в реактор при срабатывании системы;
- система должна срабатывать пассивным образом при возникновении аварийных ситуаций, требующих ее срабатывания;
- оборудование и трубопроводы системы должны быть защищены от превышения давления при неконтролируемой подаче воды в ёмкость от системы подпитки-продувки, при неконтролируемой подаче азота и работе ТЭН, при этом предохранительные устройства на ёмкостях САОЗ должны иметь такую пропускную способность, чтобы при их срабатывании давление в ёмкостях не превышало расчетное более чем на 15%;
- должны быть предусмотрены технические средства для контроля и управления системой при нормальной эксплуатации, авариях и после аварии;
- оборудование системы должно иметь электропитание от систем нормального и аварийного электроснабжения;
- должна быть обеспечена работоспособность системы в условиях окружающей среды под оболочкой при авариях с потерей теплоносителя.

Задвижки Ду300 предназначены для установки в качестве запорной арматуры на линиях аварийного впрыска, систем расхолаживания, САОЗ 1-ого контура атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1200

На основе анализа технической документации и на базе имеющихся технических средств была разработана структурная схема, приведенная на рисунке 1. Она включает следующие устройства:

- датчик уровня в ёмкости САОЗ;
- запас до кипения в горячей нитке петли;

- датчик избыточного давления под оболочкой;
- датчик давления в ёмкости САОЗ;
- датчик давления на выходе из активной зоны;
- датчик температуры в горячих нитках петель;
- типовые программно-технические средства;
- быстродействующая задвижка;
- питающее устройство.

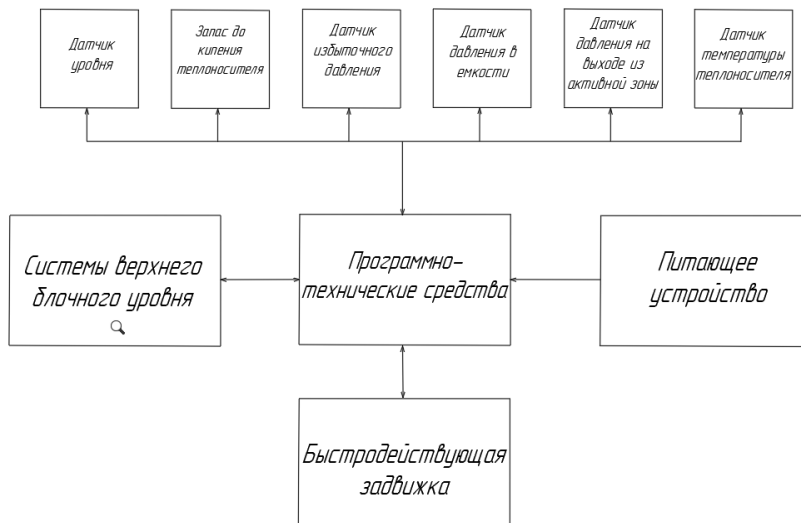


Рисунок 1 – Структурная схема пассивной части системы аварийного охлаждения активной зоны реактора

В структурной схеме представлены элементы пассивной системы аварийного охлаждения активной зоны, а также их функциональные связи.

Обзор связей схемы:

1 Датчики обеспечивают проведение автоматических измерений параметров технологического процесса и контроля состояния оборудования.

2 ТПТС-НТ обеспечивает прием и обработку данных автоматических измерений и контроля, обмен информацией с верхним уровнем АСУ ТП, осуществляет реализацию алгоритма работы быстродействующей задвижки.

3 Верхний уровень АСУ ТП обеспечивает обработку информации, полученной с ТПТС-НТ, ее архивирование, документирование и представление оперативному персоналу БПУ и РПУ, осуществляет формирование команд автоматизированного управления быстродействующей задвижкой, обеспечивает передачу необходимой информации в сеть АСУП, в систему верхнего общестанционного уровня для АРМ начальника смены станции и АРМ локального кризисного центра.

**Список использованных источников:**

1. Система аварийного охлаждения активной зоны, пассивная часть JNG-2 ММ.А3.К3.0.РЦ.19.020305 – Островец : РУП «Белорусская АЭС», 2019. – 62 с.
2. Система аварийного впрыска низкого давления JNG-1 ММ.А3.К30.РЦ.19.020303 – Островец : РУП «Белорусская АЭС», 2019. – 93 с.
3. АЭС с реактором ВВЭР-1000/ С. А. Андрушечко – Москва: 2010. – 604 с.
4. Система аварийного впрыска высокого давления JNG-2 ММ.А3.К30.РЦ.19.020302 – Островец : РУП «Белорусская АЭС», 2019. – 62 с.
5. Арматура энергетическая для АЭС и ТЭС / Васильченко Е.Г., Майорова А.П, Зубкова Н.П, Ивницкого Б. Я, Семенова В.П. – Москва : НПО «ЦТНИИТМАШ», 1986. – 247 с.