

72 региональная научно-техническая конференция  
студентов, аспирантов и молодых ученых



**СТУДЕНЧЕСКАЯ  
ВЕСНА — 2018**

**23–24** **СПб ГУТ)))**  
**мая**

**СБОРНИК  
НАУЧНЫХ СТАТЕЙ**

УДК 061.3(082)  
ББК 74.58

**72-я региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Студенческая весна – 2018»** : сб. науч. ст. в 2-х т. / Под ред. К. В. Дукельского; сост. А. Г. Владыко, Е. А. Аникевич, С. В. Мышьянов. Т. 1. СПб. : СПбГУТ, 2018. 440 с.

В научных статьях участников конференции исследуются состояние и перспективы развития мирового и отечественного уровня IT и телекоммуникаций. Предназначено студентам, аспирантам и специалистам отрасли связи.

Издание изготовлено оргкомитетом конференции при участии редакции электронного научного журнала «Информационные технологии и телекоммуникации»  
www.itt.sut.ru

Корректурa и верстка Е. М. Аникевич

Подписано в печать 01.08.2018.

Вышло в свет 31.08.2018. Формат 60x90 1/8.

Уст. печ. л. 28,19. Заказ № 044-ИТТ-2018.

пр. Большевиков, д. 22, корп. 1

Россия, Санкт-Петербург, 193232

#### ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

##### Председатель

Машков Г. М. – и. о. ректора

##### Заместитель председателя

Владыко А. Г. – директор научно-исследовательского института «Технологии связи»

##### Ответственный секретарь

Мышьянов С. В. – начальник отдела организации научной работы студентов

##### Члены организационного комитета

Аверченков В.И. – начальник учебного-методического управления

Пацкан М. Ю. – начальник управления эксплуатации инфокоммуникационных систем

Колесникова О. А. – начальник управления маркетинга и рекламы

Пономарева Е. Ю. – начальник редакционно-издательского отдела

#### ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

##### Председатель

Бачевский С. В. – доктор технических наук, профессор

##### Заместители председателя

Дукельский К. В. – кандидат технических наук, доцент, проректор по научной работе

Алексенко И. А. – кандидат педагогических наук, проректор по воспитательной работе и связям с общественностью

##### Ответственный секретарь

Елагин В. С. – кандидат технических наук, начальник управления организации научной работы и подготовки научных кадров

##### Члены программного комитета

Кирик Д. И. – кандидат технических наук, доцент, декан факультета радиотехнологий связи

Бузюков Л. Б. – кандидат технических наук, профессор, декан факультета инфокоммуникационных сетей и систем

Зикратов И. А. – доктор технических наук, профессор, декан факультета информационных систем и технологий

Колгатин С. Н. – доктор технических наук, профессор, декан факультета фундаментальной подготовки

Сотников А. Д. – доктор технических наук, профессор, декан факультета цифровой экономики, управления и бизнес-информатики

Лосев С. А. – кандидат исторических наук, профессор, декан гуманитарного факультета

Лубянников А. А. – кандидат педагогических наук, доцент, директор Института военного образования

Неисключительные права на все материалы, опубликованные в данном издании, принадлежат СПбГУТ. Все материалы, авторские права на которые принадлежат СПбГУТ, могут быть воспроизведены при наличии письменного разрешения от СПбГУТ. Ссылка на первоисточник обязательна. По вопросам приобретения неисключительных прав и использования сборника обращайтесь по тел. (812) 312-83-79, e-mail: telecomsut@gmail.com. Тип компьютера, процессор, сопроцессор, частота: Pentium IV и выше / аналогичное; оперативная память (RAM): 256 Мб и выше; необходимо на винчестере: не менее 64 Мб; ОС MacOS, Windows (XP, Vista, 7) / аналогичное; видеосистема встроенная; дополнительное ПО: Adobe Reader версия от 7.X или аналогичное. Защита от незаконного распространения: реализуется встроенными средствами Adobe Acrobat.



**Радиотехнологии в связи**

- 6 Авдеева М. Л., Березина А. Е., Оршлет Д. С., А. Б. Степанов** Реализация цифрового преобразователя Гильберта на элементной базе со сверхнизким энергопотреблением
- 10 Бекташева А. Д., Гордейко А. В.** Применение акустоэлектроники в проектировании и производстве радиоэлектронных устройств
- 15 Боженков А. И.** Разработка лабораторных работ по дисциплине «Проектная графика в конструкциях электронных средств»
- 18 Гончаров А. В., Юшкевич А. Д.** Геопространственное моделирование в задачах прогнозирования распространения радиоволн
- 21 Григорьева П. А., Мельник И. Р.** Моделирование синтезатора звуков и соответствующих цветовых изображений
- 25 Гурьянов С. С., Мухамадеев Т. В.** Методика расчета эффективности связи
- 29 Зубицкий П. С., Комашинский В. И.** Моделирование замираний сигналов в сетях 5G, работающих в диапазоне 5-100 ГГц
- 36 Иванников В. В.** Анализ алгоритма организации взаимодействия сетей LTE и Wi-Fi
- 41 Ислангириева А. М., Мыльникова В. А.** Добавление Wi-Fi как сегмента гетерогенной сети
- 46 Караваяев Д. А.** Частотно-временной анализ математической модели нейронной сети Кропотова-Пахомова
- 51 Крамин А. П., Митлаш А. Н.** Автоматизация радиотехнических измерений параметров радиоканалов системы спутниковой связи
- 56 Кузьмина В. И.** Исследование механизмов обеспечения сетевой безопасности IoT в сетях UMTS
- 61 Леонтьев С. С., Рывякин Д. В., Степанов А. Б.** Реализация треугольного фильтра на элементной базе со сверхнизким потреблением энергии
- 66 Орлянская Ю. Д.** Пассивные методы защиты информационных систем связи
- 70 Папулин Д. А., Смирнов А. Д., Степанов Ю. Л.** Метод сканирования цифровой последовательности для создания контрольно-диагностических тестов
- 74 Папулин Д. А., Смирнов А. Д., Степанов Ю. Л.** Подход к созданию имитационных моделей сложных логических элементов
- 78 Ракоед А. А.** Использование аэростатов в качестве ретрансляторов для построения радиорелейных линий связи
- 81 Самородницкий В. А.** Проектирование конструкции из стеклопластика беспилотного летательного аппарата

- 83 Хатаев О. В.** Разработка устройства трёхмерного сканирования
- 88 Шебалин С. М.** Реализация помехозащищённой системы приема/передачи информации с использованием рекуррентного кодирования Финка-Хегельбаргера на базе ПЛИС на языке программирования VERILOG
- 92 Шибарова И. Г.** Исследование обнаружителей сигнала на фоне нестационарных помех
- 97 Шопша А. С.** Обеспечение амортизации устройств трехмерного сканирования

**Инфокоммуникационные сети и системы**

- 102 Алейникова Л. В.** Исследование интегрально-оптического демультиплексора на основе технологии AWG
- 107 Алексеева Д. Д.** Экспериментальное исследование интегрально-оптического мультиплексора для системы DWDM
- 112 Васильев Н. Г., Малышев Б. Ю., Липатников В. А.** Обнаружение вторжений в информационно-вычислительных сетях
- 117 Васылив Н. И.** Сравнение методов обучения моделей нейронных сетей для эксплуатации в сетях TCP/IP
- 122 Горсков В. С.** Исследование взаимодействия солитонов в оптических волокнах без потерь
- 127 Гребенюк В. П.** Варианты организации сети связи для услуги глубокой инспекции пакетов корпоративным клиентам оператора
- 131 Онуфриенко А. В.** Особенности моделирования DPI-систем в мультисервисных сетях
- 137 Казакевич А. А., Степанова Е. А., Юшкевич А. Д.** Измерение качественных характеристик сигнала синхронизации в телекоммуникационной системе
- 141 Карачевцева В. С.** Источники погрешностей при измерении параметров ВОЛС и методы их уменьшения
- 146 Карачевцева В. С., Микутавичайте Д. С.** Исследование возможности расширения спектрального диапазона усиления оптических усилителей EDFA
- 151 Киреев С. Х., Лаута О. С., Соловьёв Д. В.** Использование временной метки для защиты передаваемых данных
- 156 Мацан В. А., Тихонович А. Д.** Эффект рамановского рассеяния в оптических волокнах и возможности его использования для усиления оптических сигналов

- 162 **Морозов Д. П., Павшева М. В.** Использование и актуальность имитационного моделирования корпоративной сети в Riverbed Modeler Academic Edition
- 165 **Резников Б. К.** Модель приемного устройства многоканальной системы передачи на ПЛИС CYCLONE V
- 169 **Резников Б. К.** Исследование оптических интерференционных фильтров
- 174 **Резников Б. К.** Конструкция и расчет волоконно-оптического гироскопа
- 177 **Резников Б. К.** Управление передачей данных по атмосферной оптической линии связи с помощью ПЛИС CYCLONE V
- 181 **Сандаков И. М., Ли С. К.** Измерение поляризационно-модовой дисперсии в одномодовых оптических волокнах и методы ее компенсации
- 186 **Сурмина М. С., Красов А. В.** Использование и разработка методов обнаружения вредоносной активности автоматизированного построения ботнет-сетей
- 190 **Федосов Я. А.** Современные инфокоммуникационные технологии в музыкальном образовании
- 194 **Фицов В. В.** Математическая модель DPI на основе классификации Норроса
- Информационные системы и технологии**
- 201 **Вахрушев Д. О.** Анализ опыта продвижения Internet-ресурсов
- 205 **Верхова Г. В., Плетнев Я. А.** Унифицированная программно-аппаратная платформа сенсорного слоя для IoT
- 210 **Вершинина И. В.** Сравнительный анализ оценки бизнес-процессов коммерческой и некоммерческой организаций
- 214 **Винокуров М. Ю., Шарафутдинов Ф. Ю.** Архитектура программного обеспечения для мониторинга оборудования сети и применяемые программные технологии на языке JAVA
- 218 **Голутвина Ю. А.** Формализации онтологического подхода к организации информационных систем
- 224 **Гусев Д. С.** Формализации искусственного интеллекта мультиагентных систем защиты информации
- 228 **Егоров А. В., Коньков Д. И., Зорин В. А.** Анализ методов модулирования OFDM-сигналов
- 231 **Ершов А. В., Цаян А. О.** Autocad система для работы с векторной графикой
- 237 **Коткина М. С., Котлова М. В.** Интеграция сервис-ориентированной информационной системы для сопровождения бизнес-процесса при реализации выпускаемой продукции
- 241 **Котлова М. В., Кучеренко И. С.** Проектирование информационной системы видеонаблюдения для частного дома на базе оборудования D-LINK
- 246 **Котлова М. В., Таймазова З. В.** Анализ систем повышения эффективности работы сотрудников в профессиональной среде
- 249 **Литвинов Д. В.** Исследование методов автоматизированного проектирования пользовательских интерфейсов
- 253 **Лужковская В. А.** Моделирование и анализ проволочной антенной структуры
- 256 **Островский Ю. Н., Строков А. А., Тиридатов С. А.** Построение обучающих систем на основе технологии нейрокompьютерного интерфейса
- 261 **Полпудникова Н. В.** Модель автоматизированного ведения подлинников конструкторской документации предприятия связи
- 266 **Сазонов А. О.** Разработка метода распознавания структур временных диаграмм цифровых сигналов при анализе интегральных микросхем электронных устройств
- 271 **Степанов А. П., Ширяев В. Е., Ширяев М. Е.** Программно-аппаратный генератор шума
- 275 **Фадеева А. В., Котлова М. В.** Реализация информационной системы учета для музея СПбГУТ
- 279 **Фролова К. А.** Автоматизированные и электронные формы коммуникации в общеобразовательной организации
- Теоретические основы радиоэлектроники**
- 283 **Аксенов Р. С., Дробязго Д. Д.** Создание виртуальной лабораторной работы по физике "Определение удельного заряда электрона методом отклонения пучка электронов в магнитном поле"
- 286 **Жаранова А. О.** Использование Microsoft Excel при изучении студентами курсов линейной алгебры, геометрии и линейного программирования
- 291 **Дмитриков В. Ф., Катасонов А. И., Кузнецов С. А.** Фильтры и их разновидности
- 296 **Качалова О. С., Мирошников О. Ю.** Оружие на новых физических принципах. Радиочастотное оружие
- 301 **Кондрашова М. А., Колгатин С. Н.** Исследование эллиптической формы проводящих элементов кольцевого резонатора на компланарном волноводе
- 304 **Коновалова Е. А., Подольская М. О.** Разработка комплекса лабораторных работ на ПК по теме исследования характеристик устройств на основе  $p$ - $n$ -перехода

- 309 Лебедев Л. С.** Широкополосные переходы на щелевую линию в составе ОИС СВЧ
- 315 Леонтьев А. С.** Исследование особенностей устройства слухового аппарата и физических принципов его работы
- 320 Лотарева Д. А., Чернобровкин И. Д.** Модель офисного цифрового ретранслятора звукового вещания
- 325 Рожков А. М.** Вариабельность сердечного ритма: физические принципы измерения и мобильные приложения по его определению
- 330 Сазоненко Н. Ю., Сединин А. Д.** Исследование зависимости линейности работы базовых схем смесителей на полупроводниковых структурах от параметров входного сигнала и гетеродина
- 334 Сазоненко Н. Ю., Шаповалова П. В., Груздев К. А.** Исследование физических принципов работы глюкометров
- 337 Сединин А. Д., Фурсей Г. Н.** Анализ путей построения и моделирования широкополосных преобразователей частоты
- 343 Шаповалова П. В.** Проектирование интегральной схемы светоприемного устройства и ее топологии
- Сети связи  
специального назначения**
- 349 Александрова А. В., Молчанов Д. В., Шелко К. О.** Особенности построения систем спутниковой связи в северных широтах. использование технологии АСМ для оптимизации канала связи
- 355 Березьянская В. М., Мартынов А. А., Савинский С. И.** Выбор физической среды передачи сигнала при построении защищенной от несанкционированного доступа локальной сети
- 360 Богданов К. А., Журавлёв Д. А., Сальников Д. В.** Способ наведения атмосферных оптических систем передачи в полевых условиях
- 365 Богданова Ю. Н., Журавлёв Д. А., Прасько Г. А.** Исследование возможности сопряжения мобильных узлов связи с помощью атмосферно-оптических систем передач
- 369 Гевель М. Д.** Русские огнемёты
- 374 Гевель М. Д., Тельнов Н. А.** История криптографии
- 379 Горай И. И., Журавлёв Д. А., Ларионова И. Д.** Способ прокладки линий резервирования в транспортной сети связи с учетом их пропускных способностей
- 384 Долгомер А. А.** Оптическая реализация системы на основе квантового распределения ключей. «Plug&Play» системы
- 388 Дунаев К. В., Журавлёв Д. А., Муравцов А. А.** Оценка вариантов применения АОЛС в сетях связи специального назначения
- 392 Журавлёв Д. А., Савушкин Н. А., Семуков Ю. А.** Способ построения структуры полевой транспортной сети требуемой отказоустойчивости
- 397 Курмазов А. В., Турков Н. Е., Федосеев Д. О.** Механизмы приоритизации пакетного трафика в сетях специального назначения
- 400 Пылов Н. В., Соколов А. А.** Беспилотные летательные аппараты в военной сфере
- 404 Решетова И. С.** Оценка скрытности военных систем радиорелейной связи
- 408 Рыжиков Д. В., Шевченко А. А., Широков А. О., Широков С. О.** Оценка использования атмосферных оптических линий связи в регионах с различными климатическими условиями
- 412 Рыжиков Д. В., Широков С. О.** Декодер азбуки Морзе в среде MATLAB
- 416 Суюндукова А. А.** Мониторинг всемирного рынка потребителей 4G-сравнение и анализ
- 419 Шадрин Д. М., Нуштаев Е. С.** Особенности структуры систем автоматизированного контроля потребления ресурсов для использования в сетях специального назначения
- 422 Шмидт А. А., Южакова А. А.** Биометрия как способ аутентификации личности для защиты от несанкционированного доступа
- 426 Шмидт А. А., Южакова А. А.** Вейвлет-преобразование и его возможности в цифровой обработке сигналов
- 431 Шмидт А. А., Южакова А. А.** Перспективы применения искусственных нейронных сетей в системах связи и АСУ в вооруженных силах Российской Федерации
- 436 Штеренберг Г. И.** Построение общей модели адаптивной системы RPA для защиты программного обеспечения в локально-вычислительной системе

УДК 681.3.06

М. Л. Авдеева, А. Е. Березина, Д. С. Оршлет (студенты, СПбГУТ)  
 А. Б. Степанов (канд. техн. наук, доцент, СПбГУТ)

## РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ГИЛЬБЕРТА НА ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ СО СВЕРХНИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ

*Работа посвящена реализации преобразователя Гильберта на микроконтроллере MSP430G2452 с использованием различных технологий получения С-кода. Одна из них основана на создании Simulink-модели из таких блоков, как: сумматоры, умножители и элементы задержки, с последующей автоматической генерацией С-кода. При этом выполняется оптимизация С-кода по объему. Вторая технология подразумевает набор С-кода по составленному алгоритму. Приводится сравнение различных технологий реализации, делается вывод о их достоинствах и недостатках.*

*цифровой преобразователь Гильберта, микроконтроллер, генерация С-кода, Simulink-модель.*

Цифровой преобразователь Гильберта (ЦПГ) – это линейная дискретная система, на выходе которой, в заданной полосе частот, формируются сигналы, сопряженные по Гильберту [1]. В данной работе описаны результаты реализации ЦПГ на микроконтроллере MSP430G2452, который позиционируется производителем, как устройство со сверхнизким потреблением энергии.

На рис. 1. представлена структура ЦПГ, построенная на основе прямой приведенной структуры КИХ-фильтра [1]. Моделирование выполнено в подсистеме блочного моделирования Simulink.

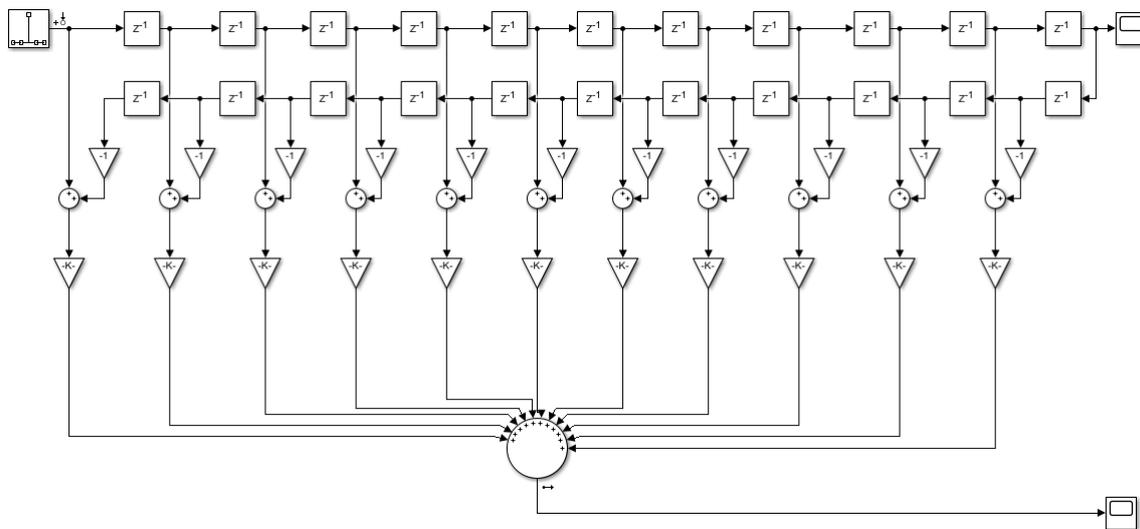


Рис. 1. Моделирование ЦПГ в Simulink

При подаче на вход ЦПГ цифрового единичного импульса, на его нижнем выходе может быть получена импульсная характеристика, приведенная на рис. 2 [2].

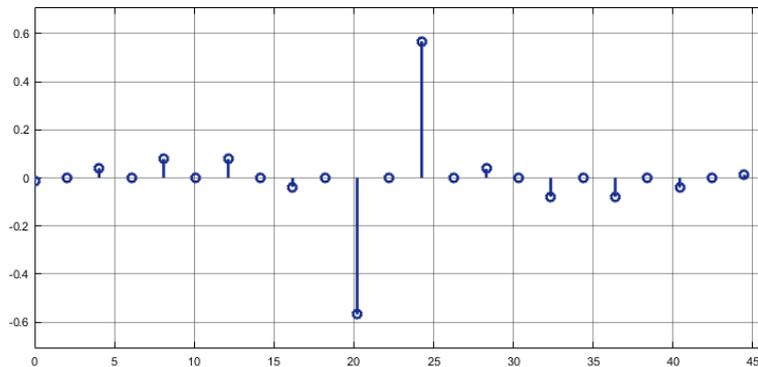


Рис. 2. Импульсная характеристика ЦПГ

Для реализации ЦПГ на микроконтроллере MSP430G2452 может быть использована одна из двух технологий получения С-кода:

- 1) Генерация С-кода на основе Simulink-модели или m-файла.
- 2) Написание С-кода на основе алгоритма работы ЦПГ.

Рассмотрим процедуру генерации С-кода на основе Simulink-модели. Для получения программного кода необходимо заменить блок, задающий цифровой единичный импульс на входе ЦПГ, на блок, имитирующий входной порт, а блоки Scope – на блоки, имитирующие выходные порты (рис. 3).

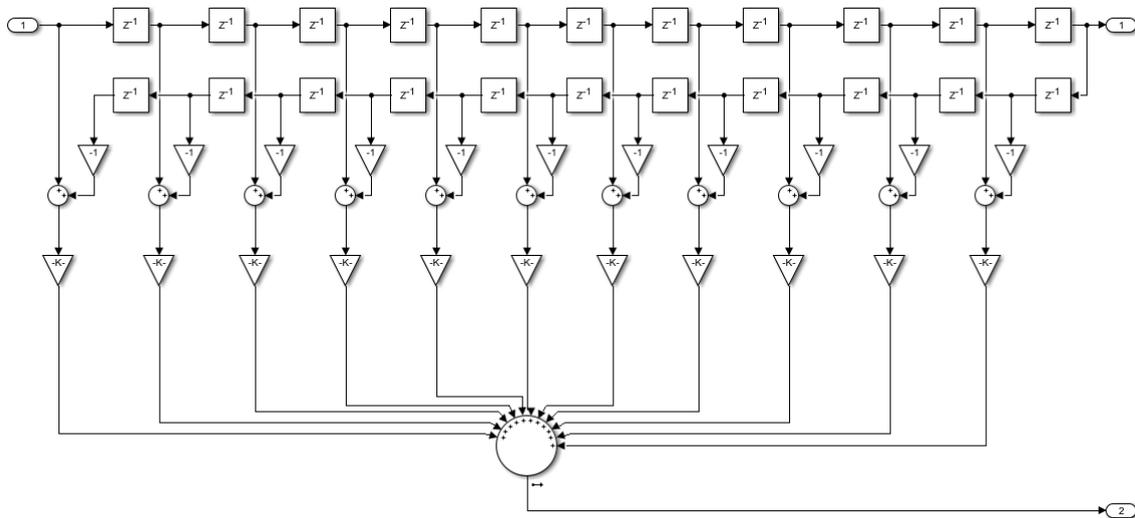


Рис. 3. Simulink-модель ЦПГ, предназначенная для генерации С-кода

Поскольку данный микроконтроллер поддерживает работу с данными с фиксированной точкой (ФТ), то перед генерацией С-кода необходимо выполнить преобразование Simulink-модели для работы с ФТ. Для этого используется инструмент Fixed-Point Advisor (рис. 4).

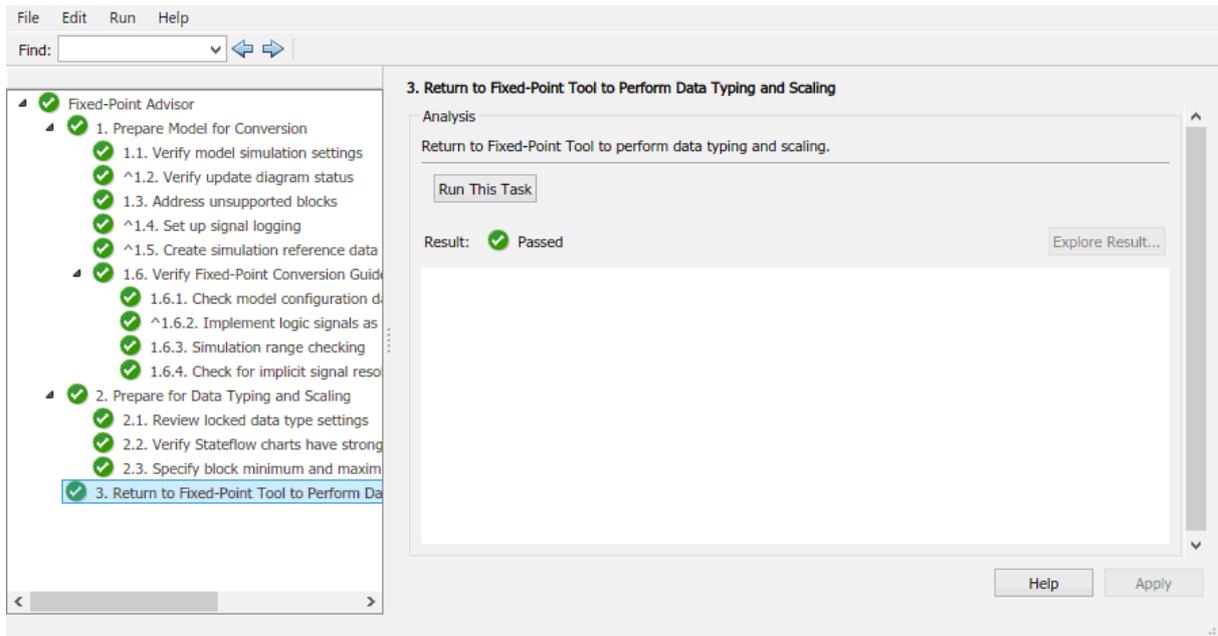


Рис. 4. Преобразование Simulink-модели для работы с фиксированной точкой

После преобразования Simulink-модели выполняется настройка параметров генерации программного кода: выбирается целевое устройство (MSP430), язык программирования, настройки оптимизации кода и пр. Выполняется генерация С-кода.

На рис. 5 представлен отчет о генерации С-кода для микроконтроллера MSP430.

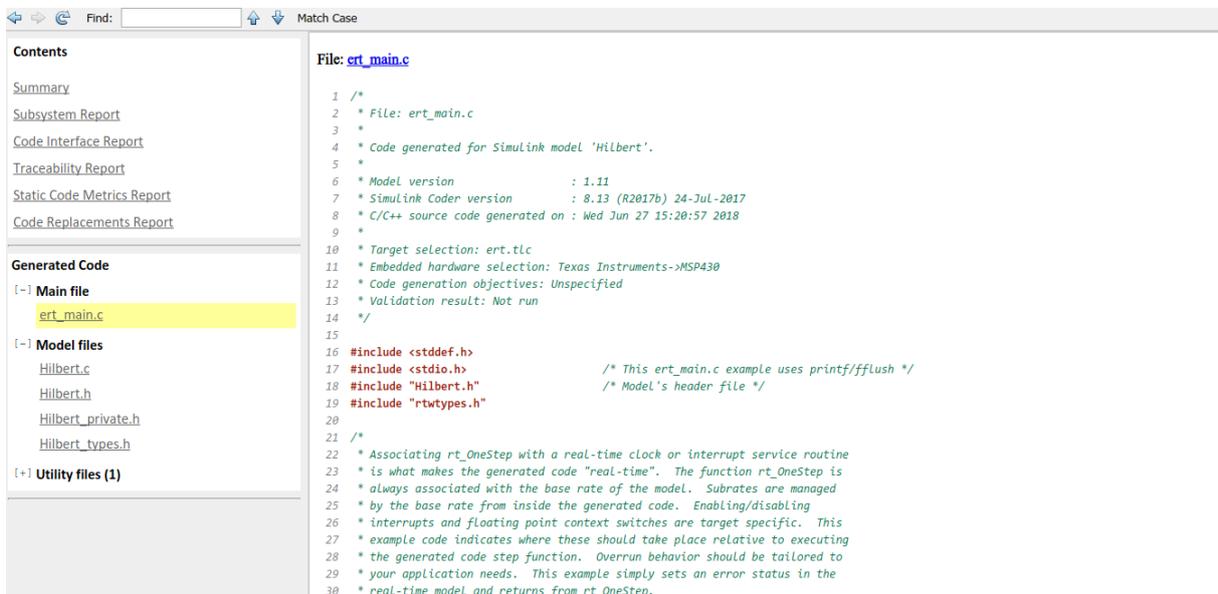


Рис. 5. Отчет о генерации С-кода

В качестве достоинства данной технологии можно отметить минимальные сроки получения С-кода для выбранного устройства. В качестве недостатка – необходимость внесения дополнений в код для обеспечения

работы с периферийными устройствами. После изменений, код может быть использован для получения бинарного файла для загрузки в память микроконтроллера.

Альтернативной технологией получения программного кода является его написание на основе алгоритма работы ЦПГ. Так как микроконтроллер MSP430G2452 не поддерживает аппаратную реализацию UART, то при написании кода выполняется его программная реализация.

На рис. 6 представлены результаты реализации ЦПГ при использовании технологии написания С-кода. Код был набран в интегрированной среде разработки Code Composer Studio. Цифровой единичный импульс, сгенерированный в MATLAB, подавался на вход микроконтроллера, а результаты обработки, полученные на выходе микроконтроллера (с нижнего выхода ЦПГ), загружались в MATLAB и визуализировались в виде графика импульсной характеристики. В MATLAB также производился расчет АЧХ. Значения импульсной характеристики, полученные на выходе микроконтроллера, полностью совпали с результатами моделирования в MATLAB.

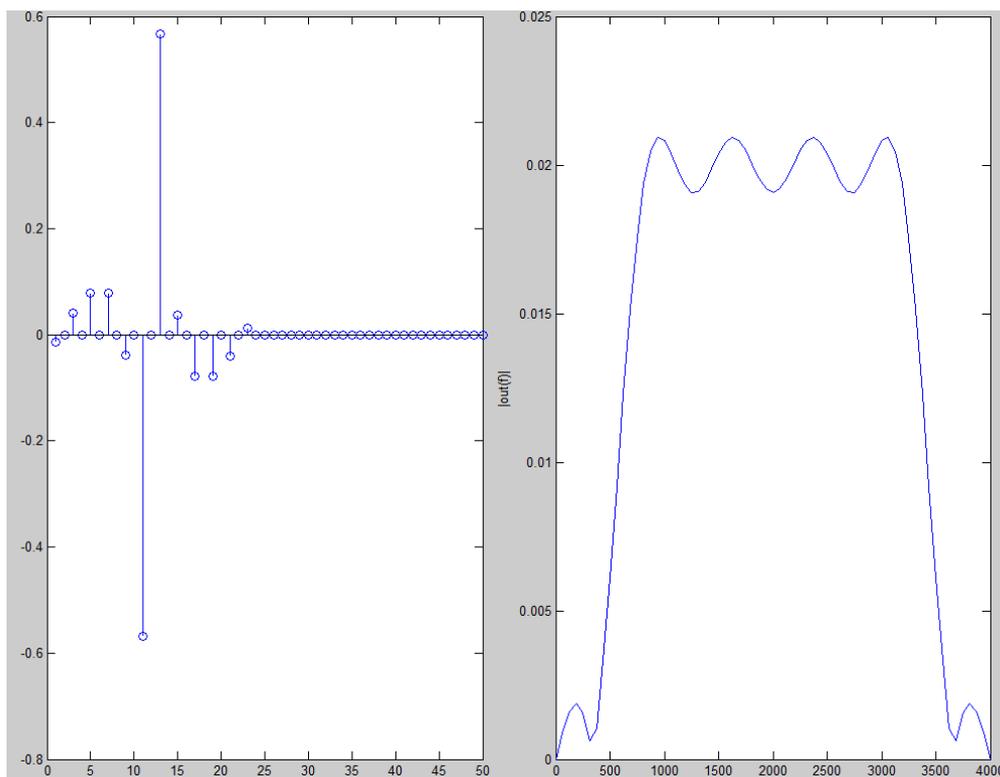


Рис. 6. Импульсная характеристика и АЧХ ЦПГ

Отметим основные результаты, полученные в работе:

1) Создана Simulink-модель ЦПГ. На основе данной модели выполнена генерация С-кода для микроконтроллера MSP430 с оптимизацией по объему.

2) Разработан алгоритм для реализации ЦПГ с учетом архитектуры микроконтроллера. На основе данного алгоритма был написан С-код, получен бинарный файл, который был загружен на отладочную плату.

3) Минимальный объем выходного файла получен при использовании технологии на основе автоматической генерации С-кода. Бинарный файл, полученный на основе технологии написания кода, потребовал больше внутренней памяти микроконтроллера.

#### Список использованных источников

1. Солонина А. И. Цифровая обработка сигналов в зеркале MATLAB. СПб.: БХВ-Петербург, 2018. 560 с.

2. Солонина А. Моделирование цифровой обработки сигналов в MATLAB. Часть 9. Моделирование цифровых преобразователей Гильберта и дифференциаторов программными средствами и средствами GUI FDATATool MATLAB // Компоненты и технологии. 2009. N 7. С. 106–110.

#### УДК 534.232

А. Д. Бекташева, А. В. Гордейко (студентки, СПбГУТ)

### ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТОЭЛЕКТРОНИКИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

*В наше время происходит резкое усложнение радиоэлектронных систем и, как следствие, возникает необходимость увеличивать число компонентов в системах. Традиционные методы конструирования не способны решить эту проблему. Поэтому необходимо использовать основные свойства веществ и материалов. На этом и основывается акустоэлектроника. Данное направление изучает процессы возбуждения, распространения, отражения и приема акустических волн.*

*акустические волны, ОАВ, ПАВ, акустоэлектронное устройство.*

Акустические волны, они же звуковые, – это возмущения упругой материальной среды (газообразной, жидкой или твердой), распространяющиеся в пространстве, где возмущения – это смещение частиц среды от положения равновесия.

Акустические волны разделяются на объемные (ОАВ) и поверхностные (ПАВ). Рассмотрим подробнее каждый из видов.

Объемные акустические волны (ОАВ) распространяются во всем объеме вещества. ОАВ могут быть продольными и поперечными.

В продольных волнах смещения частиц совпадают по направлению с распространением волны, и распространяются в любых средах – твердых, жидких и газообразных. Причиной возникновения продольной волны является деформация (сжатие/растяжение), т. е. сопротивление среды изменению ее объема. В жидкостях или газах такая деформация сопровождается разрежением или уплотнением частиц среды.

**Поперечная волна** – это волна, при распространении которой смещение частиц среды происходит в направлении, перпендикулярном распространению волны. Причиной поперечной волны является деформация сдвига одного слоя среды относительно другого. При распространении поперечной волны в среде образуются гребни и впадины. Жидкости и газы, в отличие от твердых тел, не обладают упругостью по отношению к сдвигу слоев, т. е. не оказывают сопротивления изменению формы. Поэтому поперечные волны могут распространяться только в твердых телах.

В акустоэлектронике используются как объемные волны (продольные и поперечные), так и поверхностные, которые имеют ряд преимуществ перед объемными, прежде всего – малые потери при преобразовании сигналов, доступность волнового фронта и разнообразие взаимодействий акустических волн.

Поверхностные акустические волны (ПАВ) распространяются вблизи свободной поверхности вещества, либо вблизи поверхности раздела двух различных сред. Их фазовая скорость направлена параллельно этой поверхности, а интенсивность быстро убывает с глубиной проникновения в объем вещества.

Поверхностные акустические волны (ПАВ) известны в физике более сотни лет. Однако их применение началось лишь во второй половине XX века и именно в радиотехнике. Развитие радиотехники шло тремя путями:

- 1) развитие элементной базы – лампы, транзисторы, интегральные микросхемы;
- 2) усложнение функций, выполняемых радиоэлектронной аппаратурой (это сигналы и способы их обработки);
- 3) решение комплексных проблем миниатюризации.

Одной из самых сложных задач современной электроники является миниатюризация устройств обработки сигналов, линий задержки и др. Развитие акустоэлектроники способствует решению данной проблемы.

Как было сказано ранее, акустоэлектроника изучает процессы возбуждения, распространения, отражения и приема акустических волн в веществах, с целью создания на их основе акустоэлектронных устройств для обработки электрических сигналов. По существу, акустоэлектроника занимается преобразованием акустических сигналов в электрические и элек-

трических в акустические. И именно поверхностные акустические волны позволяют уменьшать объем электронных устройств. Это объясняется тем, что скорость распространения их в веществе значительно меньше, чем у электромагнитных волн в диэлектрических структурах.

Устройства акустоэлектроники, нашли широкое применение в радиотехнике, особенно в радиолокации, технике связи, телевидении. Широкому распространению акустоэлектронных устройств способствовало их использование в системах мониторинга состояния окружающей среды и промышленных объектов, экспресс диагностики, системах радиочастотной идентификации, охраны, безопасности, дистанционного управления, логистики.

Акустоэлектронным изделием называется сборочная единица, выполняющая в составе радиоэлектронной аппаратуры определенную функцию на основе процессов возбуждения, распространения и преобразования акустических волн в упругой среде и (или) на взаимодействии их с электромагнитными полями.

Обобщенная функциональная схема акустоэлектронного устройства (АЭУ) приведена на рис. 1. Входной электрический сигнал с помощью входного электроакустического преобразователя преобразуется в акустическую волну, распространяющуюся в подложке устройства (акустическом канале). Выходной акустоэлектронный преобразователь преобразует акустическую волну в выходной электрический сигнал. Обработка информации может осуществляться как в акустическом канале, так и в процессе взаимного преобразования электрических и акустических сигналов. Особенностью АЭУ служит низкая, по сравнению с электромагнитными волнами, скорость распространения акустических волн. Носителями информации в АЭУ могут быть различные типы акустических волн – объемные волны, поверхностные волны, волны в слоях материалов.

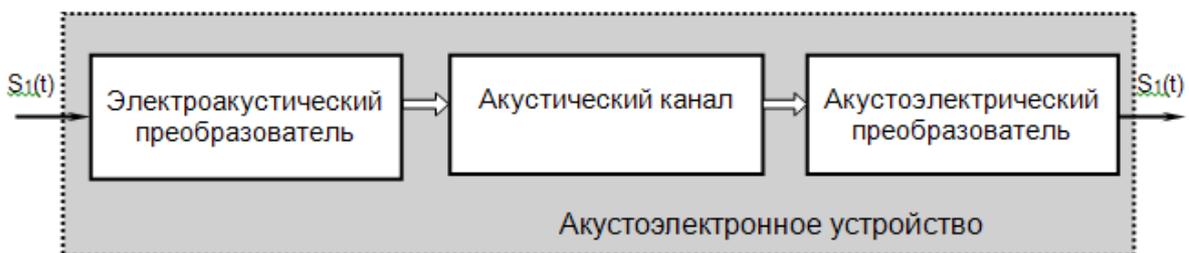


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема акустоэлектронного устройства

На сегодняшний день разработано и широко используется множество АЭУ. В основу классификации АЭУ могут быть положены различные признаки, например, АЭУ различаются по функциональному назначению, функциональной сложности, адаптивности, уровню и степени интеграции, типу используемых акустических волн, конструктивно-топологическому исполнению (рис. 2). По функциональному назначению различают устрой-

ства генерации и формирования сигналов, обработки сигналов, идентификации объектов, устройства измерения и сигнальные устройства. По функциональной сложности реализована линейка АЭУ от простейших элементов (сумматоров, фазовращателей и т. д.) до акустоэлектронных процессоров, выполняющих различные операции обработки сигналов, например, преобразование Фурье, Гильберта, Меллина и др. По типу применяемых акустических волн наибольшее распространение имеют устройства на поверхностных, приповерхностных и объемных акустических волнах (ОАВ) и меньшее распространение – устройства, использующие волны в слоях материалов.

### Акустоэлектронные устройства



Рис. 2. Классификация акустоэлектронных устройств

Устройство на ПАВ представляет собой пьезоактивную подложку с нанесенной на ней элементами: металлическими электродами, канавками, пленками. На рис. 3 показан одноходовой резонатор на ПАВ, содержащий встречно-штыревой преобразователь (ВШП) и две симметрично расположенные отражательные структуры. Внешний вид упакованного изделия изображен на рис. 4.

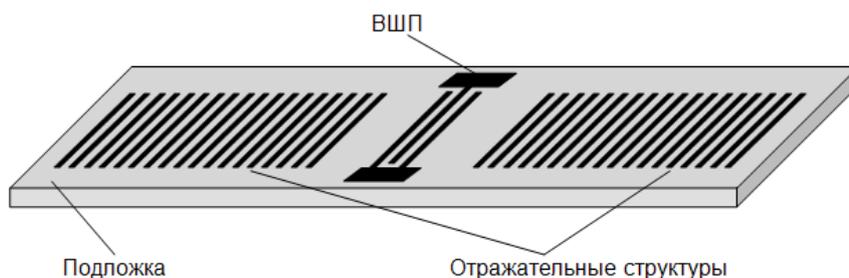


Рис. 3. Резонатор на ПАВ

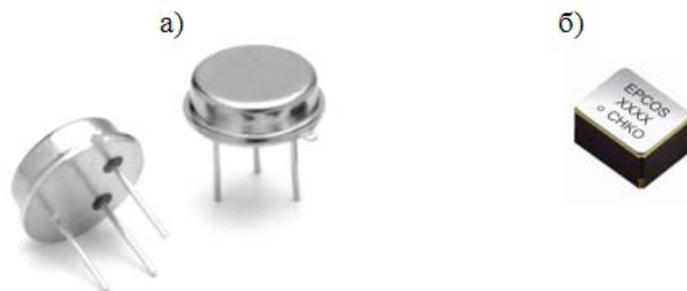


Рис. 4. Внешний вид резонатора на ПАВ в корпусе ТО-39 (а) (модель RO3101 фирма RFM) и корпусе SMT (б) (модель R1800 фирма EPCOS)

Основными преимуществами устройств на ПАВ служат:

- чрезвычайно малые габариты и вес;
- исключительные электрические характеристики в сочетании с высокой повторяемостью характеристик;
- высокая надежность;
- низкая стоимость в серийном производстве;
- широкий диапазон рабочих частот от единиц МГц до 2–5 ГГц;
- отсутствие необходимости настройки и регулировки;
- широкий ассортимент массово изготавливаемых устройств.

Устройства на ПАВ в состоянии не только эффективно выполнять отдельные уникальные операции по обработке сигналов, но и служить основой для многофункциональных подсистем, таких как согласованная фильтрация и обработка сигналов в реальном масштабе времени.

В настоящее время существует большое количество различного типа акустоэлектронных устройств, которые широко используются в самых разных компонентах радиотехнических систем и имеют большое значение для развития радиоэлектронной аппаратуры. Поэтому данная область науки утвердилась в современном мире технологий и стремительно развивается по сей день.

#### Список использованных источников

1. Каринский С. С. Устройства обработки сигналов на ультразвуковых поверхностных волнах. М., 1975.
2. Балышева О. Л. Акустоэлектронная компонентная база // Журнала радиоэлектроники. 2014. № 6.
3. Поверхностные акустические волны – устройства и применения [пер. с англ.] // "ТИИЭР". 1976. Т. 64. № 5.
4. Поверхностные акустические волны / под ред. А. Олинера, пер. с англ. М., 1981.
5. Речицкий В. И. Акустоэлектронные радиокомпоненты: элементы и устройства на поверхностных акустических волнах. М.: Сов. радио, 1980. 264 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
ассистентом Капраловым Д. Д., СПбГУТ.*

УДК 001.891.53

А. И. Боженков (студент, СПбГУТ)

## РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОЕКТНАЯ ГРАФИКА В КОНСТРУКЦИЯХ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ»

*В данной статье описывается процесс создания методических указаний для дисциплины проектная графика в конструкциях электронных средств. Методические указания включают в себя обучающие материалы для ознакомления с векторной графикой на основе программы Gravit Designer, курс лабораторных работ в программе КОМПАС-3D, позволяющий ознакомиться с твердотельным 3D-моделированием деталей, созданием сборок и чертежей, а также краткое ознакомление с полигональным 3D-моделированием в программе Autodesk 3ds Max.*

*проектная графика, векторная графика, твердотельное моделирование, полигональное моделирование.*

В процессе разработки устройства необходимо сочетать графические и макетные работы. Изобразить модель на плоскости проще, также в него можно внести изменения, модель, в свою очередь, дает представление о будущем внешнем виде изделия наглядно. При создании модели проще обнаруживаются недостатки, что способствует ее улучшению. Таким образом для создания эстетически качественного изделия необходимо усвоить оба проектных языка графический и объемно-пластический.

Для работы с векторной графикой был выбран программный продукт – Gravit Designer. Для работы с твердотельным моделированием был выбран программный продукт – Компас3D. Для работы с твердотельным моделированием был выбран программный продукт – Autodesk 3ds Max.

Сначала студент знакомится с векторной графикой. В первой работе необходимо создать изображение лицевой панели. Первыми элементами для создания в рабочей области являются прямоугольники и линии, так студент знакомится с основными принципами создания и расположения примитивов. Одновременно с этим вводится понятие о заливке и обводке примитива. Также в ходе работы вводятся и другие примитивы, такие как: окружность, безигон, кривая Безье и тексты. Следующей особенностью редактора, с которой знакомится студент, являются символы, они позволяют объединить группу примитивов в символ для последовательного размещения в рабочей области без необходимости выделения и копирования элементов. После выполнения простых операций с примитивами даются задания на работу с расширенными настройками примитивов. В конце лабораторной работы студенты должны нанести размеры на лицевую панель. Результат первой лабораторной работы показан на рис. 1.

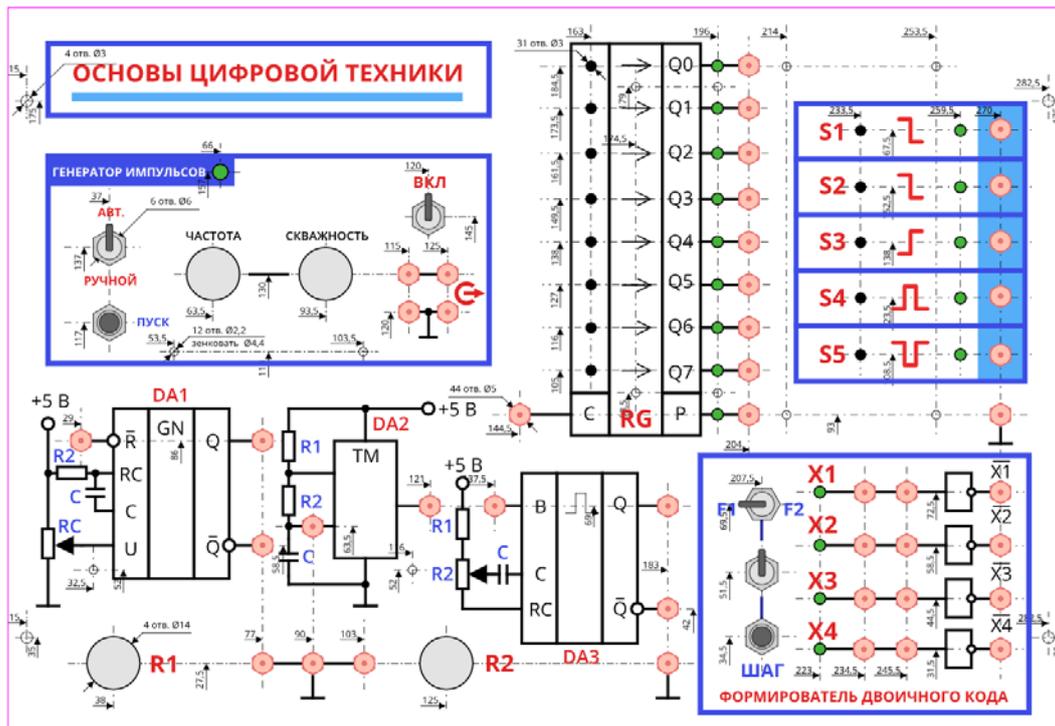


Рис. 1. Лицевая панель, создаваемая в Gravit Designer

После выполнения лабораторной работы студентам предстоит выполнить задание на создание еще одной лицевой панели, но в данном случае без вспомогательных материалов. Для этого были разработаны 20 вариантов лицевых панелей основанных на внешнем виде существующих радиоэлектронных приборов.

В работах по твердотельному моделированию в первую очередь студент знакомится с переходом между режимом твердотельного моделирования и эскизом. В режиме эскиза студент должен работать с примитивами векторной графики. На основании эскиза строится 3D-модель с помощью операций построения. Всего операций четыре: выдавливание, вращение, по траектории, по сечениям [1]. Для каждого типа операции построения разработана лабораторная работа. Изучив основы создания тел, студент знакомится с листовыми телами. Главным отличием от предыдущих работ в том, что здесь задается фиксированная величина толщины листа, из которого будет создана деталь. При моделировании листового тела используются другие операции, такие как: сгиб, обечайка, пластина, вырез, штамповка, жалюзи и т. д. Также возможен переход между отображением готовой детали и ее заготовки в виде пластины. После создания деталей студент переходит к созданию сборки. В данном случае студенту предоставлены необходимые модели, его задача правильно их разместить. Помимо подготовленных моделей в сборку необходимо добавить стандартные изделия такие как: гайка, шайба и т. д. Далее идет ознакомление с созданием чертежей деталей. Моделью, используемой для создания чертежа, предло-

жено использовать результат моделирования из первой лабораторной работы. Примеры работ показаны на рис. 2.

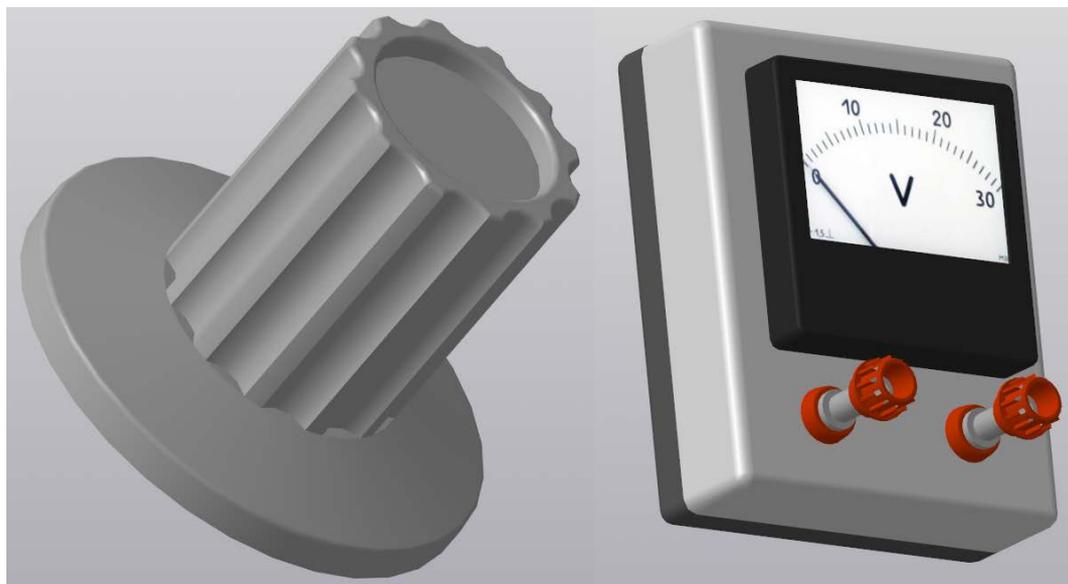


Рис. 2. Деталь и сборка, создаваемые в КОМПАС-3D

В работе по полигональному моделированию студент должен создать точно такую же модель, как в первой работе по Компас-3D для того, чтобы наглядно показать различия и особенности разных типов 3D-моделирования. В полигональном моделировании модель разделяется на полигоны, которые можно редактировать, как непосредственно, так и манипулируя их составными частями – точками и ребрами. Результат работы показан на рис. 3.

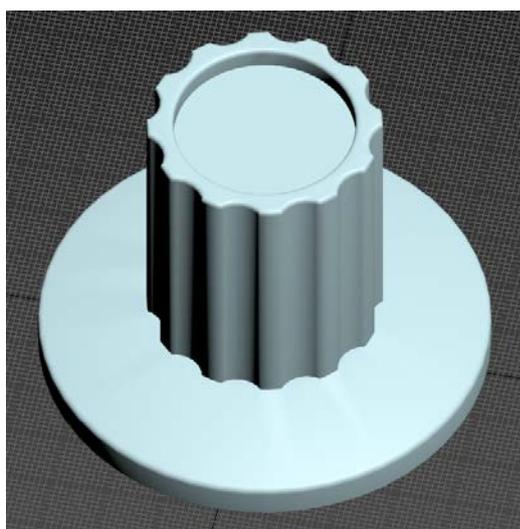


Рис. 3. Деталь, создаваемая в Autodesk 3ds Max

Результатом работы являются разработанные методические указания позволяющие повысить эффективность учебного процесса, за счет внедрения лабораторных работ по дисциплине проектная графика в конструкциях электронных средств.

#### Список использованных источников

1. Большаков В., Бочков А., Лячек Ю. Твердотельное моделирование деталей в САД-системах: AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, Creo. СПб.: Питер, 2015. 480 с.

*Статья представлена научным руководителем, ассистентом Капраловым Д. Д., СПбГУТ.*

УДК 004.7

**А. В. Гончаров** (старший оператор научной роты,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**А. Д. Юшкевич** (оператор научной роты,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

## ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

*Решение задач геопространственного моделирования в задачах прогнозирования распространения волн требует глубокого понимания основных принципов геоинформатики и физики. Выбирая модели прогнозирования распространения, важно учитывать территориальные условия, характеристики объектов (материал, высота), ошибки. В совокупности с современными ГИС системами подобный подход может дать достаточно точный конечный результат модели распространения.*

*распространение радиоволн, моделирование, ГИС.*

При решении большинства прикладных задач в области связи и телекоммуникаций требуется корректное, геометрически точное и математически определенное моделирование реальной окружающей среды. При этом основным и практически единственным источником первичной информации о местности являются топографические карты территории разных масштабов, а также иные картографические продукты, полученные методами дистанционного зондирования – материалы аэрофотосъемок, космических съемок, лазерного сканирования и, построенной на его основе, 3D модели.

Наряду с корректной цифровой моделью среды, при практической реализации задачи прогнозирования распространения радиоволн, важную роль играют методы моделирования их распространения в окружающей среде. Эти методы подразделяются на эмпирические, статистические и детерминированные.

### Классификация методов прогнозирования распространения радиоволн

**Эмпирические** формулы, основанные на экспериментальных данных, являются наиболее общей статистикой и не учитывают особенностей местности. Они приблизительно прогнозируют потери при распространении волн в среде [1].

Более точные **статистические** модели имеют коэффициенты, учитывающие некоторую обобщенную статистику, зависящую от конкретной местности [1, 2]. Например, при регулярной застройке параметрами могут

быть характерная высота объектов и расстояние между ними. Такие модели также имеют зависимость потерь от расстояния как результат.

Если в качестве среды распространения сигнала рассматриваются здания, то ситуация многократно усложняется, передача как правило ведется на высоких скоростях и отклик среды приобретает существенное значение. Поэтому вышеуказанные методы практически неприменимы при расчете распространения радиоволн для высокоскоростных систем связи в зданиях.

**Детерминированные** модели используют точные знания о среде распространения (например, трехмерное распределение электрофизических характеристик среды – диэлектрической и магнитной проницаемости). Точные в том смысле, что радиотехническая модель устойчива к флуктуациям параметров модели (таким как неточность плана здания или городской среды, электромагнитных характеристик стен и др.). Как правило, приемлемой точностью прогнозирования в данном случае является точность не хуже 5 дБ (по уровню электромагнитного поля). Очевидно, чем детальнее модель, тем больше трудностей возникает при ее формировании, возрастает объем расчетов и др. Поэтому необходимо выбирать компромисс между требуемой точностью расчета, затрачиваемыми при этом ресурсами и устойчивостью модели. Ответ на этот вопрос могут дать экспериментальные исследования.

Среди наиболее известных детерминированных методов можно отметить следующие:

- приближения геометрической оптики;
- приближение Кирхгофа (метод интеграла Кирхгофа);
- геометрическая теория дифракции;
- метод параболического волнового уравнения;
- конечно-разностные методы во временной области; метод интегрального уравнения.

Обитаемые области подразделяются на слабо населённые, пригородные и городские районы, расположенные на земной поверхности с различной степенью неоднородности (равнина, холмистая и горная местность) и интенсивностью растительного покрова, а также на области, расположенные внутри зданий. При выборе метода прогнозирования существенную роль играет соотношение длины волны, характерного размера объектов среды и пространственного масштаба рассматриваемой области, а также степень неоднородности (чаще всего, разрывной однородности) среды распространения. Не существует универсального метода прогнозирования распространения радиоволн, который позволил бы с приемлемой точностью решать все классы задач. Поэтому целесообразно комбинировать методы, выбирая оптимальные для каждого типа среды распространения и использовать современные методы моделирования.

## Основные принципы геопро пространственного моделирования применительно к задачам распространения радиоволн

В настоящее время наиболее разработанным инструментом геопро пространственного моделирования являются геоинформационные системы (ГИС), используемые для создания и работы с моделями окружающей среды. ГИС являются объектно-ориентированными базами данных, в которых информация о любом пространственном объекте состоит из двух взаимосвязанных составляющих: позиционных данных или метрики объекта и непозиционных данных или семантики (атрибутов) объекта. Исходной информацией для создания ГИС моделей местности служат цифровые топографические карты и планы, а при моделировании зданий/сооружений инженерно-строительная документация.

Все многообразие объектов физической реальности в ГИС разделяется на два класса – непрерывные и дискретные объекты. Моделирование непрерывных объектов (поверхности рельефа, физических полей) осуществляется с помощью геопривязанных растровых и/или триангуляционных поверхностей. Дискретные объекты (здания и их элементы, водоемы, растительность и т. п.) описываются с помощью векторной модели данных, т. е. наборов координат, определяющих их форму и местоположение и существующих в форме простых геометрических примитивов – точки, линии и полигона. Создание трехмерных моделей среды осуществляется за счет преобразования двумерных примитивов в трехмерные (плоскости, объемные элементы) на основе данных об их высотах, вводимых в атрибутивное и/или метрическое описание.

Достоверность геоинформационных моделей определяется величинами ошибок в координатах/высотах объектов, ее пространственным разрешением и полнотой данных о местности. Но использование даже достоверных геоинформационных моделей в задачах моделирования физических процессов невозможно без специальной адаптации и перехода от картографических моделей к цифровым проблемно-ориентированным моделям местности.

Процедуры адаптации включают в себя проблемно-ориентированное структурирование массива данных, топологическую верификацию, комплексирование метрики и семантики объектов, создание сопряженных объектов, разработку единой системы атрибутивного описания и идентификации элементов модели. Таким образом создается объектно-ориентированная, цельная и топологически-определенная структура в массивах пространственно-координированных данных. Также необходимым элементом подготовки модели к использованию является визуальная адаптивность модели, достигающаяся за счет добавления слоев данных, формирующих визуальный каркас модели, и настройки цветовых и светотеневых параметров отображения.

Алгоритмы преобразования и адаптации исходных цифровых данных о местности для проведения радиофизического моделирования зависят от используемых моделей распространения радиоволн. Однако, вне зависимости от алгоритма корректное моделирование невозможно без наличия: цифровой модели рельефа, данных о плановых очертаниях, высотах и материале постройки зданий/сооружений, характере подстилающей поверхности, расположении и высотах лесных массивов, координат передающих и приемных устройств и их характеристик [3]. В ряде случаев из исходной цифровой информации необходимо извлечение цифровых описаний наиболее важных для распространения радиоволн элементов (отражающих поверхностей, ребер дифракции, полупрозрачных поглощающих объемов) и их конвертация в формат, удобный для проведения расчетов. Использование в ГИС моделях метрических систем координат, совместимых с системами спутниковой навигации, существенно ускоряет сбор и обработку фактических материалов о районе исследования и экспериментальных данных, упрощает внедрение результатов моделирования в процесс решения практических задач.

#### Список используемых источников

1. Феер К. Беспроводная цифровая связь. М.: Радио и связь, 2000.
2. Пономарев Л. И., Манкевич Т. Л. Моделирование мобильных систем связи // Успехи современной радиоэлектроники. 1999. № 8. С. 45–58.
3. Сухоруков А. П., Дудов Р. А., Королев А. Ф., Потапов А. А., Турчанинов А. В. Квазиоптические методы в задачах моделирования распространения радиоволн вдоль поверхности Земли // Нелинейный мир. 2005. № 1–2. Т. 3. С. 107–115.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом военных наук, доцентом Ивановым В. Г.,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного.*

**УДК 681.3.06**

**П. А. Григорьева, И. Р. Мельник** (студентки, СПбГУТ)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТЕЗАТОРА ЗВУКОВ И СООТВЕТСТВУЮЩИХ ЦВЕТОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

*Данная работа посвящена моделированию синтезатора звуков и соответствующих цветových изображений. Проведен сравнительный анализ частот световых и звуковых волн. Разработан графический интерфейс пользователя, позволяющий воспроизводить ноты и выводить изображения соответствующего цвета.*

моделирование, синтезатор звуков, цвет, графический интерфейс, MATLAB.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа частот звуковых и световых волн и определение цвета, соответствующего заданной ноте.

Для достижения выбранной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Провести сравнение частот световых и звуковых волн.
- 2) Разработать графический интерфейс в среде MATLAB для демонстрации полученных результатов.

Для исследования были рассмотрены ноты малой и первой октав на пианино (табл. 1): от 41 Гц для ноты Ми малой октавы до 78 Гц для ноты Ре-диез первой октавы. Также для исследования могли быть выбраны ноты 3 и 4 октав, но данный частотный диапазон хуже подходит для демонстрации.

ТАБЛИЦА 1. Частоты нот

Нота	Октава	Частота (Гц)
<i>ре # (ми b )</i>	1	77,7817
<i>ре</i>		73,4162
<i>до # (ре b )</i>		69,2957
<i>до</i>		65,4064
<i>си</i>	Малая	61,7354
<i>ля # (си b )</i>		58,2705
<i>ля</i>		55
<i>соль # (ля b )</i>		51,913
<i>соль</i>		48,9995
<i>фа # (соль b )</i>		46,2493
<i>фа</i>		43,6536
<i>ми</i>		41,2035

Из всего светового спектра только малая его часть воспринимается человеческим глазом (табл. 2). Видимый спектр начинается от 400 ТГц, что соответствует красному цвету, до 790 ТГц, что соответствует фиолетовому цвету.

ТАБЛИЦА 2. Частоты видимого спектра

Цвет	Диапазон частот, ТГц
Фиолетовый	$\geq 667$
Синий	625–667
Сине-зеленый	588–625

Цвет	Диапазон частот, ТГц
Зеленый	545–588
Желто-зеленый	526–545
Желтый	508–526
Оранжевый	476–508
Красный	$\leq 476$

В MATLAB был разработан графический интерфейс пользователя (рис. 1) [1, 2]. На панели были расположены 14 объектов типа PushButton, соответствующих 14-и клавишам пианино. Справа от них – объект типа Axes для вывода цветowych изображений.

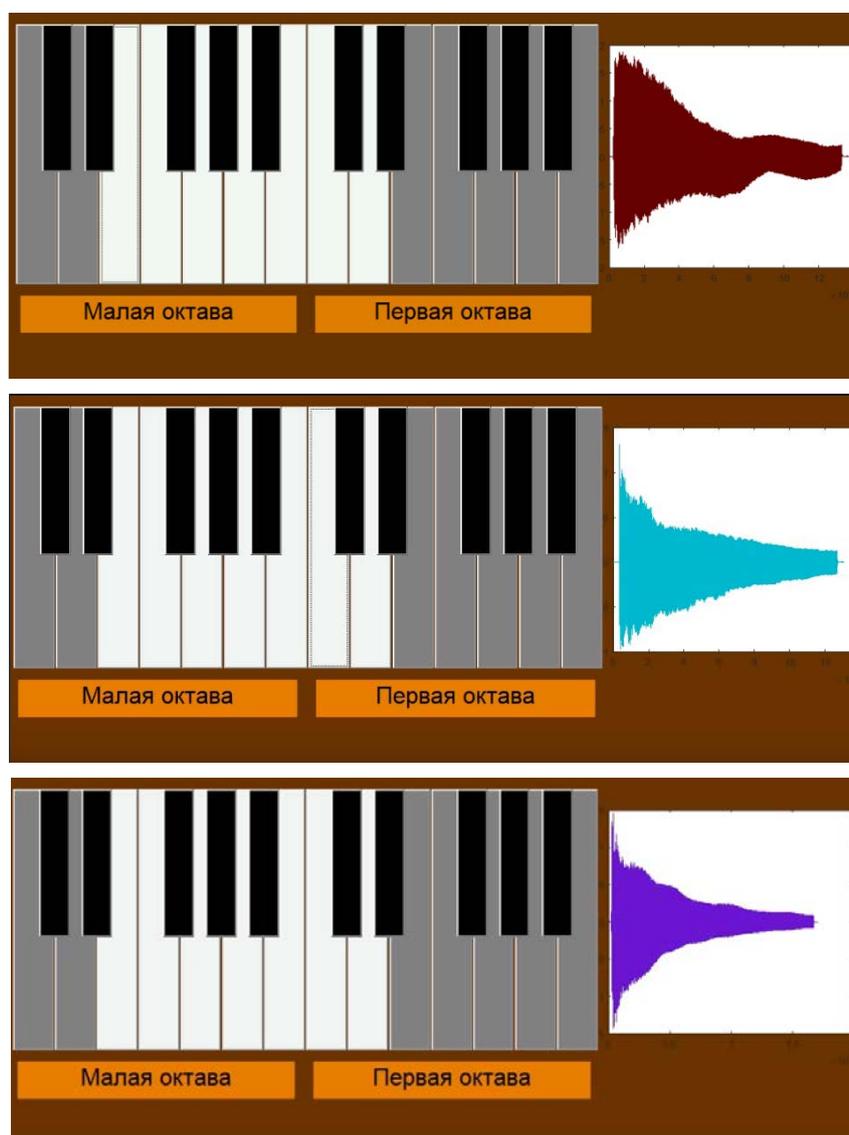


Рис. 1. Графический интерфейс пользователя

При нажатии клавиши воспроизводится звук определенной ноты и выводится изображение соответствующего по частоте цвета.

На рис. 2 представлен код, который выполняется при нажатии клавиши ноты Ми.

```
58 function pushbutton16_Callback(hObject, eventdata, handles)
59 - [mi,fs]=audioread('mi.mp3');
60 - plot(mi,'color',[0.4 0 0]);
61 - sound(mi,fs);
```

Рис. 2. Код, воспроизведение ноты Ми

Предварительно были записаны mp3-файлы со звучанием всех необходимых клавиш пианино.

В строке 59 считывается аудиофайл, который является записью звука ноты Ми.

В строке 60 написан код, который выводит график сигнала. Цвет графика задается параметром 'color' и значениями вектора RGB.

Код в строке 61 выводит звук соответствующей ноты.

Основные результаты работы:

1) Сравнительный анализ показал, что частота световых колебаний в  $10^{12}$  раз больше, чем звуковых.

2) Для наглядного представления результатов сравнения был реализован графический интерфейс в среде MATLAB.

#### Список использованных источников

1. Дьяконов В. П. MATLAB. Полный самоучитель. М.: ДМК Пресс, 2012. С. 591–658.
2. Солонина А. И., Меркучева Т. В., Бочарова Д. Б. Технология моделирования в MATLAB: учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГУТ, 2012. 80 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Степановым А. Б., СПбГУТ.*

**УДК 621.391.8**

**С. С. Гурьянов** (оператор научной роты,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**Т. В. Мухамадеев** (офицер дежурной смены,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЯЗИ**

*Радиосвязь в настоящее время является одним из главных родов связи, способных обеспечить управление войсками в различных условиях обстановки, в том числе самых сложных. Однако реализация всех положительных свойств радиосвязи возможна только при правильном планировании ее боевого использования. При этом весьма важным является умение оценить, насколько принятое решение является рациональным, а его реализация позволит выполнить поставленные задачи. С этой целью вводится понятие эффективности радиосвязи и рассчитываются определяющие ее показатели.*

*эффективность связи, мощность сигнала, диаграмма направленности, радиосвязь.*

В основе определения эффективности связи лежит уравнение передачи радиоканала [1]:

$$P_c = P_1 + \eta_{\phi 1} + G_1 + W_o + W_t + \xi_{\Pi} + \xi_c + \eta_{\phi 2} + G_2,$$

где  $P_c$  – мощность сигнала на входе приемника;  $P_1$  – мощность передатчика;  $\eta_{\phi 1}$  – КПД фидера передающей антенны;  $G_1$  – коэффициент усиления передающей антенны;  $W_o + W_t$  – ослабление сигнала на трассе и свободном пространстве;  $\xi_{\Pi} + \xi_c$  – коэффициенты согласования приемной антенны по поляризации и сопротивлению;  $\eta_{\phi 2}$  – КПД фидера приемной антенны;  $G_2$  – коэффициент усиления приемной антенны.

$G_1$  находится по формуле:

$$G_1 = G_{max} F^2(x),$$

где  $G_{max}$  – коэффициент усиления антенны для связи земными волнами, берется из справочника;  $F(x)$  – значение на диаграмме направленности известного излучателя.

Значение  $W_o + W_t$  выбираются из таблицы (рис. 1).

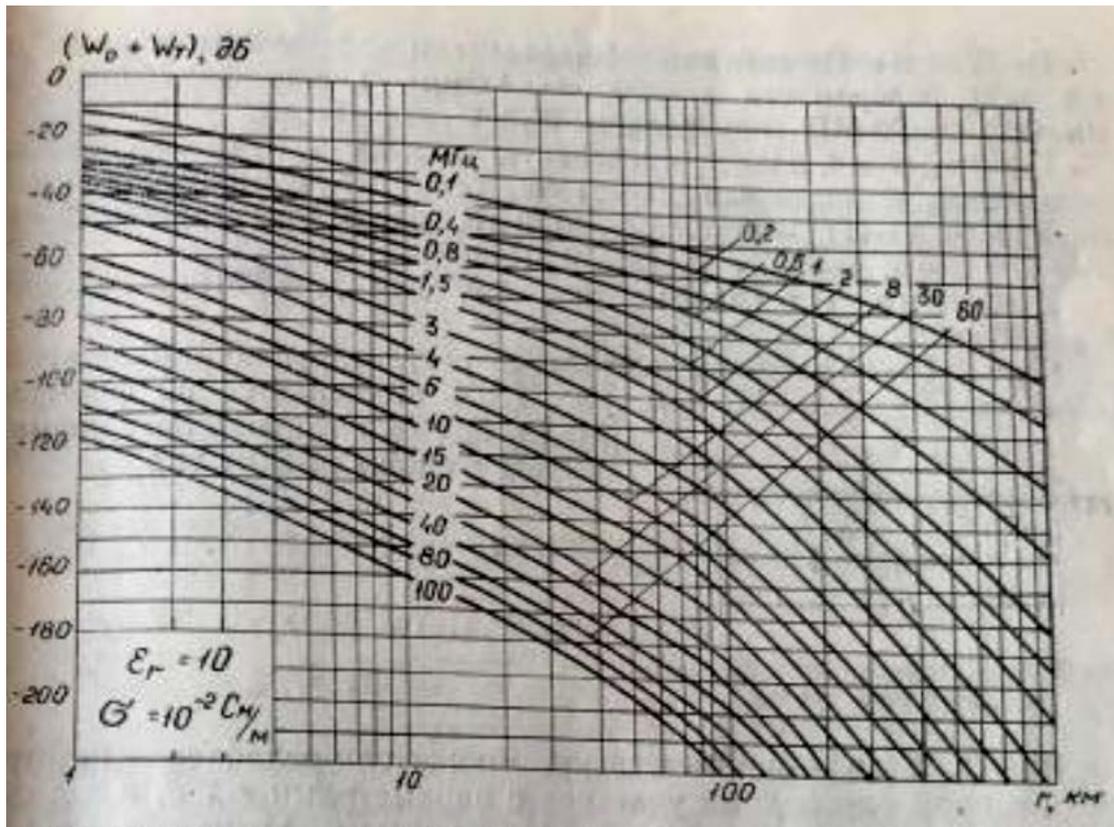


Рис. 1. График изменения ослабления сигнала

Далее находится мощность шумов:

$$P_{\text{ш}} = k_{\text{б}} T_a \Delta F,$$

где  $k_{\text{б}}$  – коэффициент Больцмана;  $T_a$  – шумовая температура антенны;  $\Delta F$  – полоса частот.

Шумовая температура антенны находится по формуле:

$$T_a = \eta_a \eta_{\text{ф}} T_{\text{п}},$$

где  $\eta_a \eta_{\text{ф}}$  – КПД антенно-фидерного устройства на приеме;  $T_{\text{п}}$  – яркостная температура внешних шумов, берется из справочника.

Зная мощность сигнала и мощность шумов, найдем превышение среднего уровня сигнала над средним уровнем помех:

$$Z = P_c - P_{\text{ш}}.$$

Далее, для функции эффективности, найдем параметр табулированного распределения:

$$\xi = \frac{Z - Z_{\text{доп}}}{\sigma},$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – допустимое превышение уровня сигнала над уровнем помех;  $\sigma$  – стандартное отклонение превышения уровня сигнала над уровнем помех.

В итоге, эффективность радиосвязи определяется функцией:

$$F(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\xi} e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Пример выполнения данного расчета в среде MathCad представлен на рис. 2.

$$\begin{aligned} G_{\text{пер}} &:= G_{\text{max}} \cdot X^2 = 0.675 \\ P_c &:= 10 \cdot \log(P) + 10 \cdot \log(0.8) + 10 \cdot \log(G_{\text{пер}}) + W + 10 \cdot \log(0.8) + 10 \cdot \log(0.8) + 10 \cdot \log(0.8) \\ P_c &= -141.554 \\ T_a &:= 0.8 \cdot 0.8 \cdot T_{\text{п}} = 5.12 \times 10^3 \\ P_{\text{ш}} &:= 10 \cdot \log(K_6 \cdot T_a \cdot \Delta F) = -151.966 \\ Z &:= P_c - P_{\text{ш}} = 10.412 \\ Z - Z_{\text{доп}} &= 7.412 \\ Q1 &:= 10^{\frac{Z - Z_{\text{доп}}}{10}} = 5.51 \\ Q2 &:= 10^{\frac{\sigma}{10}} = 7.079 \\ \xi_{\text{раз}} &:= \frac{Q1}{Q2} = 0.778 \\ \xi &:= 10 \log(\xi_{\text{раз}}) = -1.088 \\ \text{result} &= \frac{\int_{-\infty}^{\xi_{\text{раз}}} e^{\left(\frac{-t^2}{2}\right)} dt}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \\ \text{result} &= 0.782 \end{aligned}$$

Рис. 2. Расчет эффективности связи в MathCad

Имея диаграмму направленности (рис. 3), выполнен расчет эффективности радиосвязи для частоты 30 МГц.

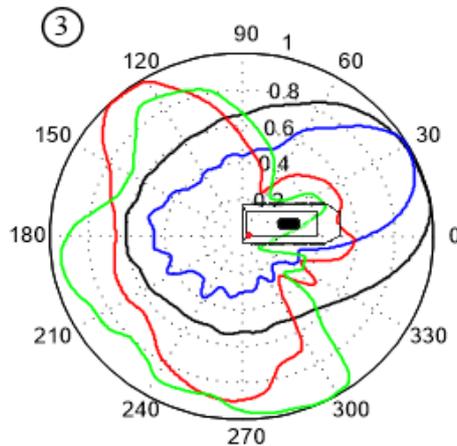


Рис. 3. Диаграмма направленности

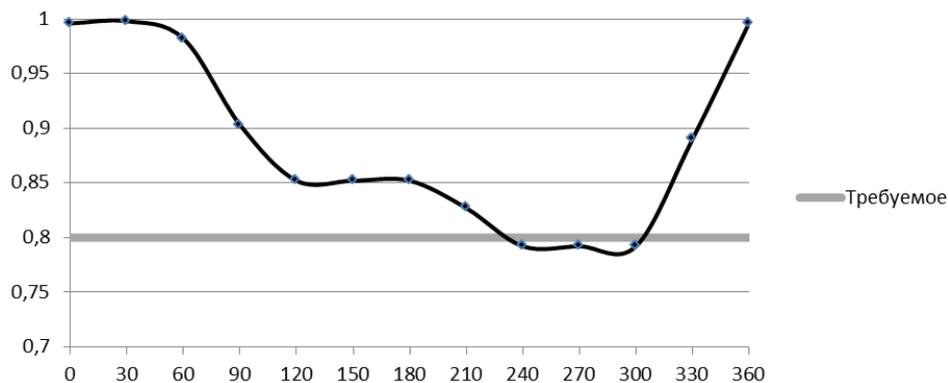


Рис. 4. Эффективность радиосвязи

График (рис. 4) иллюстрирует, что даже в условиях непреднамеренных помех обеспечить радиосвязь с требуемой эффективностью и во всех азимутальных направлениях просто невозможно. Это подчеркивает необходимость разработки современных средств и систем связи, позволяющих решить данную проблему.

#### Список использованных источников

1. Антонюк Л. Я., Игнатов В. В. Эффективность радиосвязи и методы ее оценки. СПб.: ВАС, 1994. С. 1–138.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Мешалкиным В. А.,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденног.*

УДК 621.371

**П. С. Зубицкий** (оператор научной роты,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**В. И. Комашинский** (доктор технических наук, профессор,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАМИРАНИЙ СИГНАЛОВ В СЕТЯХ 5G, РАБОТАЮЩИХ В ДИАПАЗОНЕ 5-100 ГГц

*В статье представлены результаты моделирования вероятности работы в условиях прямой видимости приемной и передающей антенн в диапазоне 5–100 ГГц.*

*5G технологии, сотовая связь, канал связи 5–100 ГГц, прямая видимость приемной и передающей антенн, городская среда.*

Разработка новых 5G систем, работающих на частотах до 100 ГГц, требует создания адекватной и точной модели канала связи для данных частот, поскольку существующая модель разработана для канала связи для частот не выше 6 ГГц. Особый интерес представляет модель канала связи для работы в городской среде и, в частности, внутри помещений, поскольку в данных средах распространения радиоволн сконцентрировано наибольшее количество устройств пользователей.

Первая модель вероятности распространения в условиях работы прямой видимости приемной и передающей антенн, это текущая модель 3GPP/ITU.

$$p(d) = \min\left(\frac{d_1}{d}, 1\right) (1 - e^{-d/d_2}) + e^{-d/d_2}, \quad (1)$$

где  $d$  – двумерное расстояние в метрах;  $d_1$  и  $d_2$  – оптимизируемые параметры в соответствии с выбранной средой распространения.

Следующая модель – модель, разработанная Нью-Йоркским Университетом.

$$p(d) = \left(\min\left(\frac{d_1}{d}, 1\right) (1 - e^{-d/d_2}) + e^{-d/d_2}\right)^2, \quad (2)$$

где  $d_1$  и  $d_2$  также являются оптимизируемыми параметрами.

В терминах средней квадратичной ошибки отклонения (СКО) вероятности условия прямой видимости прямой и передающих антенн моделей и опытных данных, модель, разработанная Нью-Йоркским Университетом имеет самую низкую СКО, но разница относительно других моделей невелика. Поскольку текущая 3GPP модель для условий работы в городской застройке макро-масштаба (Ura) удовлетворяет реальным измерениям и также включает поддержку расположения устройств пользователей

в трехмерной плоскости, рекомендуется использовать данную модель для частот более 6 ГГц.

Модель 3GPP UMa описывается следующим образом:

$$p(d) = \left( \min\left(\frac{18}{d}, 1\right) (1 - e^{-d/63}) + e^{-d/63} \right) (1 + C(d, h_{UT})), \quad (3)$$

где  $h_{UT}$  – высота расположения устройства пользователя в метрах.

$$C(d, h_{UT}) = \begin{cases} 0, & h_{UT} < 13 \text{ м} \\ \left(\frac{h_{UT}-13}{10}\right)^{1.5} g(d), & 13 \leq h_{UT} \leq 23 \text{ м}, \end{cases} \quad (4)$$

$$g(d) = \begin{cases} (1.25e^{-6})d^2 \exp\left(-\frac{d}{150}\right), & d > 18 \text{ м} \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (5)$$

ТАБЛИЦА 1. Сравнение моделей вероятности работы в условиях прямой видимости в городской среде макро-масштаба

Модели канала связи	$d_1$	$d_2$	СКО
3GPP UMa	18	63	0.020
Модель d1/d2	20	66	0.017
НЙУ	20	160	0.015

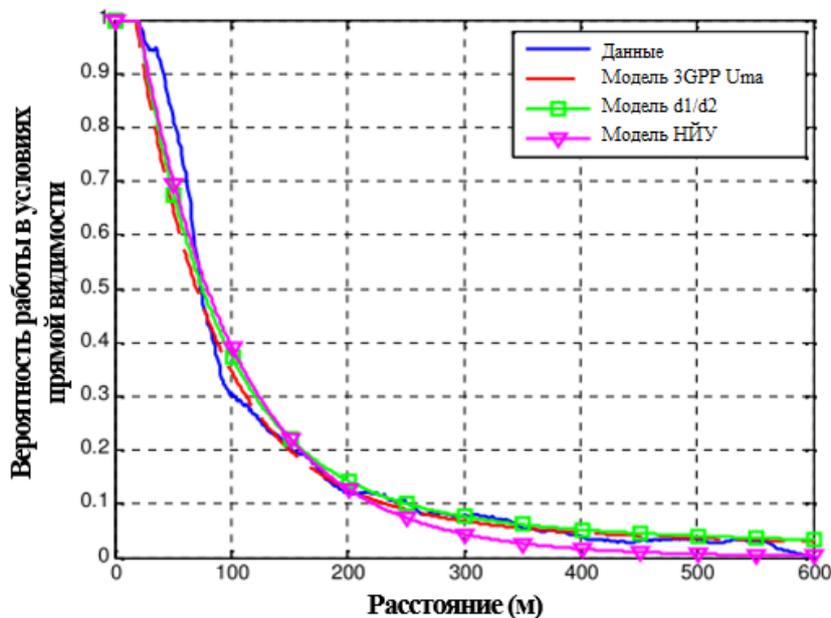


Рис. 1. Вероятность работы в условиях прямой видимости в городской среде макро-масштаба для трех моделей

При режиме среды Umi (городская застройка микро-масштаба) обнаружено, что формула вероятности работы в условиях прямой видимости передающей и приемной антенн 3GPP удовлетворяет работе на частотах

выше 6 ГГц. Оптимизированная  $d_1/d_2$  модель улучшила свои показатели, тем не менее, ошибки между реальными данными и моделью вероятности работы в условиях прямой видимости 3GPP на всех расстояниях малы. Данная формула эквивалентна (1) при  $d_1 = 18$  м и  $d_2 = 36$  м и расстоянием  $d$ , замененным на двумерное расстояние до внешней стены для пользователей, находящихся внутри помещений. Отметим, что модель 3GPP  $U_{mi}$  не является функцией высоты расположения устройств пользователей, в отличие от модели  $U_{ma}$ .

ТАБЛИЦА 2. Сравнение моделей вероятности работы в условиях прямой видимости в городской среде микро-масштаба

Модели канала связи	$d_1$	$d_2$	MSE
3GPP $U_{Ma}$	18	36	0.023
Модель $d_1/d_2$	20	39	0.001
НЙУ	22	100	0.026

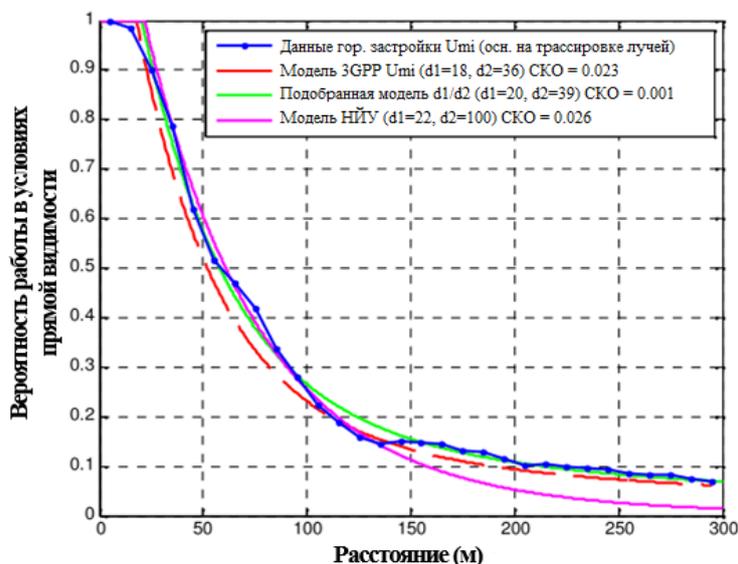


Рис. 2. Вероятность работы в условиях прямой видимости в городской среде микро-масштаба для трех моделей

Подтверждено, что из трех моделей лучше всего соответствует природе распространения радиоволн в офисных помещениях следующая модель:

$$P_{LOS} = \begin{cases} 1, & d \leq 1.2 \\ \exp(-(d - 1.2)/4.7), & 1.2 < d < 6.5 \\ \exp(-(d - 6.5)/32.6) \cdot 0.32, & d \geq 6.5 \end{cases} \quad (6)$$

Результаты показаны в табл. 3 и на рис. 3. Как видно из представленных данных, новая модель в среднем хорошо ложится на опытные данные и может быть использована для расчетов работы 5G сетей внутри помещений

ТАБЛИЦА 3. Сравнение моделей вероятности работы в условиях прямой видимости в помещениях

Модели	Оригинал	Корректировка\обновление	СКО
Модель НЙУ	$P_{Los} = \begin{cases} 1, & d \leq 18 \\ \exp(-(d - 18)/27), & 18 < d < 37 \\ 0.5, & d \geq 37 \end{cases}$	$P_{Los} = \begin{cases} 1, & d \leq 1.1 \\ \exp(-(d - 1)/4.9), & 1.1 < d < 9.8 \\ 0.17, & d \geq 9.8 \end{cases}$	0.0499
Модель WINNER II (B3)	$P_{Los} = \begin{cases} 1, & d \leq 10 \\ \exp(-(d - 10)/45), & d > 10 \end{cases}$	$P_{Los} = \begin{cases} 1, & d \leq 1 \\ \exp(-(d - 1)/9.4), & d > 1 \end{cases}$	0.0572
Модель WINNER II (A1)	$P_{Los} = \begin{cases} 1, & d \leq 2.5 \\ 1 - 0.9(1 - (1.24 - 0.61\log_{10}(d))^3)^{1/3}, & d > 2.5 \end{cases}$	$P_{Los} = \begin{cases} 1, & d \leq 2.6 \\ 1 - 0.9(1 - (1.16 - 0.4\log_{10}(d))^3)^{1/3}, & d > 2.6 \end{cases}$	0.0473
Новая модель	Не определена	$P_{Los} = \begin{cases} 1, & d \leq 1.2 \\ \exp(-(d - 1.2)/4.7), & 1.2 < d < 6.5 \\ \exp(-(d - 6.5)/32.6) \cdot 0.32, & d \geq 6.5 \end{cases}$	0.0449

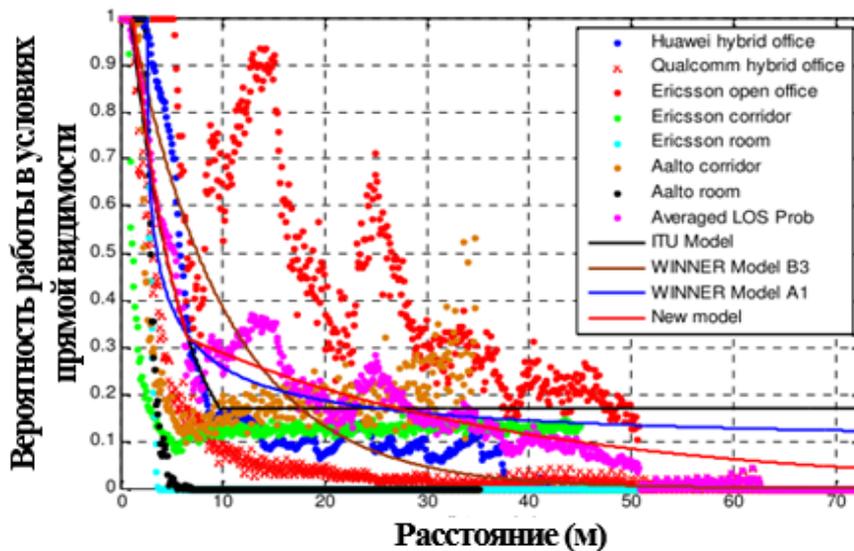


Рис. 3. Вероятность работы в условиях прямой видимости внутри помещений для трех видов моделей

#### Список использованных источников

1. Комашинский В. И. Основы беспроводной передачи данных. Архитектура и модели. Palmarium Academic Publishing (2014-12-15). 285 с.
2. 5G Channel Model for bands up to 100 GHz. Contributors: Aalto University, AT&T, BUPT, CMCC, Ericsson, Huawei, Intel, KT Corporation, Nokia, NTT DOCOMO, New York University, Qualcomm, Samsung, University of Bristol, University of Southern California.

УДК 621.396.99

**В. В. Иванников** (студент, СПбГУТ)

### АНАЛИЗ АЛГОРИТМА ОРГАНИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЕТЕЙ LTE И Wi-Fi

*В статье приведен анализ алгоритма взаимодействия сетей LTE и Wi-Fi, в рамках организации гетерогенной сети. Так как мобильный трафик растет быстрыми темпами, сеть Wi-Fi является одним из действенных решений, отвечающим на данный спрос. Основной акцент делается на проблеме перераспределения абонентов из одной сети в другую. Рассмотрены два типа пользовательских данных: голос и передача данных. В качестве решения рассмотрен алгоритм, основанный на работе единого контроллера, и как с помощью него можно улучшить общее восприятие работы данной сети со стороны пользователя.*

*LTE, Wi-Fi, центральный контроллер, алгоритм, услуги, данные.*

Гетерогенные сети состоят из множества радиотехнологий, позволяющих конечному пользователю работать с определенной из них, и при этом производить измерения и процедуры, относящиеся к другим технологиям. Каждая из радиотехнологий имеет свои значения параметров и характеристик, таких как пропускная способность, обеспечиваемое покрытие сети, требования к транспортной сети, характеристики качества обслуживания и многое другое. В анализе Cisco VNI показано, что общий объем потребляемого трафика в мобильных сетях к 2021 году достигнет 49 Эксабайт в месяц [1]. На текущий год эта цифра составляет 17 Эксабайт в месяц. Каждый год на рынке появляются новые устройства, от разных производителей, с различными требованиями, параметрами и функциями. При этом внедрение каждого такого устройства влечет за собой рост мирового трафика. Операторы должны внимательно следить за тенденциями для осуществления своевременных улучшений в своих сетях, так как обслуживание увеличенного объема данных может вызывать трудности у операторов связи. Соответственно, один из способов решения этой проблемы может заключаться в обеспечении взаимной работы различных технологий радиодоступа, между которыми абонент может свободно переключаться. В данной статье предложен алгоритм совмещения двух технологий: LTE и Wi-Fi.

Базовые станции eNodeB стандарта LTE предназначены для обеспечения значительной площади покрытия, тогда как точки доступа Wi-Fi могут предоставлять высокие пропускные скорости в местах высокого спроса на трафик. В местах работы обеих радиотехнологий конечный абонент может быть привязан к одной из них. Более того, пользовательский трафик может перераспределяться из одной технологии в другую для балансировки нагрузки [2].

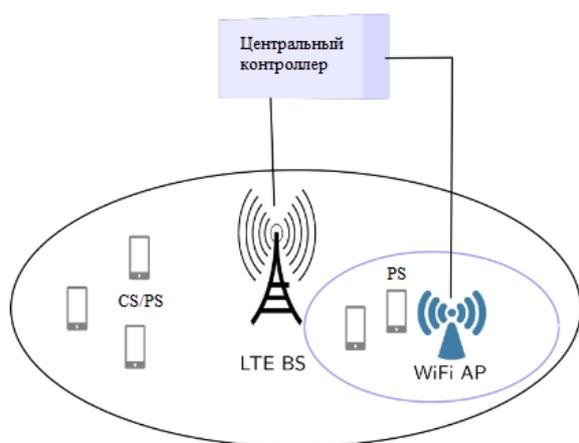


Рисунок.

Архитектура гетерогенной сети LTE/WiFi

Рассматриваемая сеть состоит из базовой станции eNodeB стандарта LTE, точки доступа Wi-Fi и центрального контроллера (рис.). Выбор радиотехнологии и принятие решения по распределению нагрузки принимаются центральным контроллером при оценке общего состояния сети. Рассмотрим два типа пользовательских данных: голос и передача данных. В сети LTE отсутствует стандартная реализация голосового соединения с коммутацией каналов (CS) стандартов GSM/UMTS. Так как сеть LTE полностью построена на основе протокола IP, то, следовательно, и голосовые услуги инкапсулируются в IP-пакеты.

Примем, что существует сеть LTE, и смартфоны пользователей поддерживают технологию VoLTE. Для упрощения далее под технологией VoLTE будем понимать CS-услугу.

В качестве оценок сети используем два показателя: общая пропускная способность и вероятность блокировки пользователя, запрашивающего услугу. Целью является максимизация общей пропускной способности в условиях ограничения вероятности блокировки запроса. Через определённый заданный промежуток времени центральный контроллер запускает механизм оценки состояния сети и выбора оптимальной радиотехнологии на данный момент. Реализуемая политика содержит пороговые структуры.

Состояние системы может быть представлено множеством  $s$ , состоящим из трех элементов  $s = (i, j, k)$ , где  $i$  – количество CS-абонентов в сети LTE,  $j$  – количество PS-абонентов (соединение с коммутацией пакетов) в сети LTE,  $k$  – количество PS-абонентов в сети Wi-Fi. Подключение или отключение абонента в системе определим как события.  $E_1$  – прибытие нового абонента с CS-услугой в систему,  $E_2$  – прибытие нового абонента с PS-услугой в систему,  $E_3$  – отключение абонента с CS-услугой от сети LTE,  $E_4$  – отключение абонента с PS-услугой от сети LTE,  $E_5$  – отключение абонента с PS-услугой от точки доступа Wi-Fi. Как только происходит то или иное событие центральный контроллер, основываясь на типе произошедшего события, осуществляет набор заданных действий (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Набор действий, осуществляемый контроллером

Название действия	Описание действия
$A_1$	Блокировать подключение нового пользователя или не предпринимать никаких действий во время отключения абонента.
$A_2$	Назначение ресурсов на CS/PS-услугу при подключении абонента в сети LTE.
$A_3$	Назначение ресурсов на PS-услугу при подключении пользователя в сети Wi-Fi.
$A_4$	Назначение ресурсов CS-абоненту в сети LTE и перераспределение одного PS-абонента в сеть Wi-Fi.
$A_5$	Перенаправить одного PS-абонента в другую сеть (из которой произошло отключение абонента).

Зададим оценки, определяющие эффективность системы. Пусть  $R_{L,V}$  и  $R_{L,D}$  это пропускные способности для CS и PS-услуг в сети LTE соответственно.  $R_{W,D}(k)$  – пропускная способность  $k$ -абонентов в сети Wi-Fi. Для упрощения определим, что пропускная способность, выделяемая CS и PS-абонентам в сети LTE, является константой. Эффективность системы, в определенный момент времени, определяется как общая пропускная способность в сетях LTE/Wi-Fi.

$$r(s; E_x; A_y) = iR_{L,V} + jR_{L,D} + kR_{W,D}(k) \rightarrow \max.$$

Максимизация данного значения является одним из критериев оценки эффективности.

Второй оценкой является вероятность блокировки услуги. Будем рассматривать блокировку только CS-услуг. Зададим следующее выражение:

$$c(s; E_x; A_y) = \begin{cases} 1, & \text{если CS абонент получил отказ} \\ 0, & \text{в другом случае} \end{cases}$$

Зададим значения, определяющие общие пределы работы сетей. Предполагаем, что для сети LTE общее количество абонентов  $(i + j) \leq C$ , где  $C$  – общее количество ресурсов системы. Для сети Wi-Fi пределом является  $k \leq W$ , где  $W$  – максимальное количество абонентов  $k$ , которых может обслуживать сеть.

Как уже было сказано, центральный контроллер принимает решения, основываясь на пороговой структуре. Соответственно, каждый раз при прибытии нового абонента или отсоединении существующего контроллер занимается перерасчетом. Зададим данные, являющиеся входными для работы данного алгоритма (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. Входные данные алгоритма

Название параметра	Описание параметра
$\alpha_v$	Скорость поступления голосовых запросов
$\alpha_d$	Скорость поступления запросов данных
$\gamma_v$	Скорость выделенного голосового сервиса
$\gamma_d$	Скорость выделенного сервиса с PS
$R_{L,V}$	Пропускная способность CS услуги одного абонента в LTE
$R_{L,D}$	Пропускная способность PS услуги одного абонента в LTE
$R_{W,D}(k)$	Пропускная способность k-абонентов WiFi

Каждый заданный период  $t$  контроллер пересчитывает скорости подключения/отсоединения абонентов, и определяет новые пороги.

Представим работу контроллера в виде алгоритма.

Входные данные:  $\alpha_v, \alpha_d, \gamma_v, \gamma_d, R_{L,V}, R_{L,D}, R_{W,D}(k)$ .

Вычисляем порог  $k_{th}$ , такой, что если  $k > k_{th}$ , то пропускная способность абонента с услугой PS в LTE больше, чем пропускная способность абонента с услугой PS в сети Wi-Fi.

Вычисляем пороги  $v(j, k)$  и  $v_c(j, k)$  для случаев  $(i + j) = C$  и  $(i + j) < C$  в зависимости от скорости прибытия абонентов с услугами PS и скорости выделенных услуг.

При прибытии нового абонента с запросом на CS услугу

Если  $(i + j) < C$ , тогда

Выбрать  $A_1$ , если  $i > v_c(j, k)$

Выбрать  $A_2$ , если  $i < v_c(j, k)$  и  $k \geq k_{th}$

Выбрать  $A_4$ , в другом случае

В другом случае

Выбрать  $A_4$ , если  $i < v_c(j, k)$

Выбрать  $A_1$

При прибытии нового абонента с запросом на PS услугу

Если  $(i + j) < C$ , тогда

Выбрать  $A_3$ , если  $k < k_{th}$

Выбрать  $A_2$

В другом случае

Выбрать  $A_3$ , если  $k < W$

Выбрать  $A_1$

При каждом отсоединении абонента из сети LTE (WiFi) выполнить:

Выбрать  $A_1(A_5)$  если  $k \leq k_{th}$

Выбрать  $A_5(A_1)$  в другом случае

Соответственно, при каждом перерасчете центральный контроллер определяет значения  $r(s; E_x; A_y)$  и  $c(s; E_x; A_y)$  для оценки эффективности сети. С точки зрения вероятности блокировки запроса услуги данный алгоритм аналогичен работе сети, развернутой без него. То есть при увеличении количества абонентов  $i$  вероятность блокировки будет практически одинаковой [3]. Основным выигрыш будет наблюдаться с точки зрения максимизации общей пропускной способности сети. Ключевой момент состоит в том, что для данной максимизации количество PS-абонентов в сети важнее количества CS-абонентов.

В среднем битовая скорость голосовой услуги в LTE составляет 20 Кбит/с, а для данных этот показатель составляет 3 Мбит/с. Следовательно, вклад, который вносят абоненты с PS-услугами в общую пропускную способность сети, является гораздо большим, чем вклад от абонентов с CS-услугами. В данном алгоритме мы стараемся не сохранять ресурсы для голосовых абонентов. Например, если  $i$  мало, то оптимальным действием в состоянии  $(i + j) = C$ , будет  $A_4$ . Так мы больше нагружаем сеть Wi-Fi, оставляя ресурсы в LTE. Когда количество абонентов  $i$  станет большим, и мы не сможем перенаправлять абонентов в Wi-Fi, сеть LTE не сохраняет ресурсы, и, следовательно, может заблокировать новый запрос. Естественно, это приведет к увеличению количества блокировки запросов CS-услуг. Однако, так как сохраняется возможность перенаправления пользователей из одной сети в другую, общая суммарная вероятность бло-

кировки CS-услуги не будет превышать значение, характерное для стандартно развернутой сети.

Рассмотренный алгоритм вносит преимущества при развертывании гетерогенной сети LTE/Wi-Fi, такие как перераспределение абонентов из одной сети в другую, обеспечение более высокой общей пропускной способности сети, а так же сохранения требуемого порога по вероятности блокировки услуг. Однако для его реализации также следует учесть дополнительные аспекты: использование центрального контроллера, управляющего всеми данными сотами, появление в зоне обслуживания данной сети абонентов со смартфонами, не поддерживающими технологию VoLTE, и возможные потери на транспортной сети Wi-Fi.

#### Список использованных источников

1. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update. 2017. 35 p.
2. Xincheng Zhang. LTE Optimization Engineering Handbook . 2017. 834 p.
3. Karandikar A., Akhtar N., Mehta M. Mobility Management in LTE Heterogeneous Networks. 2017. 96 p.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Симоновой О. А., СПбГУТ.*

**УДК 621.396.99**

**А. М. Ислангириева, В. А. Мыльникова** (студентки, СПбГУТ)

### ДОБАВЛЕНИЕ Wi-Fi КАК СЕГМЕНТА ГЕТЕРОГЕННОЙ СЕТИ

*Рассматривается проблема перегрузки сетей мобильной связи. Проведен анализ существующих решений этой проблемы методом разгрузки сети. Проведено сравнение технологий разгрузки сети и сделан выбор Wi-Fi. Представлена архитектура сети доверенного доступа с публичной сетью Wi-Fi. Смоделирована гетерогенная сеть UMTS/Wi-Fi с помощью пакета OPNET Modeler и показано, что пользовательский трафик в гетерогенной сети обслуживается более эффективно.*

*UMTS, Wi-Fi, Wi-Fi Offload, OPNET Modeler.*

С каждым годом трафик передачи данных в сетях сотовой связи растет, создавая серьезную нагрузку на сотовые сети. Возрастающая потребность в услугах передачи данных приводит к недостатку ограниченных ресурсов сетей мобильной связи, что влечет за собой ухудшение качества услуг. В качестве решения данной проблемы часто предлагается разгрузка сетей мобильной связи – перевод трафика из одной сети в другие сети

с меньшим размером сот. Выгрузка мобильных данных – это использование дополнительных сетевых технологий для передачи данных, изначально предназначенных для сети сотовой связи. Для реализации разгрузки на сегодняшний день могут быть применены два основных варианта: использование сот малого радиуса (*Small Cells*) и технология Wi-Fi.

Малые соты (*Small Cells*) – маломощные беспроводные точки доступа, которые имеют радиус действия от 10 метров до нескольких километров. Другой вариант решения указанной проблемы – применение технологии Wi-Fi Offload: терминал пользователя переходит на ближайшую доверенную сеть Wi-Fi, тем самым разгружает мобильную сеть, сохраняя спектр услуг и тарификацию оператора.

В ходе исследования было проведено сравнение методом сценариев двух вариантов реализации разгрузки сети с учетом качественных характеристик (рис. 1). В качестве критериев были выбраны: экономичность (отражает стоимость оборудования и работ по его монтажу и конфигурации); скорость передачи данных; интерференция с основной сетью (отражает использование частотного диапазона); энергоэффективность; абонентская емкость (количество абонентов, обслуживаемых одной точкой доступа или малой сотой). Все критерии учитывались с одинаковой важностью. С учетом превалирования трафика передачи данных в современном пользовательском трафике разгрузка с использованием Wi-Fi Offload является предпочтительной.

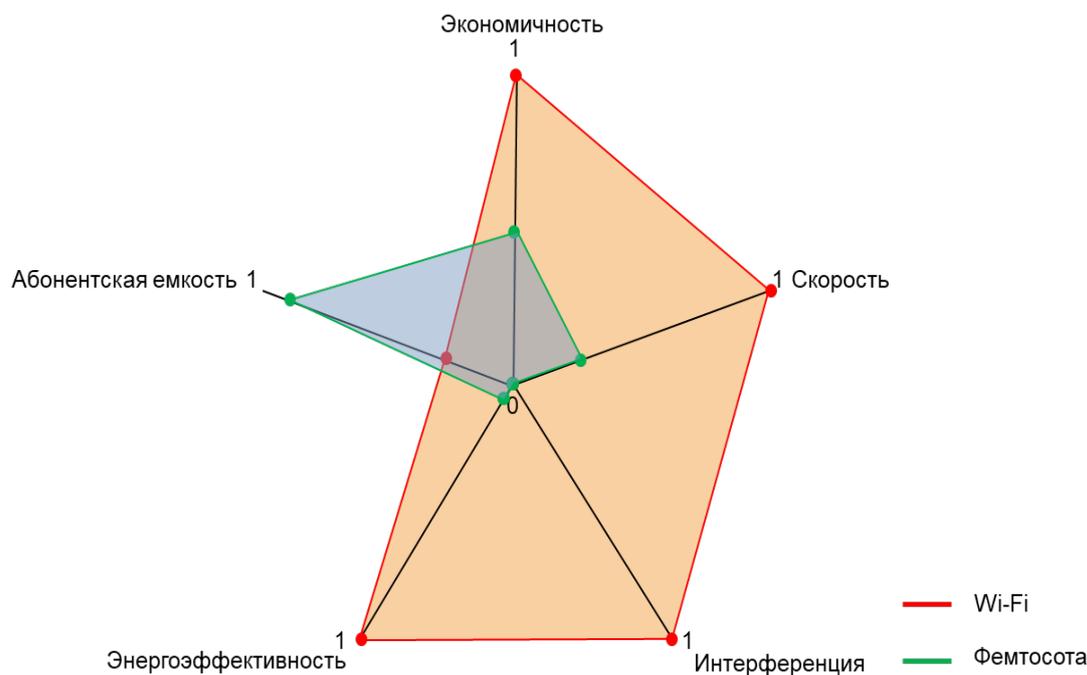


Рис. 1. Сравнение технологий разгрузки мобильной сети методом сценариев

На рис. 2 представлена архитектура гетерогенной сети UMTS/Wi-Fi, которая включает в себя несколько новых интерфейсов для беспроводной проверки подлинности и целостности IP-сессии.

К данному типу интерфейсов относится AAA-сервер (*Authentication, Authorization, Accounting* – Аутентификация, авторизация, учет), который отвечает за инициацию авторизации, аутентификации и учета абонентов, и OCS (от англ. *Online Charging System* – сервер кредитного мониторинга в режиме реального времени), который предоставляет биллинговые услуги, контролирует баланс абонента, обрабатывает информацию о начислениях и списаниях средств, осуществляет подсчет объема потребленных услуг.

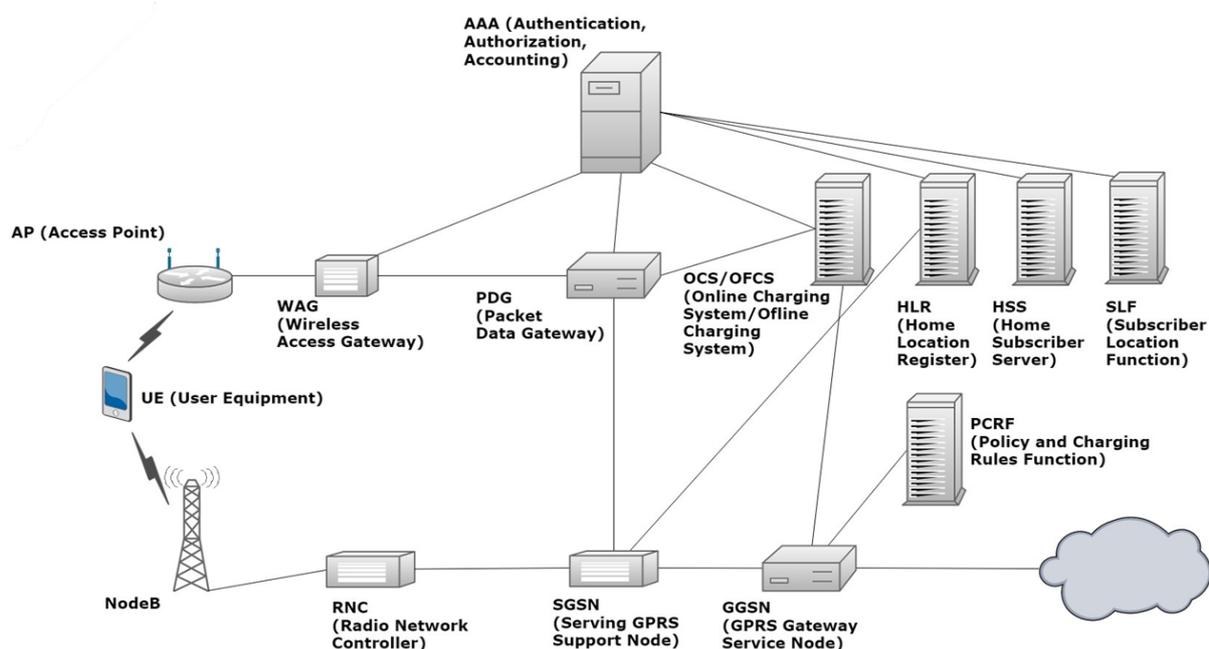


Рис. 2. Архитектура гетерогенной сети Wi-Fi/UMTS

Моделирование гетерогенной сети Wi-Fi/3G проводилось в пакете моделирования OPNET Modeler. Чтобы построить сеть на базе технологий Wi-Fi и UMTS были подключены следующие компоненты сети UMTS: NodeB (базовая станция), RNC (*Radio Network Controller* – контроллер сети радиодоступа), SGSN (*Serving GPRS Support Node* – обслуживающий узел поддержки GPRS) и GGSN (*GPRS Gateway Support Node* – шлюзовой узел поддержки GPRS), HUB (*Ethernet*-концентратор), серверы для создания нагрузки (*web, email, ftp*). Для реализации Wi-Fi использовались компоненты: AP (*Access Point* – Точка доступа), WAG (*Wireless Application Gateway* – шлюз беспроводных приложений), PDG (*Packet Data Network Gateway* – сетевой шлюз пакетной передачи данных), серверы (AAA, HLR, HSS). Модельная сеть представлена на рис. 3.

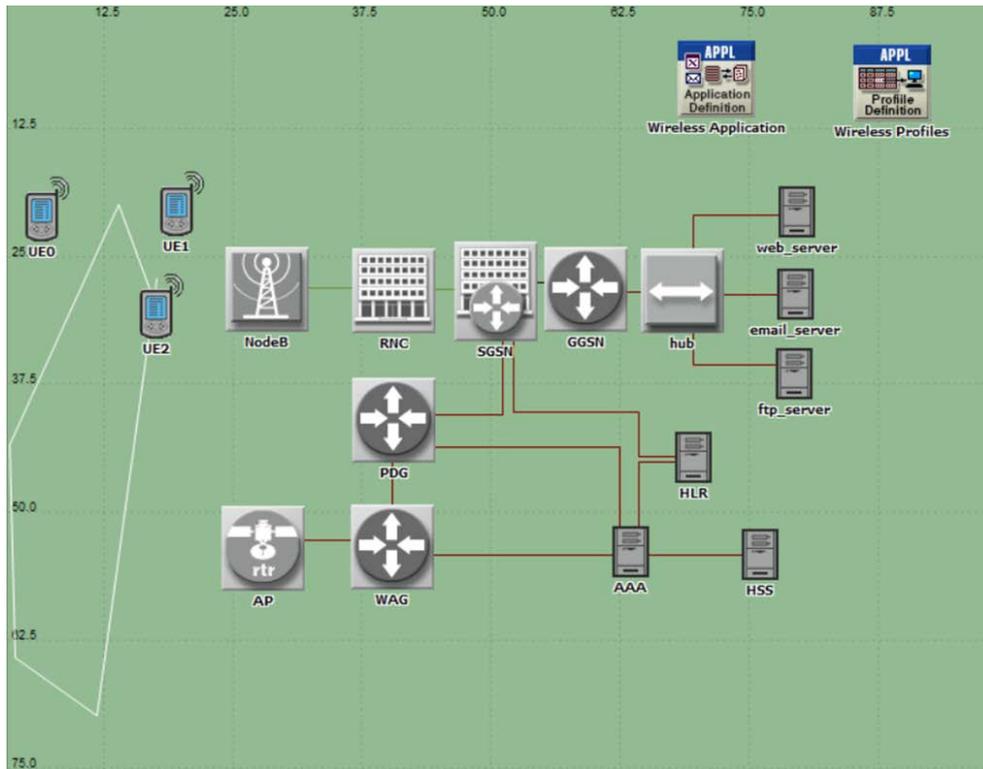


Рис. 3. Схема модели гетерогенной сети Wi-Fi/UMTS

После задания всех параметров узлов, создания нагрузки и конфигурации необходимых элементов было проведено моделирование гетерогенной сети Wi-Fi/UMTS.

В результате моделирования были получены графики пропускной способности восходящих и нисходящих линий связи узла SGSN для сети UMTS (рис. 4) и гетерогенной сети UMTS/Wi-Fi (рис. 5).

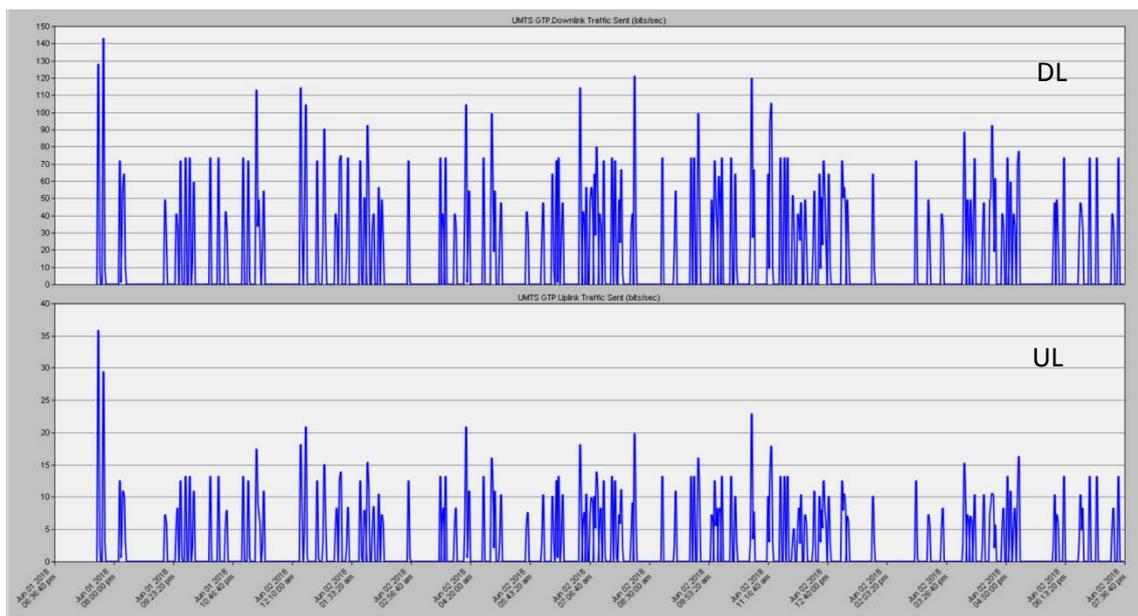


Рис. 4. График пропускной способности узла SGSN сети стандарта UMTS

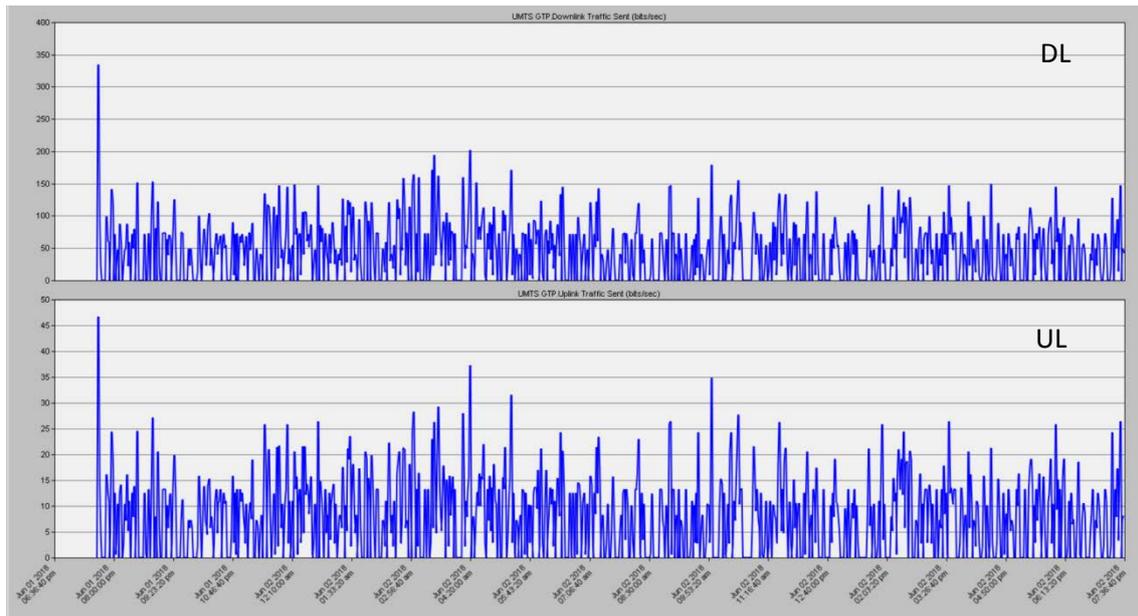


Рис. 5. График пропускной способности узла SGSN гетерогенной сети UMTS/Wi-Fi

С учетом создаваемых нагрузок для трех абонентов средняя нагрузка на узел SGSN составляет:

- 1) Сеть стандарта UMTS: DL = 130 бит/с; UL = 29 бит/с;
- 2) Гетерогенная сеть UMTS/Wi-Fi: DL = 240 бит/с; UL = 40 бит/с.

Таким образом, можно сделать вывод, что с добавлением сегмента Wi-Fi к сети стандарта UMTS происходит увеличение пропускной способности восходящего канала на 25 %, а нисходящего канала – на 45 %.

#### Список использованных источников

1. Колыбельников А. И. Обзор технологий беспроводных сетей // Труды Московского физико-технического института. 2012. Т. 4. № 2.
2. Тарасов В. Н., Коннов А. Л., Ушаков Ю. А. Анализ и оптимизация локальных сетей связи и сетей связи с помощью программной системы OPNET Modeler // Вестник ОГУ. Июнь 2006. Т. 2. № 6.
3. Ледовский К. Разгрузка сетей мобильной связи за счет перенаправления трафика данных в Wi-Fi-сети // Технологии и средства связи. 2010. № 4.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Симоновой О. А., СПбГУТ.*

УДК 004.81

Д. А. Караваяев (магистр, Университет ИТМО)

## ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ КРОПОТОВА-ПАХОМОВА

*В статье представлены результаты исследования реалистической нейронной сети Кропотова-Пахомова. Будет описан эффект частичной синхронизации сети, обнаруженный в моментах близких к смене динамических режимов. Для поиска и описания подобных кластеров будет представлен алгоритм на основе вейвлет-дивергенции Йенсена-Шеннона.*

*реалистическая нейронная сеть, нелинейная динамическая система, вейвлет-преобразование, вейвлет-дивергенция.*

На данный момент отчетливо выделяются два тренда в области изучения моделей нейронных сетей. Первый, который является доминирующим, это применение нейронных сетей в прикладных задачах, таких как распознавание образов, регрессионный анализ, классификация и так далее. В основном, модели, которые используются для решения подобных задач, не имеют прямого отношения к физиологическим процессам, протекающим в мозге. Вторым направлением является построение и изучение свойств моделей, приближенных к реальным процессам в нервной системе. В первом случае, модели именуются искусственными, а во втором реалистическими, нейронными сетями.

В представленной работе главным объектом исследования является модифицированная модель реалистической нейронной сети Кропотова-Пахомова (НС) [1]. Формально НС представляет из себя *полносвязный граф* на  $n$  вершинах и  $n(n-1)/2$  ребрах, с которым сопоставлены наборы эволюционирующих в дискретном времени  $t$  характеристик. Перечислим эти характеристики с разностными уравнениями, задающими их динамику (индексы  $i, j$  нумеруют нейроны и  $\delta_{ij}$ -символ Кронекера):

1. Потенциал  $P_i[t]$  – основная величина для  $i$ -го нейрона (1):

$$P_i[t+1] = (1-\alpha)P_i[t] + \frac{1}{\sum_{j=1}^n N_j[t]+1} \sum_{i=1}^n ((x_i^1[t] + x_2^1[t])W_{ij}^0[t] - \delta_{ij}\beta N_j[t]) + S_i[t].$$

2. Отклик (активность) нейрона  $N_i[t]$  (2):

$$N_i[t] = \frac{1 + \tanh\{\gamma(P_i[t] - h_i)\}}{2}.$$

3. Активатор  $x_i^1[t]$  и депрессант  $x_i^2[t]$  (3, 4):

$$\begin{aligned}x_i^1[t+1] &= A_1 x_i^1[t] + B_1 N_i[t] + C_1 \\x_i^2[t+1] &= A_1 x_i^2[t] - B_2 N_i[t] + C_2\end{aligned}$$

4. Синаптическая связь  $W_{ij}^0[t]$  между  $i$ -м и  $j$ -м нейроном (5):

$$W_{ij}^0[t+1] = (1-\mu)W_{ij}^0[t] + \nu \sum_{k=1}^m N_i[t-k] \sum_{k=1}^m N_j[t-k].$$

Отличие модели НС, изучаемой в этой статье, от оригинала состоит в следующих пунктах:

1) Использование в качестве динамического уравнения для синаптических весов  $W_{ij}^0[t]$  (5) симметричного *корреляционного правила обучения Богданова-Хебба* [2, 3].

2) Использование сигмоидальной функции активации (2), что позволяет контролировать величину отклика нейрона на изменение его потенциала, изменяя параметр  $\gamma$ .

При изучении свойств НС Кропотова-Пахомова вида (1)–(5) число нейронов было выбрано равным  $n = 64$ , задержка  $m = 5$ , параметры  $\gamma = 3.2$  и для всех  $i$   $h_i = 2.0$ . Значения параметров  $\mu$ ,  $\nu$ ,  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  и сигнал внешнего стимула  $S_i[t]$  взяты из работы [2], где исследовалась иная модификация сети Кропотова-Пахомова. В начальный момент времени  $t = 0$  все динамические характеристики сети нулевые.

Параметры  $\alpha$  и  $\beta$  являются варьируемыми и определяют степень *диссипации* потенциала и влияния отклика на его значение соответственно. При различных значениях ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) НС может находиться в различных *динамических режимах (фазах)*, которые определяют характер эволюции откликов нейронов  $N_i[t]$ .

Динамический режим может принадлежать к одному из следующих типов:

1) Синхронный неперіодический. Все отклики  $N_i[t]$  эволюционируют скоррелированно неперіодически.

2) Асинхронный неперіодический. Существуют отклики  $N_i[t]$ , которые эволюционируют нескоррелированно неперіодически.

3) (Синхронный) периодический. Все отклики  $N_i[t]$  эволюционируют скоррелированно с постоянной частотой (возможно с разными фазами).

Очевидно, что в силу определения правила обучения Богданова-Хебба эволюции синаптических связей  $W_{ij}^0[t]$  наглядно отражают тип динамического режима. Примеры динамик  $W_{ij}^0[t]$  для 2 и 3 типа режима приведены на рис. 3. на следующей странице.

Важной особенностью динамического режима системы (1)–(5) является тот факт, что его тип чувствителен к малейшим изменениям параметров ( $\alpha$ ,  $\beta$ ). Таким образом формируются четкие границы между областями различных режимов на плоскости ( $\alpha$ ,  $\beta$ ).

Оказалось, что при параметрах достаточно близких (изменение параметров в порядке  $10^{-5}$  и менее может привести к резкой смене режима) к границам переходов из синхронных режимов в асинхронный (и обратно), проявляется эффект *частичной синхронизации* сети.

Условимся далее, для краткости и простоты, при употреблении терминов, подразумевающих наличие динамики (эволюционирует, скоррелирован, и т. д.), по отношению к отклику нейрона опускать слово «отклик».

Эффект частичной синхронизации состоит в том, что непересекающиеся группы нейронов эволюционируют скоррелированно (синхронно), в то время как другие нейроны нескоррелированы по отношению друг к другу. Подобные группы скоррелированных нейронов были названы *кластерами активности*. Пример динамик  $W_{ij}^0[t]$  в случае частичной синхронизации сети приведен на рис. 1.

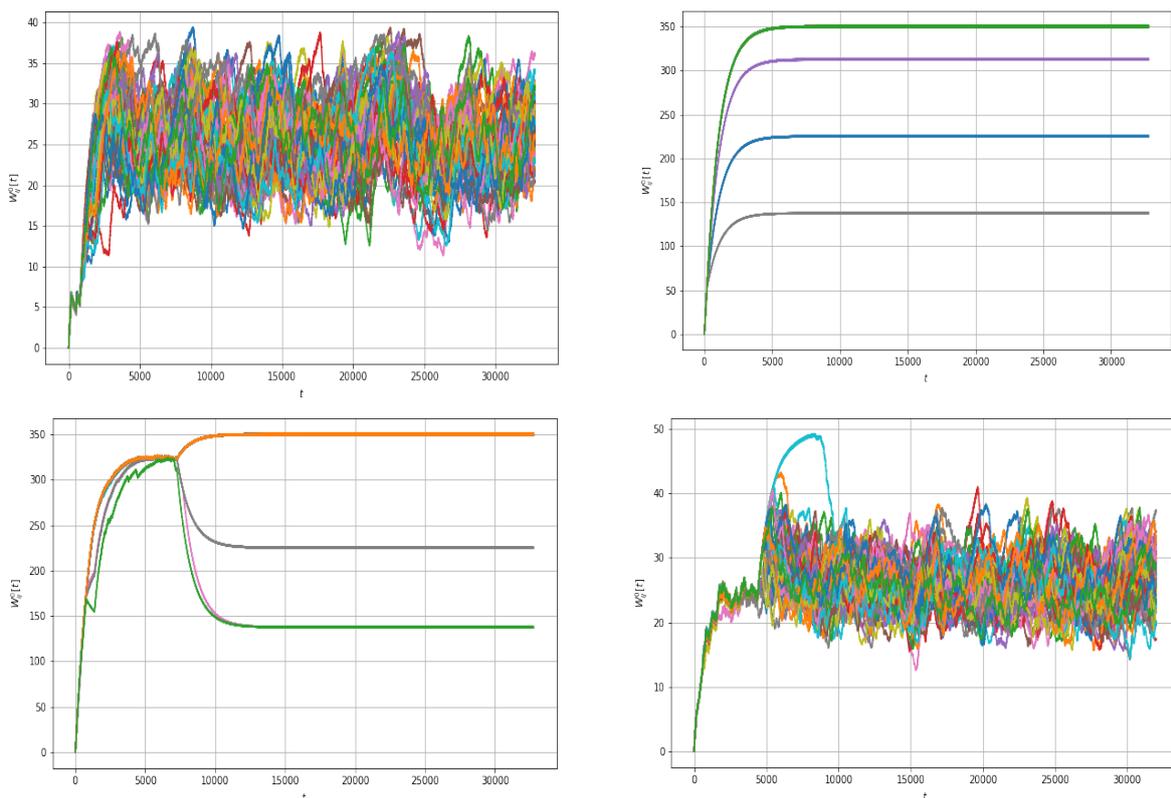


Рис. 1. Примеры динамик  $W_{ij}^0[t]$  (сверху-вниз, слева-направо) в случае (а) асинхронного неперiodического режима, (б) периодического режима, (с) и (д) эффекта частичной синхронизации

Оставшаяся часть статьи будет посвящена разработке алгоритма поиска кластеров активности, результат которого наглядно описывал бы полученный эффект.

Идея алгоритма достаточно проста. Для начала зафиксируем некоторый интервал (поиска)  $[t_b, t_e]$  и зададим «шаблонный» сигнал  $S_p[t]$ , который описывает «типичную» динамику  $W_{ij}^0[t]$  для коррелирующих  $N_i[t]$  и  $N_j[t]$  на данном интервале. Как видно, из рис. 1. такой сигнал должен иметь гребнеобразную форму, что в силу уравнения (5) свидетельствует о возрастающей корреляции между нейронами  $i$  и  $j$ .

Далее построим матрицу «синхронности»  $C$  по следующему правилу:  $C_{ij} = 1$ , если  $W_{ij}^0[t]$  «метрически близок» к  $S_p[t]$  на интервале  $[t_b, t_e]$ ,  $C_{ij} = 0$  иначе.

Подобная матрица является матрицей инцидентности [4] для некоторого графа  $G_C = (V_C, E_C)$  (*граф синхронности*), вершинами которого являются нейроны, а ребро между двумя вершинами указывает на то, являются ли нейроны, которые им соответствуют, синхронизированными на промежутке  $[t_b, t_e]$ . В итоге, кластерам активности на промежутке  $[t_b, t_e]$ , будут соответствовать компоненты связности графа  $G_C$  (очевидно, что они также будут кликами для  $G_C$ ), которые можно эффективно найти при помощи алгоритма поиска в глубину (DFS) [5].

В данном случае эффективнее всего оказалось формализовать понятие «метрика» при помощи вейвлет-дивергенции Йенсена-Шеннона, так как она позволяет явно учитывать разницу в масштабах, а вид сигнала  $S_p[t]$  имеет явно сильную масштабную локализованность (гребнеобразность).

Для начала согласно [6] определим *непрерывное вейвлет-преобразование*:

$$W_f(s, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt,$$

где  $\psi(t)$  – *материнский вейвлет* (в данном случае *вейвлет Рикера* [6]). Далее определим вейвлет-распределение по масштабам [7]:

$$E_f(s) = \int_{-\infty}^{+\infty} W_f(s, \tau) d\tau, \quad E_f = \int_{-\infty}^{+\infty} E_f(s) ds, \quad p_f(s) = \frac{E_f(s)}{E_f},$$

$$WD(p_f(s) // p_g(s)) = \int_{-\infty}^{+\infty} p_f(s) \ln\left(\frac{p_f(s)}{p_g(s)}\right) ds,$$

где последняя формула задаёт вейвлет-аналог *дивергенции Кульбока-Лейблера* [8], которая является асимметричной метрикой. Для того, чтобы получить симметричную метрику определим по аналогии с классической дивергенцией Йенсена-Шеннона определим её вейвлет-аналог:

$$WJDS(p_f(s) // p_g(s)) = \frac{1}{2} (WD(p_f(s) // p_g(s)) + WD(p_g(s) // p_f(s))).$$

Теперь можно окончательно формализовать алгоритм поиска кластеров активности:  $C_{ij} = 1$ , если на интервале  $[t_b, t_e]$ :  $WJDS(p_{w_{ij}^0[t]}(s) // p_{s_p[t]}(s)) \leq \epsilon$ ,  $C_{ij} = 0$  иначе.

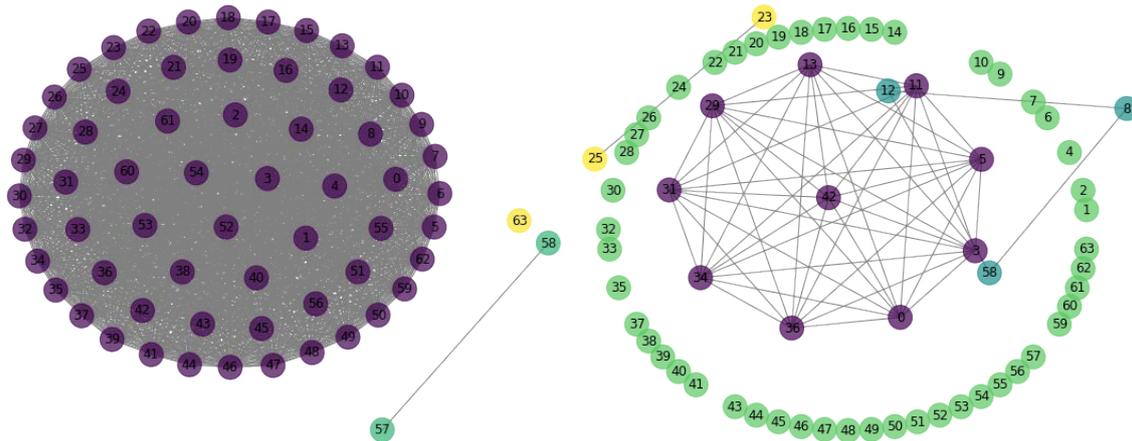


Рис. 2. Пример графа синхронности для случаев частичной синхронизации, представленных на рис. 1. (с) и (d) соответственно

В итоге с помощью понятия из частно-временного анализа удалось описать сложный эффект возникающий на границах смены динамических режимов в модифицированной модели НС Кропотова-Пахомова.

В конце стоит отметить, что для вычислительных экспериментов с НС, аппроксимации непрерывного вейвлет-преобразования и реализации алгоритма поиска кластеров активности был использован язык программирования Python с пакетами Numpy/Scipy [9].

**Список использованных источников**

1. Кропотов Ю. Д. и Пахомов С. В. Математическое моделирование механизмов обработки сигналов нейронными популяциями в головном мозге. Сообщение I. Постановка задачи и основные свойства модели. Физиология человека, 1981.
2. Chernykh, German and Yury Pis'mak.: Piecewise Scaling in a Model of Neural Network Dynamics. Springer-Verlag, Berlin, 2012.
3. Gerstner, Wulfram, Werner M. Kistler, Richard Naud, and Liam Paninski.: Neuronal Dynamics. From Single Neurons to Networks and Models of Cognition. Cambridge University Press, Cambridge, 2017.
4. Harary, Frank: Graph Theory. Addison-Wesley Series in Mathematics. Addison Wesley, 1969.
5. Cormen, Thomas H., Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, and Clifford Stein: Introduction to Algorithms. The MIT Press, 2009.
6. Малла, Стефан: Вейвлеты в обработке сигналов. Мир, Москва, 2005.

7. Rosso, Osvaldo, Martin M. T., Alejandra Figliola, Karsten Keller, and A Plastino: Eeg analysis using wavelet-based information tools. 153:163–82, July 2006.
8. Cover, Thomas M. and Joy A. Thomas: Elements of Information Theory (Wiley Series in Telecommunications and Signal Processing). Wiley-Interscience.
9. Bressert, Eli: SciPy and NumPy: An Overview for Developers. O'REILLY, 2013.

*Статья представлена научным руководителем,  
доктором физико-математических наук, профессором Письмаком Ю. М.,  
Университет ИТМО.*

**УДК 621.396.969**

**А. П. Крамин, А. Н. Митлаш** (старшие операторы научной роты,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ РАДИОКАНАЛОВ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ**

*Оперативное прогнозирование значений параметров систем спутниковой связи (ССС) для своевременной адаптации приемной измерительной аппаратуры при изменении условий распространения радиоволн в целях поддержания заданного уровня погрешности измерений задачей является актуальной. Объектом исследований являются ССС с пониженной несущей частотой.*

*системы спутниковой связи, оценка параметров, вероятность ошибки.*

В том случае, когда основные характеристики приемного устройства измерительной аппаратуры (ПРМ ПРР) и приемного устройства (ПРМ ССС) идентичны, а ПРМ ПРК находится в непосредственной близости (на расстоянии  $L_p \leq 10$  км) от ПРМ ССС, обеспечить электромагнитную доступность с использованием известных способов принципиально нельзя.

Количественным показателем помехоустойчивости (ПУ) цифровых ССС является вероятность ошибки ( $P_{ош}$ ) при приеме информационных символов или связанное с ней известной функциональной зависимостью  $P_{ош} = \psi(h^2)$  отношение  $h^2 = E_r / N_0$  энергии сигнала на входе приемника (ПРМ) к спектральной плотности мощности шума.

Известна [1, 2] зависимость вероятности правильного обнаружения сигналов  $P_{по} = \Psi(h^2_{прк}, P_{лт})$  при использовании в ССС традиционного диапазона несущих частот ( $f_0 = 1 \dots 10$  ГГц), когда линия радиосвязи (ЛРС) описывается моделью с полностью известными параметрами (без замираний и поглощения радиоволн):

$$P_{no} = Q(g, h_0) = Q(\sqrt{2h^2}, \sqrt{2\ln(1/P_{лт})}), \quad (1)$$

где  $Q(g, h_0)$  – Q-функция Маркума;  $g = \sqrt{2h^2}$  – амплитуда сигнала на выходе оптимальной схемы обработки, определяемая отношением  $h^2 = E_r / N_0$ ;  $h_0 = \sqrt{2\ln(1/P_{лт})}$  – нормированное значение порога обнаружения, определяемое вероятностью ложной тревоги  $P_{лт}$ .

Определено, что при высоких требованиях к вероятности правильного обнаружения сигналов функционального канала связи ( $P_{по} = 0,99$  и  $P_{лт} = 10^{-4}$ ) величина допустимого отношения сигнал/шум на входе приемника обнаружения измерительной аппаратуры составляет  $h^2_{доп прк} \approx 21$  (т. е. 13 дБ).

В том случае, когда измеритель находится на небольшом удалении ( $L_p \leq 10$  км) от ССС и их основные характеристики идентичны, достигается равенство  $h^2_{прк} = h^2 \approx 13$  дБ, т. е. на входе измерителя обеспечивается такое же фактическое отношение сигнал/шум, как и на входе ССС.

Отсюда следует, что  $h^2_{прк} = h^2_{доп прк} \approx 13$  дБ, а значит условие не выполняется, т. к. в этом случае  $\gamma_{эс} = h^2_{доп прк} / h^2_{прк} = 1$ .

При использовании в ССС традиционного диапазона несущих частот  $f_0 = 1 \dots 10$  ГГц ЛРС описывается моделью с полностью известными параметрами (без замираний и поглощения радиоволн). Если в ССС использовать пониженные частоты в диапазоне  $f_0 = 30 \dots 100$  МГц, то процесс распространения радиоволн сопровождается поглощением и рассеянием на неоднородностях ионосферы и интерференционными быстрыми замираниями принимаемых сигналов.

Для компенсации влияния замираний данный способ предполагает использование пространственно-разнесенного некогерентного приема на несколько антенн, основанный на использовании свойства пространственной избирательности замираний.

Свойство пространственной избирательности, присущее всем видам замираний, независимо от частотного диапазона и способа распространения радиоволн [3], заключается в том, что характер замираний сигнала при одновременном приеме его в пунктах, удаленных на некоторое расстояние, становится все более независимым по мере роста этого расстояния. Объясняется это тем, что радиоволны, принимаемые разнесенными антеннами, распространяются в несколько различных условиях, хотя и в пределах общего объема рассеяния.

Модель канала связи [4] представлена на рис. 1.

Для количественной оценки при решении радиоконтроля задачи измерения сигналов используется показатель электромагнитной доступности

$P_{эмб}(h^2 \geq h^2_{тр})$ , зависящий от значения энергетического отношения сигнал/шум на входе приемника системы радиосвязи  $h^2$ .

Высокая помехоустойчивость обеспечивается компенсацией влияния замираний принимаемого сигнала в сочетании с другими известными способами, такими как помехоустойчивое кодирование и др.

В то же время, для оценки помехоустойчивости системы спутниковой радиосвязи используется вероятность ошибочного приема информационных символов  $P_{ош} = \omega(\langle h^2 \rangle, \gamma^2)$ , которая зависит от значения среднего отношения сигнал/шум на входе приемника системы радиосвязи  $\langle h^2 \rangle$  и параметра Райса  $\gamma^2$  [5].

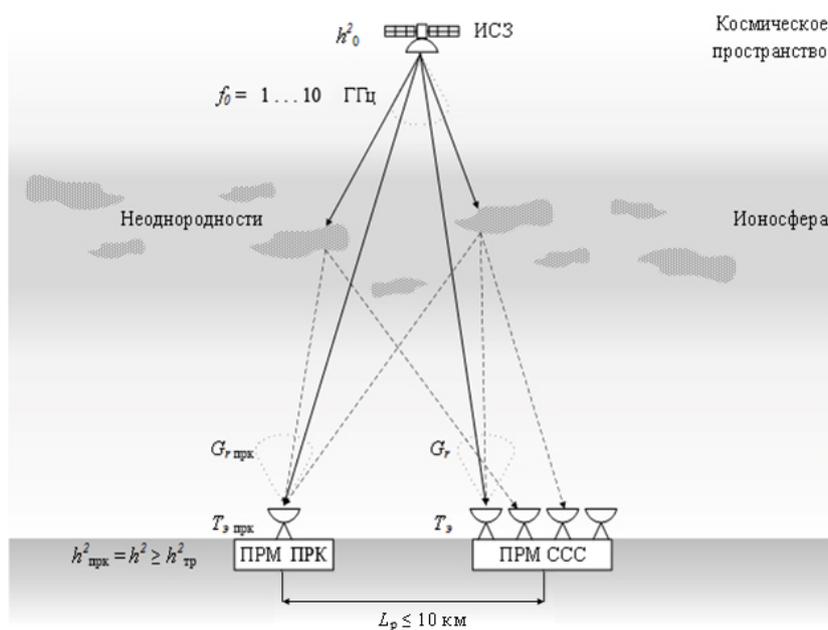


Рис. 1. Схема при размещении измерителя в непосредственной близости от системы спутниковой радиосвязи

Параметр Райса имеет следующий вид:

$$\gamma^2(t, f) = \left\{ \exp[\sigma_\phi^2(t, f)] - 1 \right\}^{-1} = \left\{ \exp[80,8\pi\sigma_{\Delta N_{TM}}(t)/cf]^2 - 1 \right\}^{-1}. \quad (2)$$

Согласно [5], параметр Райса  $\gamma^2 = \psi(\sigma_{\Delta N_{TM}})$  может быть рассчитан на основе данных о среднеквадратическом отклонении (СКО) мелкомасштабных вариаций полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы  $\sigma_\phi(t)$ .

СКО мелкомасштабных вариаций полного электронного содержания ионосферы имеет вид:

$$\sigma_\phi(t) = 80,8\pi\sigma_{\Delta N_{TM}}(t)/cf, \quad (3)$$

где  $c$  – скорость света,  $f$  – несущая частота.

Известно [5], что возможности GISTM приемника NovAtel GPStanion-6 спутниковой радионавигационной системы GPS/ГЛОНАСС позволяют получить временные ряды измерений ПЭС ионосферы  $N_T(t)$  с высокой частотой дискретизации (50 Гц). Известна методика, позволяющая по результатам измерений ПЭС ионосферы  $N_T(t)$  определять временные ряды мелкомасштабных вариаций ПЭС  $\Delta N_{TM}(t)$ . Это дает возможность получить ряд изменений во времени величины СКО мелкомасштабных вариаций ПЭС  $\sigma_{\Delta N_{TM}}(t)$ , необходимый для расчета параметра Райса  $\gamma^2$  [5]. Изменение среднего значения энергетического отношения сигнал/шум на входе измерителя  $\langle h^2(t) \rangle$  может быть вычислено путем усреднения ряда мгновенных значений входного энергетического отношения сигнал/шум  $h^2(t)$  на входе приемника радиосвязи.

На основании параметра Райса  $\gamma^2$  вероятность ошибки имеет вид:

$$P_{\text{ош}}(t) = \frac{\gamma^2(t) + 1}{h^2(t) + 2(\gamma^2(t) + 1)} \exp \left[ -\frac{\gamma^2(t) h^2(t)}{h^2(t) + 2(\gamma^2(t) + 1)} \right]. \quad (4)$$

Далее на основании значения вероятности ошибки можно количественно охарактеризовать помехоустойчивость приема.

На рис. 2 изображена зависимость показателя вероятности ошибки от энергетического отношения сигнал/шум на входе приёмника.

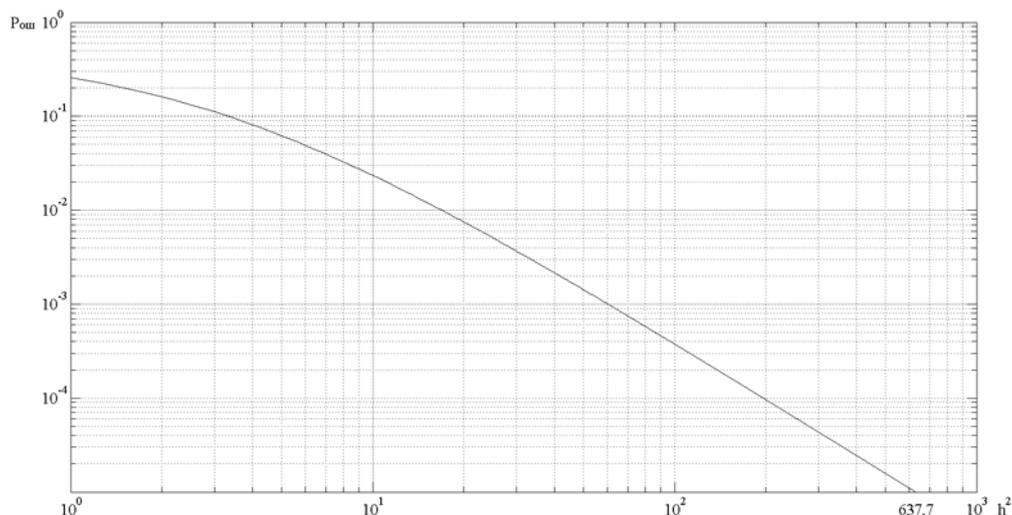


Рис. 2. Зависимость показателя вероятности ошибки от энергетического отношения сигнал/шум на входе приёмника

Анализ графика показывает, что в зависимости от увеличения значения энергетического отношения сигнал/шум на входе приёмника пропор-

ционально снижается значение показателя вероятности ошибки, что положительно влияет на качество связи и радиотехнические измерения параметров радиоканалов систем спутниковой связи.

**Выводы.** В ходе исследования описана методика автоматизация радиотехнических измерений параметров радиоканалов системы спутниковой связи. Методика основывается на измерении характеристик радиолинии связи, а именно показателя ПЭС ионосферы. Значения ПЭС преобразуются путем сглаживаний для последующего расчета параметра Райса, который, в свою очередь, используется для вычисления искомого показателя вероятности ошибки  $P_{\text{ош}}$ , который характеризует помехоустойчивость радиоканалов системы спутниковой связи.

На основании описанной методики разработана общая структурная схема радиотехнических измерений параметров радиоканалов системы спутниковой связи.

#### Список использованных источников

1. Теоретические основы радиолокации / Коростелев А. А., Клюев Н. Ф., Мельник Ю. А. и др.: под ред. В. Е. Дулевича. М.: Сов. Радио, 1978. 608 с.
2. Долуханов М. П. Распространение радиоволн: учебник для вузов. М.: Связь, 1972. 336 с.
3. Чипига А. Ф., Сенокосова А. В. Способ обеспечения энергетической скрытности систем спутниковой связи // Космические исследования. 2009. Т. 47. № 5. С. 428–433.
4. Защита информации в телекоммуникационных системах: учебник / В. Г. Кулаков, А. Б. Андреев, А. В. Заряев и др. Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2002. 300 с.
5. Песков М. В., Царапенко Д. А. Определение места нового способа обеспечения высокой энергетической скрытности в системе мероприятий по защите информации // Сборник научных трудов 6-й международной научно-технической конференции «Инфокоммуникационные технологии в науке, производстве и образовании» (Инфоком-6), Часть III, г. Ставрополь, 21–27 апреля 2014 г. Ставрополь, 2014. С. 274–279.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом военных наук, доцентом Ивановым В. Г.  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного.*

УДК 004.056

В. И. Кузьмина (студентка, СПбГУТ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕТЕВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ IoT В СЕТЯХ UMTS

Статья посвящена исследованию устойчивости сети UMTS к DDoS-атакам с учётом использования механизмов для предотвращения угроз. Исследование проведено с помощью имитационного моделирования в программе OPNET Modeler. Разработана методика проведения модельного эксперимента. Смоделирована сеть UMTS с подключением к ней умных устройств для реализации сценария с DDoS-атакой. Показано, что DDoS-атака является критичной для всех IoT-устройств, подключённых к сети UMTS.

сетевая безопасность, интернет вещей, мобильные сети, UMTS, Opnet Modeler, имитационное моделирование.

Интернет вещей, как и все стремительно развивающиеся технологии, имеет несовершенства. Наиболее значимой является проблема обеспечения безопасности IoT-устройств [1]. Применительно к IoT (*Internet of Things*) технологии, вещи – это объекты как физического мира (физические вещи) так и информационного мира (виртуальные вещи), способные к идентификации и интеграции в сетях связи [2]. На рис. 1 представлены основные виды умных устройств, которые способны легко подключаться и взаимодействовать между собой. Поэтому для успешной эксплуатации умных устройств многие компании в сфере IT сосредоточены на поиске оптимальных решений, которые направлены на сокращение ряда уязвимостей.

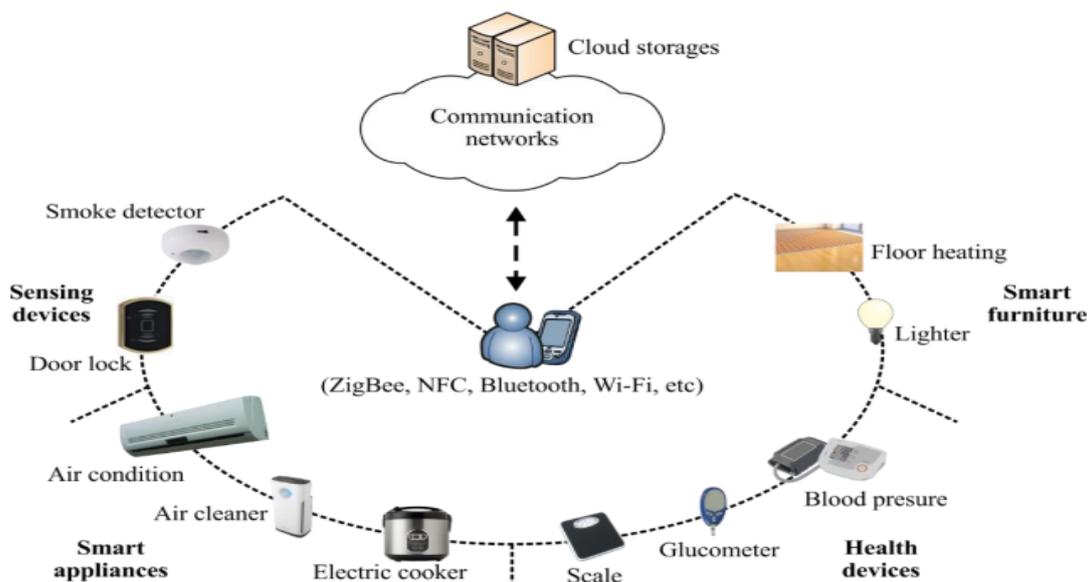


Рис. 1. Централизованное управление домашними устройствами [2]

Согласно данным прогноза на 2018 г., опубликованном в Kaspersky Security Bulletin 2017 [3], проблема атак на интернет-вещи в ближайшие годы не ограничится только бытовыми устройствами. Главная опасность в сфере здравоохранения, например, заключается в том, что атака на подключенную к интернету вещь больницы может привести не только к краже личной информации, но и к изменению диагностических данных, в результате чего пациентам может быть назначено неправильное лечение. В связи с этим возникла необходимость исследования возможных атак и разработки мер по их предотвращению в сети.

Успешность реализации IoT во многом зависит от стандартов и рекомендаций, которые обеспечивают интероперабельность, надёжность, совместимость между устройствами, и что самое главное – эффективную работу в мировом масштабе [4]. Основные рекомендации ИТУ (*International Telecommunication Union*) в области безопасности IoT:

- ITU-T Y.2060 – Overview of the Internet of things;
- ITU-T Y.4413 – Requirements and reference architecture of the machine-to-machine service layer;
- ITU-T Y.4806 – Security capabilities supporting safety of the Internet of things;
- ITU-T X.1521 – Common vulnerability scoring system.

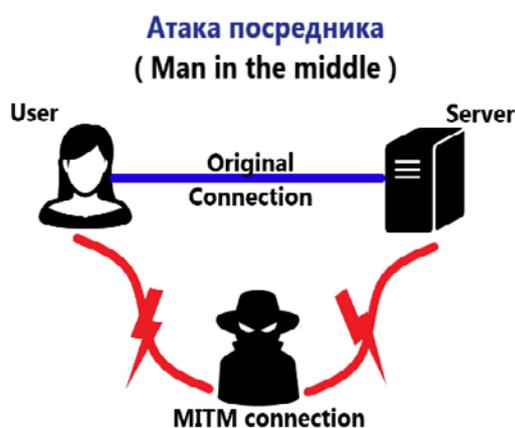


Рис. 2. Атака типа MITM

Именно по причине несоблюдения требований к стандартам и рекомендациям производители IoT-устройств подвергают их атакам различного вида. На рис. 2 представлена атака типа MITM (*Man in the middle*). Атака типа MITM начинается с прослушивания канала связи, а заканчивается попыткой злоумышленника организовать перехват данных и модифицировать их. Механизм защиты: использование строго шифрования между пользователем и сервером.

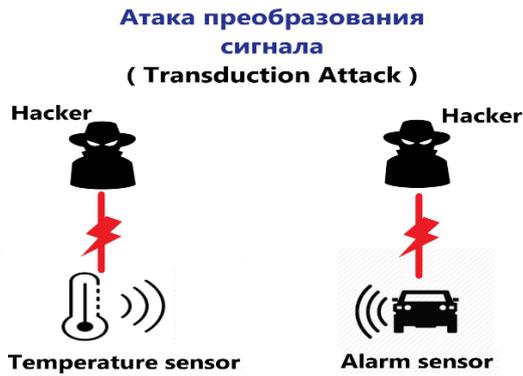


Рис. 3. Атака типа Transduction attack

Следующая атака типа Transduction attack изображена на рис. 3. Атака преобразования сигнала представляет угрозу для умных датчиков. Злоумышленник может легко вызвать отказ датчиков, используя внешние сигналы – электромагнитные волны, электрические сигналы. Механизм защиты: добавить меры защиты на уровне аппаратного обеспечения или разработать датчики для учёта более сильных внешних помех.

На рис. 4 представлена DoS-атака (*Denial of Service*) – атака типа отказ в обслуживании. Цель атаки заключается в том, чтобы создать такие условия, при которых легальные пользователи просто не смогут получить доступ к системным ресурсам или этот доступ будет затруднён из-за хакерских запросов. Механизм защиты: установка оборудования по отторжению нежелательных запросов. Например, использовать фильтрующие средства, содержащие защиту от DoS-атак.

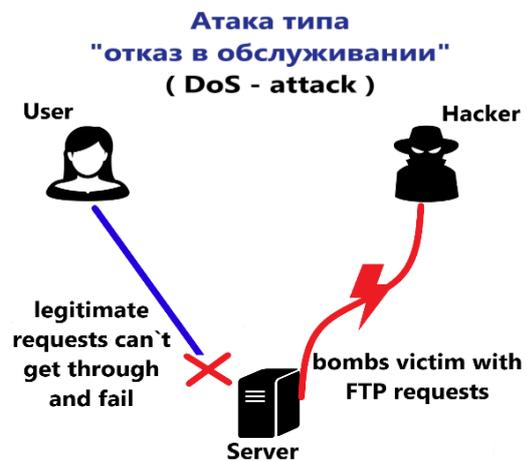


Рис. 4. Атака типа DoS



Рис. 5. Атака типа DDoS

Следующий тип атаки DDoS показан на рис. 5. Атака выполняется с большого числа компьютеров одновременно. Чаще всего используется для того, чтобы вывести из строя крупные компании, правительственные организации или банки. Механизм защиты: применяют ряд фильтров, которые последовательно анализируют проходящий трафик, выявляя нестандартную сетевую активность и ошибки.

## Моделирование сети

Для проведения исследования использована программа OPNET Modeler [5], которая позволяет выполнить моделирование сети UMTS с подключением к ней умных машин. Было принято решение смоделировать воздействие DDoS-атаки поскольку она наиболее популярна среди других типов атак. Для точного представления сценария с DDoS-атакой создана методика проведения модельного эксперимента, которая представлена в табл.

ТАБЛИЦА. Разработка методики реализации сценария с использованием DDoS-атаки

Реализация DDoS-атаки	Характеристика
Цель DDoS-атаки	Вывод сервера из строя (Server FTP)
Категория умных устройств	Smart Cars – Умные машины
Количество атак на сеть	2 атаки
Описание эксперимента	Необходимо выполнить реализацию DDoS-атаки, когда 2 злоумышленника воздействуют на сеть UMTS

Схема модельной сети представлена на рис. 6.

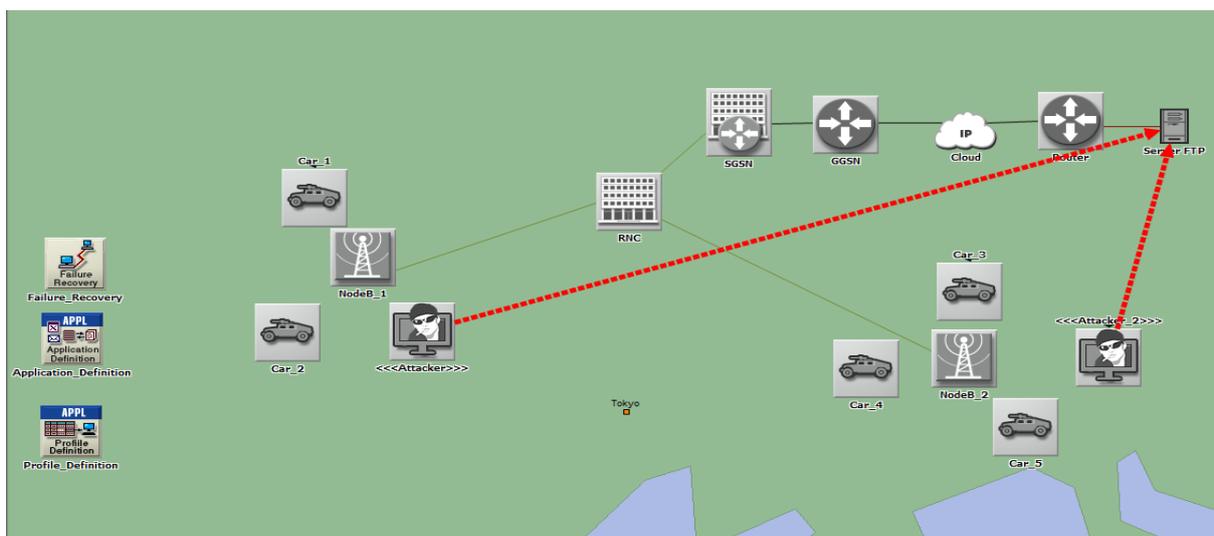


Рис. 6. Схема модельной сети UMTS под воздействием DDoS-атаки

Результат моделирования представлен на рис. 7. Среднее значение объема входящего трафика равно 52,2 байт. Среднее значение объема исходящего трафика равно 25,1 байт.

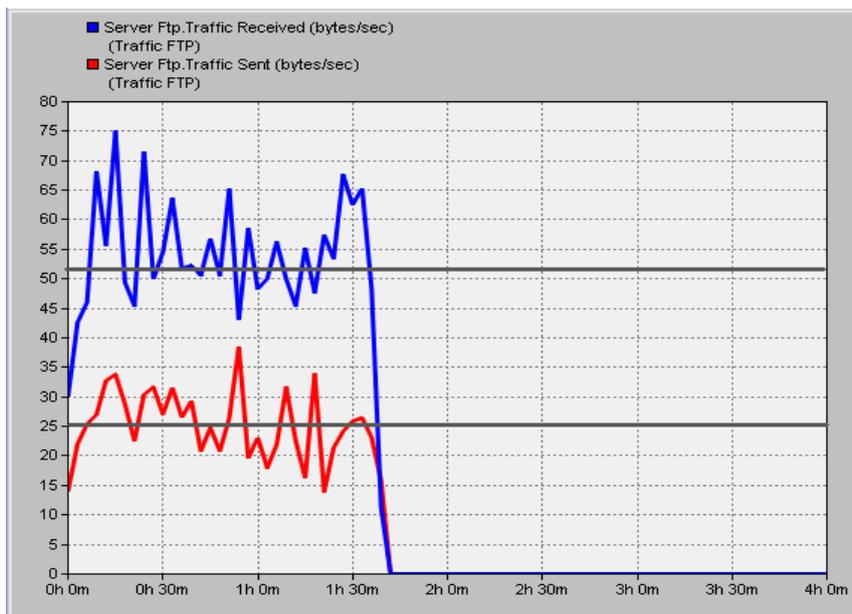


Рис. 7. Воздействие DDoS-атаки на сервер через 1 час 40 мин

По графику видно, что через интервал времени 1 ч. 40 мин. произошёл отказ сервера, после чего динамики со стороны сервера не наблюдается. Следовательно, данные с умных машин обрабатываться на сервере не будут. Синим цветом на рисунке показан входящий трафик, который был получен из сети на сервере FTP. Красным цветом показан исходящий трафик. По оси абсцисс отложено время, а по оси ординат значение объема трафика, который был передан/получен в байтах.

На рис. 8 представлен график зависимости времени работы сети до отказа от нагрузки на сеть.

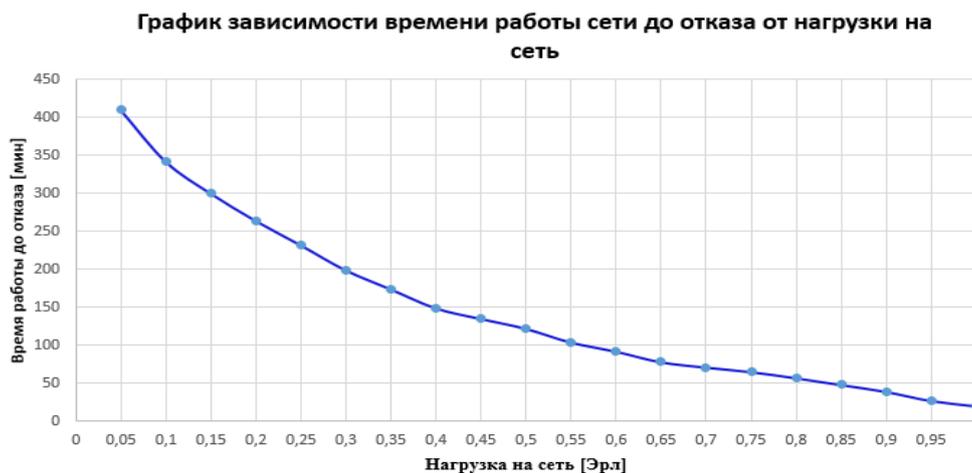


Рис. 8. График зависимости времени работы сети до отказа от нагрузки на сеть

Значение времени работы сети до отказа убывает по экспоненциальному закону. Чем больше нагрузка на сеть, тем время работы сети до отказа...

за меньше. Это связано с тем, что данная атака быстрее приводит с отказу сети из-за массового воздействия злоумышленников (ботнетов) на сеть.

## **Выводы**

Таким образом, DDoS-атака наиболее критична для всех устройств сети, так как может произойти переполнение запросами сервера и его дальнейший отказ. Механизм создания атаки: заражённые хосты создают перегрузку в сети путём передачи нелегитимного трафика. Механизм защиты: пропуск трафика через центр очистки трафика или использование балансировщиков нагрузки.

## **Список использованных источников**

1. Отчёт Cisco по информационной безопасности за 2018 год. URL: [https://www.cisco.com/c/ru\\_ru/about/press/press-releases/2018/03-12.html](https://www.cisco.com/c/ru_ru/about/press/press-releases/2018/03-12.html)
2. Recommendation Y.2060: Overview of the Internet of things (06/2012). ITU. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I>
3. Kaspersky Security Bulletin: 2017. Развитие угроз. URL: <https://securelist.ru/ksb-review-of-the-year-2017/88142/>
4. Bandyopadhyay D., Sen J. Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization // Wireless Personal Communications. 2011. Т. 58. № 1. PP. 49–69.
5. OPNET Modeler 14.5. URL: <http://www.opnet.com>

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Симоновой О. А., СПбГУТ.*

## **УДК 681.3.06**

**С. С. Леонтьев, Д. В. Рывякин** (студенты, СПбГУТ)  
**А. Б. Степанов** (канд. техн. наук, доцент, СПбГУТ)

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ТРИАНГУЛЯРНОГО ФИЛЬТРА НА ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ СО СВЕРХНИЗКИМ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ЭНЕРГИИ**

*Работа посвящена реализации триангулярного фильтра на микроконтроллере со сверхнизким энергопотреблением MSP430G2452. Дается обоснование выбора данной элементной базы. Подробно рассматриваются этапы реализации триангулярного фильтра. Приводится сравнение графиков импульсной характеристики триангулярного фильтра, полученные при моделировании в MATLAB и при реализации на микроконтроллере.*

триангулярный фильтр, микроконтроллер, реализация, сверхнизкое энергопотребление, MSP430G2452, MATLAB, Code Composer Studio.

Реализация цифровых фильтров может выполняться на различной элементной базе. Это могут быть: цифровые сигнальные процессоры (ЦСП), программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), универсальные процессоры общего назначения и микроконтроллеры. Последние обычно используются для решения задач управления, однако производительность современных микроконтроллеров позволяет использовать их и при реализации систем цифровой обработки сигналов. Основными достоинствами микроконтроллеров MSP430G2452 компании Texas Instruments являются сверхнизкое энергопотребление и невысокая стоимость. Все это делает их привлекательными для разработчиков систем управления и цифровой обработки сигналов, в том числе при реализации фильтров. Целью данной работы является реализация триангулярного фильтра на микроконтроллере MSP430G2452.

Триангулярный фильтр (ТрФ) относится к классу специальных КИХ-фильтров с линейной ФЧХ и представляет собой каскадное соединение двух однородных фильтров [1].

На рис. 1 представлен график импульсной характеристики ТрФ, полученный в FDATool. Он имеет характерный для данного фильтра вид. На рис. 2 и 3 представлены графики АЧХ и ФЧХ ТрФ соответственно. Как следует из рис. 3, ФЧХ триангулярного фильтра строго линейная.

При реализации ТрФ на цифровых сигнальных процессорах или микроконтроллерах фирмы Texas Instruments может использоваться традиционная технология написания кода на языке высокого или низкого уровней, а также технология автоматической генерации С-кода на основе кода на языке MATLAB или Simulink-модели.

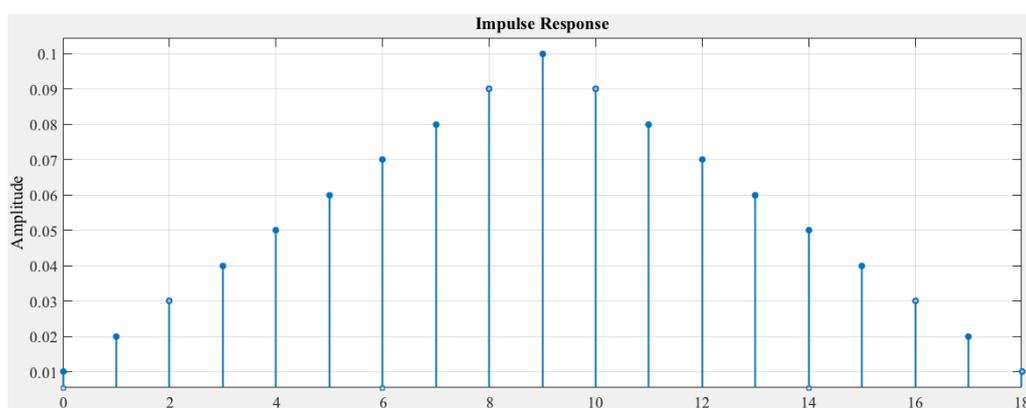


Рис. 1. Импульсная характеристика ТрФ, полученная в FDATool

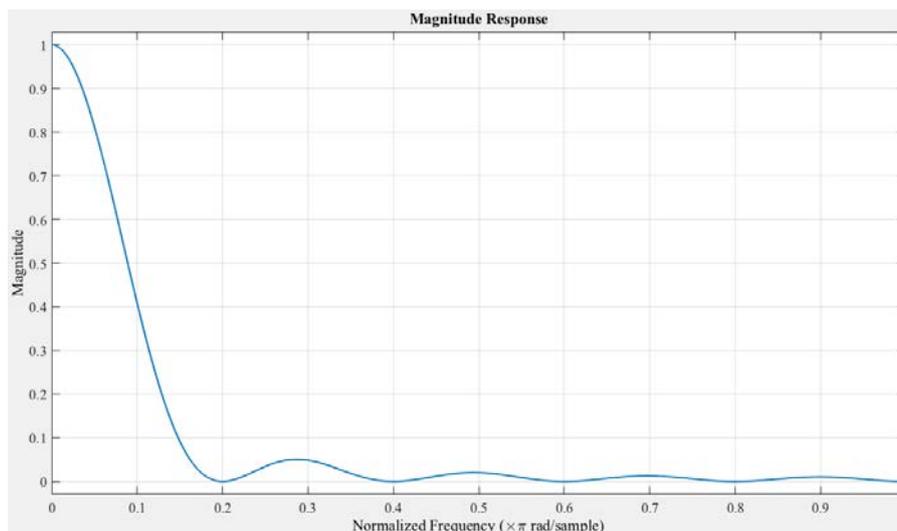


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика ТРФ, полученная в FDATool

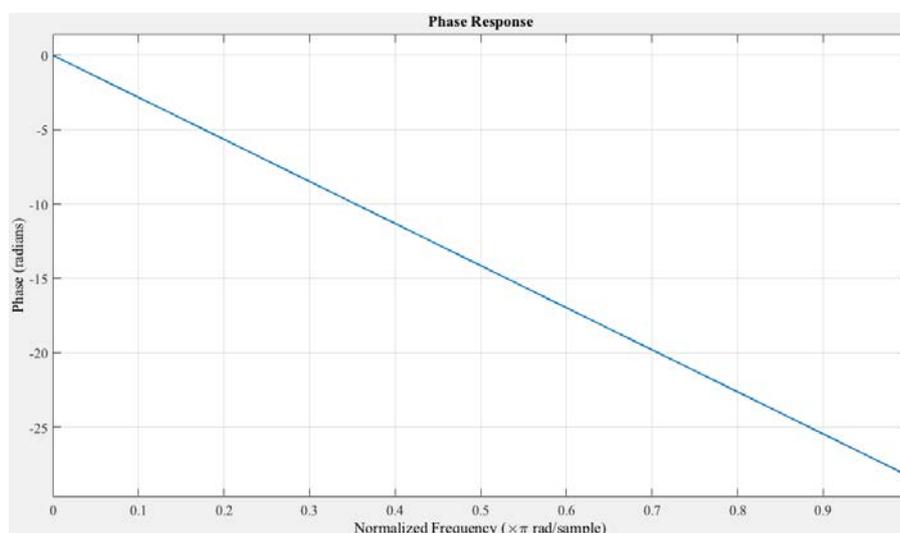


Рис. 3. Фазочастотная характеристика ТРФ, полученная в FDATool

Рассмотрим процедуру реализации ТРФ на микроконтроллере с применением Simulink. Она включает в себя следующие этапы:

1. Создание Simulink-модели ТРФ.
2. Получение импульсной характеристики ТРФ. Данный этап позволяет оценить правильность построенной Simulink-модели.
3. Модификация Simulink-модели ТРФ для реализации. Источник цифрового единичного импульса и блок визуализации импульсной характеристики заменяются на блоки, имитирующие входной и выходной порты микроконтроллера.
4. Преобразование Simulink-модели ТРФ для работы с фиксированной точкой, что связано с особенностью микроконтроллера MSP430G2452.
5. Настройка параметров генерации С-кода.

6. Генерация С-кода.

7. Копирование сгенерированных файлов в проект, созданный в интегрированной среде разработки Code Composer Studio.

8. Получение выходного файла.

9. Загрузка бинарного файла в память микроконтроллера.

На рис. 4 представлена Simulink-модель триангулярного фильтра, построенная на основе двух соединенных последовательно однородных фильтров. Каждый однородный фильтр представляет собой нерекурсивный фильтр. При подаче на вход данного ТРФ цифрового единичного импульса, на его выходе была получена импульсная характеристика (рис. 5), полностью совпадающая с построенной при моделировании в FDA Tool.

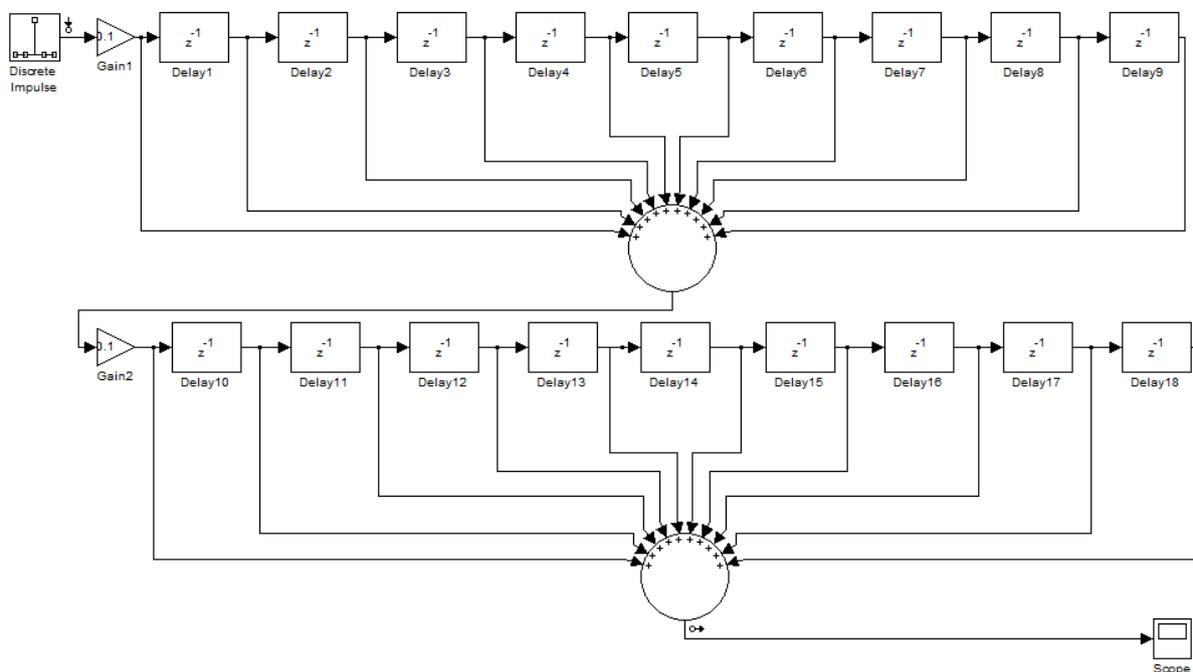


Рис. 4. Simulink-модель триангулярного фильтра

После замены входного и выходного блоков, преобразования Simulink-модели для работы с фиксированной точкой были установлены настройки Simulink Coder и выполнена генерация С-кода. Полученный код, был загружен в интегрированную среду разработки Code Composer Studio и дополнен для работы с периферийными устройствами отладочной платы. Полученный на его основе бинарный файл загружен в память микроконтроллера.

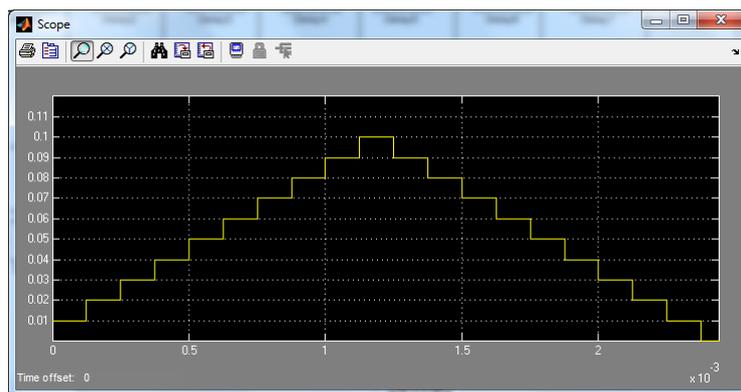


Рис. 5. Импульсная характеристика ТРФ, полученная в Simulink

Особенностью реализации ТРФ на микроконтроллере при использовании традиционной технологии написания С-кода является реализация 2 последовательно соединенных нерекурсивных фильтров. При этом каждый из фильтров имеет всего один умножитель, что с одной стороны уменьшает объем требуемой внутренней памяти микроконтроллера, а с другой, позволяет значительно уменьшить шумы.

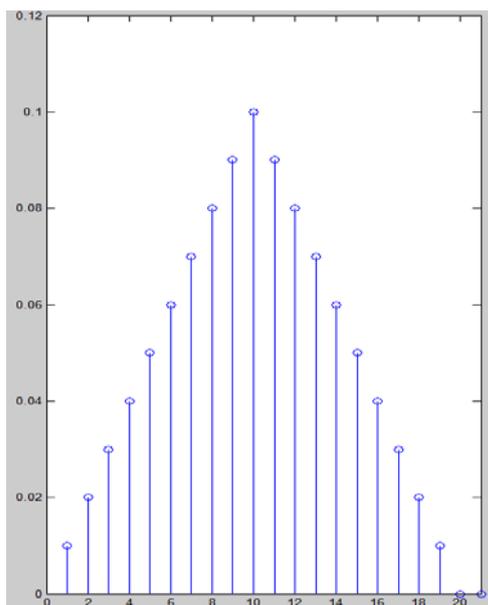


Рис. 6. Импульсная характеристика ТРФ, полученная на выходе микроконтроллера

Для проверки работоспособности реализованного ТРФ на вход отладочной платы загружался цифровой единичный импульс. Результаты обработки подавались на вход персонального компьютера, где загружались в MATLAB и строились в виде графика импульсной характеристики (рис. 6).

Как следует из рис. 6, значения импульсной характеристики на выходе микроконтроллера полностью совпали со значениями, полученными при моделировании.

На основе проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Триангулярный фильтр может быть реализован с использованием как обычной технологии написания кода, так и с использованием технологии автоматической генерации С-кода на основе Simulink-модели.
2. При написании кода вручную обеспечивается больше возможностей оптимизации кода в связи с особенностями структуры фильтра.

#### Список использованных источников

1. Солонина А. И. Цифровая обработка сигналов в зеркале MATLAB: учеб. пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2018. 560 с.

УДК 621.396.669.8

Ю. Д. Орлянская (студентка, СПбГУТ)

## ПАССИВНЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

*В данной статье рассмотрен один из пассивных методов защиты информационных систем связи, который предусматривает создание защитного материала. В результате анализа предложен вариант расчета коэффициента отражения радиопоглощающего покрытия методом геометрической оптики, также были проведены экспериментальные исследования. Моделирование параметров материала проводилось в программе Matlab.*

*защитный материал, радиопоглощение, коэффициент отражения.*

На сегодняшний день по всех сферах человеческой деятельности присутствует большое количество различной электроники и вычислительной техники. С развитием радиоэлектронной аппаратуры возникают серьезные проблемы по обеспечению безопасности информации, которая циркулирует по каналам связи.

Защита информации от утечки через электромагнитные излучения осуществляется с применением пассивных и активных методов.

К пассивным методам и средствам относятся:

- применение разделительных трансформаторов и помехоподавляющих фильтров;
- заземление всех устройств, как необходимое условие эффективной защиты информации;
- доработка устройств ВТ с целью минимизации уровня излучения;
- экранирование.

К активным методам и средствам относят пространственное и линейное зашумление.

Пассивные методы защиты информации включают в себя создание эффективных экранирующих материалов и экранов на основе инновационных современных технологий. Специальная техника постоянно развивается и это приводит к поиску новых, более эффективных экранирующих и поглощающих материалов, в том числе для защиты от утечки информации по техническим каналам.

Получение минимально возможного коэффициента отражения электромагнитного поля на поверхности материала экрана является основным требованием при проектировании радиопоглощающих экранов.

При использовании защитных материалов с высокими значениями электромагнитных параметров ( $\epsilon$  и  $\mu$ ) можно добиться высокой степени поглощения ЭМВ. Также необходимо учитывать отражение ЭМВ от по-

верхности материала на границе раздела двух сред, так как чем больше эти отражения, тем больше коэффициент отражения.

Для того, чтобы уменьшить значение коэффициента отражения, необходимо создать согласование внешней среды и радиопоглощающего покрытия, т. е. создать условие равенства входного сопротивления среды и материала на границе раздела сред, в которых распространяется ЭМВ.

Технические требования, предъявляемые к защитным материалам для эффективного радиопоглощения:

1. Материал: композитный;
2. Пределы варьирования длины волны  $\lambda = [0,8 \dots 10]$  см;
3. Заданный частотный диапазон  $f = [3 \dots 37]$  ГГц;
4. Толщина композитного покрытия  $d = 1, 2, 3, 4$  мм;
5. Значение относительной диэлектрической проницаемости слоя  $\epsilon = [3 \dots 7]$ ;
6. Значение относительной магнитной проницаемости слоя  $\mu = [0,5 \dots 4,5]$ ;
7. Коэффициент отражения не должен превышать  $R_{отр} \leq 20$  % на заданных частотах.

Для обеспечения предъявляемых требований физическую модель ЗМ целесообразно выбрать в качестве однослойной структуры. При ограниченном количестве слоев массогабаритные характеристики становятся меньше и как следствие такие материалы могут применяться в конструкциях с узкими зазорами между элементами. В однослойной структуре рекомендуется использовать магнитный материал покрытия.

Расчет радиотехнических параметров, а именно коэффициента отражения ЭМВ от композиционного однослойного материала покрытия сводится к расчету волнового сопротивления среды.

$$Z_c = \sqrt{\frac{|\mu_{отн}| \mu_0}{\left(\epsilon_1 - \frac{\epsilon_2^2}{\epsilon_1}\right) \epsilon_0 - 2i\epsilon_2 \epsilon_0}}, \text{ Ом}$$

В однородной изотропной среде при наличии потерь присутствует параметр поля  $k$ , который также является комплексным:

$$k = \omega \sqrt{|\epsilon_{отн} \epsilon_0| |\mu_{отн} \mu_0| (1 - i \operatorname{tg} \delta)}.$$

Вывод эмпирической формулы для расчета коэффициента отражения для одного слоя производится по следующему принципу: падающая на поверхность покрытия волна частично отражается от магнитодиэлектрика под углом падения. Остальная волна проходит внутрь слоя, преломляясь, где появляются диэлектрические и магнитные потери. На границе «магни-

тодиэлектрик – металл» волна полностью отражается от поверхности подложки и снова проходит слой к границе «магнитодиэлектрик – воздух», где проходит практически без потерь (эти потери так малы, что ими можно пренебречь) (рис. 1). Таким образом, коэффициент отражения является суммой двух отраженных волн.

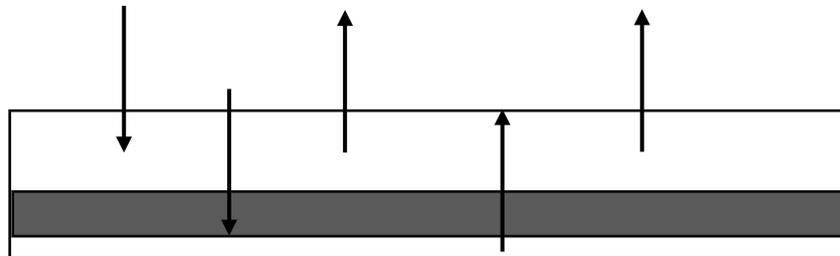


Рис. 1. Отражение волны в слоистом материале покрытия

Равенство коэффициентов прохождения и отражения от подложки обусловлено полным отражением волны от поверхности металла. Таким образом, суммарный коэффициент отражения принимает вид:

$$R_{отр} = R_0 + X_0^2 e^{|i2kd|},$$

где  $X_0$  – коэффициент прохождения,  $R_0$  – коэффициент отражения. А  $|\text{Re}(R_{отр})|$  – модуль вещественной части коэффициента  $R_{отр}$ , непосредственно значение, которое требуется рассчитать в соответствии с техническим заданием.

Данная формула применима исключительно к однослойной структуре.

Измерение коэффициента отражения электромагнитной волны производится на определенном диапазоне длин волн, в соответствии с техническим заданием. В данной работе рассматриваются значения:  $\lambda = [0,8 \ 2 \ 3,3 \ 10] \cdot 10^{-2}$  м – длина волны,  $d = 0,002-0,004$  м.

Результаты теоретических расчетов представлены в табл. и на рис. 2.

ТАБЛИЦА. Результаты расчета коэффициента отражения

Толщина слоя $d$ , мм	Длина волны, см			
	0,8 см	2 см	3,2 см	10 см
	Коэффициент отражения, %			
2	>100	67	38	>100
3	3,6	5,9	6	5,5
4	>100	92	97	73

По данным таблицы можно сделать вывод, что наилучшим коэффициентом отражения при одинаковых электродинамических параметрах обладает материал с толщиной  $d = 3$  мм.

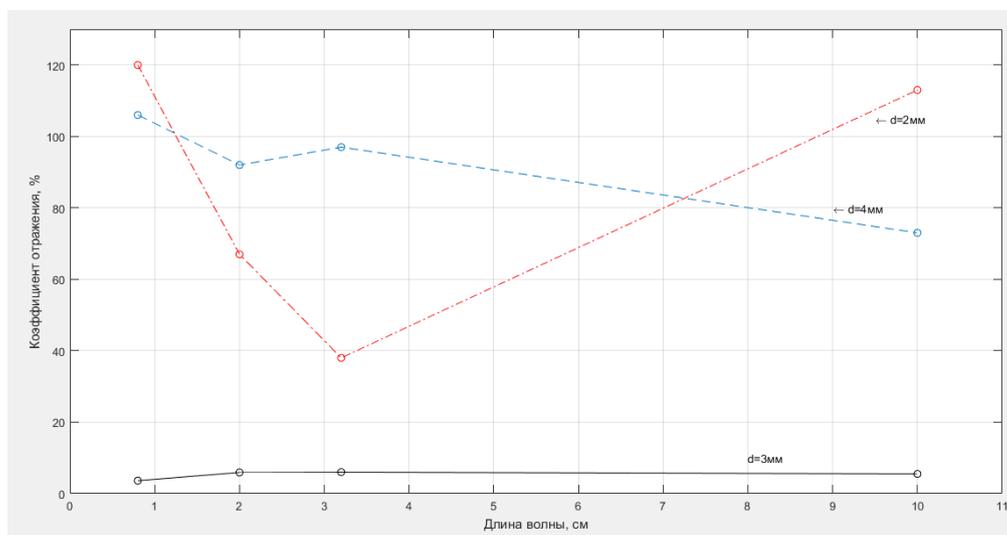


Рис. 2. График зависимости коэффициента отражения от изменения длины волны в диапазоне [0,8 .. 10] см

Одним из эффективных способов подавления ПЭМИ (с одновременной защитой оператора), в комплексе мер противодействия утечки компьютерной информации в системах передачи и распределения информации, является применение экранирующих материалов, на основе радиопоглощающих композиций. Использование защитных материалов позволяет снизить радиоизлучения от элементов вычислительной техники, которые являются наиболее опасными каналами утечки информации, а экранирование специальных помещений радиопоглощающими материалами позволит исключить переотражения электромагнитных волн от стен внутри помещения и снизить общий уровень излучений от всех существующих в помещении радиоэлектронных приборов.

В статье проведены исследования радиофизических параметров структур экранирующих материалов и покрытий, рассчитаны электромагнитные параметры композиций структуры, обеспечивающие требуемый уровень коэффициента отражения.

В результате проведенных теоретических исследований разработан вариант модельной структуры поглощающих материалов. Разработка включала расчет электромагнитных параметров и коэффициента отражения ЭМ, для различных элементов ЭВТ и стеновых покрытий специальных помещений, в заданном диапазоне частот, ограниченных по толщине.

#### Список использованных источников

1. Адылова З. Т., Ахмаджонов А., Заргаров Ш. А. Каналы утечки информации от электромагнитного излучения и меры ее защиты. М., 2006.

2. Хорев А. А. Способы и средства защиты информации. М.: МО РФ, 1998. 316 с.
3. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. АН СССР, 1967.
4. Вольман В. И., Пименов Ю. В. Техническая электродинамика. М.: Связь, 1971.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Ковалевой Т. Ю., СПбГУТ.*

**УДК 621.389**

**Д. А. Папулин** (инженер-программист, ОАО «Авангард»)  
**А. Д. Смирнов** (аспирант, СПбГУТ)  
**Ю. Л. Степанов** (кандидат технических наук, доцент,  
начальник отдела, ОАО «Авангард»)

## **МЕТОД СКАНИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОНТРОЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ТЕСТОВ**

*В данной работе предлагается метод перевода тестов для старого автоматизированного тестового оборудования под современные средства тестового контроля. Рассматривается целесообразность перевода данных тестов с помощью логических анализаторов и делается вывод, что они не эффективны как с экономической точки зрения, так и по трудозатратам, а также могут исказить исходный тест. Выдвинуты четыре условия для реализации предлагаемого метода. Метод рассматривается на примере использования такого образца автоматизированного тестового оборудования как комплекса УТК-512 в качестве сканера цифровых тестов. Получены тесты, содержащие последовательность входных данных для объекта контроля, эталонные значения на выходах объекта контроля и учитывающие динамику смены направления каналов шин данных между объектами контроля и автоматизированного тестового оборудования.*

*сканер, тест, цифровая последовательность, логический анализатор, диагностика.*

Цифровые радиоэлектронные модули начали производить несколько десятков лет назад. Вместе с их производством разрабатывались и развивались средства контроля и диагностики готовой продукции, расширились их возможности, появилась возможность проводить контроль и диагностику в автоматизированном режиме, за что они получили название автоматизированное тестовое оборудование (АТО) [1].

На фоне развивающейся элементной базы, стремительно совершенствуются цифровые модули, но, к сожалению, средства АТО развиваются не с той же скоростью. Часто бывает, что усовершенствованные таким образом модули диагностируются на устаревшем АТО. Такое оборудование

обладает большими габаритами, устарели морально и технически, но еще способны выполнять свою функцию – тестирование цифровых модулей.

Тем не менее, средства АТО совершенствуются, изменяют свои характеристики. Происходит замена устаревших АТО на новые. Появляется задача перевода тестов для старых АТО (в дальнейшем старые тесты) под современные средства тестового контроля. В некоторых случаях требуется использовать старые тесты на новых АТО.

Одним из способов решения этой задачи является воссоздание старых тестов для новых АТО, однако эта задача весьма трудоемкая, и при этом не будут использованы дополнительные функциональные возможности новых АТО.

Другой возможностью решения этой задачи является использование логических анализаторов для анализа цифровой последовательности (теста). Но логический анализатор – это стороннее устройство, весьма дорогое и непростое в эксплуатации. (Сканирование с их помощью возможно только с большой частотой, что приводит к записи лишних переключений, которые искажают тест [2]. Если ЛА позволяет сканировать на низких частотах, то целесообразнее применять непосредственно АТО, они дешевле, просты в эксплуатации и для них требуется переводить тесты).

В данной статье предлагается метод использования средств АТО в качестве сканера цифровых тестов (далее сканера), то есть для сканирования старых тестов и использования их в дальнейшем на новых АТО.

На рисунке показана общая схема подключения сканера к АТО. Устройство тестового контроля (сканер) подключают к участку между АТО и ОК, где между АТО и ОК идет обмен воздействиями и реакциями.

Отметим четыре условия, необходимые для реализации метода.

1. Общая земля как для сканера, так и для АТО.
2. Внешний генератор, обеспечивающий синхронизацию обеих установок.
3. Синхронизация запуска и сканирования теста.
4. Подключение канала данных к участку «АТО – ОК».

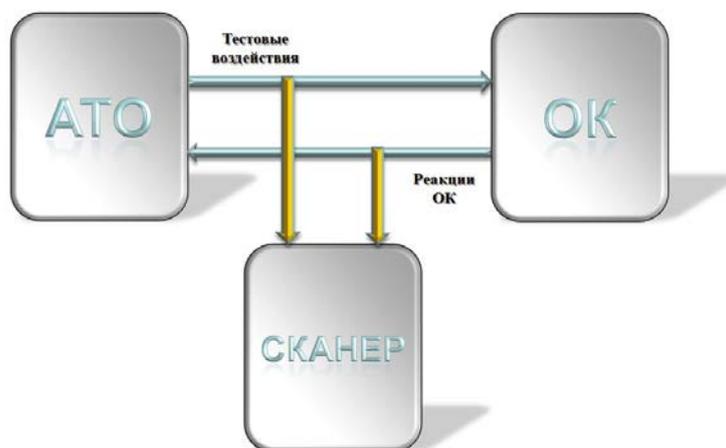


Рисунок. Общая схема подключения сканера к АТО

Рассмотрим каждое из этих условий подробнее на примере комплекса УТК-512 (выступающего в качестве сканера тестов).

Чтобы сканер не вводил искажений в работу АТО, обе установки следует объединить общей землей. Так же стоит обеспечить стабилизированную питающую сеть, чтобы установки не фиксировали колебания питающей сети. АТО и сканер стоит подключить к сети через сетевой фильтр или ИБП.

Все процессы, проходящие как на УТК-512, так на АТО осуществляются по сигналу тактовой частоты с опорного генератора. Для того чтобы обе установки работали синхронно, необходимо иметь внешний генератор, который подключается к соответствующему разъему (напр. разъем «Синхр» на УТК-512). Это позволит УТК-512 сканировать тест «строб в строб». В случае если подобного разъема на АТО нет, и он работает от своего внутреннего генератора, то необходимо на обоих внутренних генераторах установить одинаковую частоту, которая определяется, как и для внешнего генератора, частотой выполнения теста. В таком случае допускается отклонение частоты в  $\pm 1\%$  от частоты выполнения теста. Не рекомендуется использовать частоту для УТК, большую, чем для АТО, так как это увеличит длительность импульсов сканированного теста и появятся лишние переключения. Такой тест не подойдет для дальнейшего тестирования ОК. По этой же причине для данной задачи не подходит логический анализатор [2].

Помимо синхронизации работы, УТК-512 необходимо знать, когда тест был запущен, и с какого момента его следует сканировать. В ПО УТК-512 [3], присутствует оператор ожидания. Он ожидает событие (приход логического нуля или единицы на канал, в котором установлен данный оператор). Существует несколько вариантов организации данного события.

1. Если АТО запускает опорное колебание или какой-либо другой сигнал в момент запуска теста, то необходимо настроить оператор ожидания в УТК-512 на прием данного сигнала или колебания. Для этого требуется вывести данный сигнал или колебание генератора в один из свободных каналов УТК-512. Установить оператор ожидания на этот канал и ожидать прихода логической единицы или нуля. После прихода сигнала, начнется синхронное выполнение и сканирование теста.

2. Если нет необходимых разъемов или нет возможности подключиться к внутреннему генератору, то способ можно инвертировать. В УТК-512 предусмотрен разъем «Осцил», который выдает импульс в момент запуска теста. Данный импульс может принять АТО (конечно, если в АТО есть подобный механизм приема сигнала). Таким образом, УТК-512 выдав импульс, заставляет АТО запустить тест, который начинает сканировать.

3. В случае если оба варианта не подходят, можно использовать в качестве сигнала один из каналов теста, переключение которого будет событием для оператора ожидания. Здесь важно знать, какой из выбранных

каналов будет переключаться первым, чтобы не пропустить начальную часть теста. Если переключения начинаются не с начала теста, то в сканированном тесте нужно внести поправку.

Для осуществления тестирования объект контроля подключается к АТО, с которого на входы ОК подаются воздействия и снимаются реакции. Обычно ОК подключается с помощью подключающего устройства. Данное устройство представляет собой площадку с разъемами и гнездами, для подключения соединительных шлейфов и самого объекта контроля. Собственно для сканирования теста необходимо подключиться к участку между АТО и ОК (к подключающему устройству или его аналогу) канал к каналу однозначно. Это позволит исключить путаницу при сравнении теста и отсканированной последовательности.

Существует вариант сканирования теста без участия объекта контроля. При этом на каналах подключающего устройства должны быть припаяны резисторы номиналом в 1 кОм для обеспечения нагрузки (без них роль нагрузки играл ОК). Если таковые имеются, можно просто вынуть ОК из подключающего устройства. Соответственно выходные каналы ОК, которые сканируются, а так же реакции ОК будут находиться в третьем состоянии. Реакции можно легко получить, имея отсканированные воздействия и заведомо исправный ОК.

Для оценки направленности сигналов теста можно воспользоваться простой «подтяжкой по напряжению». При сканировании теста все каналы, в которые записываются сигналы, являются входными. Чтобы определить направленность каналов, нужно повторно сканировать тест, при этом подтянув каналы к логической единице или нулю. В таком случае каналы, в которые записываются реакции ОК перейдут в логическую единицу или нуль соответственно. Проще всего оценить направленность каналов без участия ОК, так как выходные каналы находятся в третьем состоянии и при подтяжке к логическому нулю или единице перейдут в соответствующее состояние. При этом входные каналы не изменяются. Полученную информацию о направлениях применим для оформления сканированных сигналов в тест.

Данный метод позволяет отсканировать цифровую последовательность (тест) со старых АТО и преобразовать их в тест, пригодный для использования на современных средствах тестового контроля. Таким образом, предприятия могут произвести модернизацию устаревшего оборудования без необходимости создания новых тестов.

В данной статье рассмотрен метод применения АТО в качестве сканера цифровых тестов на примере комплекса УТК-512. Полученные тесты, содержат последовательность входных данных для ОК, эталонные значения на выходах ОК и учитывают динамику смены направления каналов шины данных между ОК и АТО. Данные тесты можно использовать для тестирования объектов контроля на УТК-512.

**Список использованных источников**

1. Michael L. Bushnell, Vishwani D. Agrawal. Essentials of electronic testing for digital, memory and mixed-signal VLSI circuits. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic Publishers, 2000.
2. Применение логических анализаторов в тестировании цифровой техники // Журнал «СТА» («Современные технологии автоматизации»). URL: <https://www.cta.ru/cms/f/366656.pdf>
3. Гришкин В. М., Степанов Ю. Л., Елаев Е. В., Федюкович П. А. Развитие программной среды «ЯСТЕК» и ее использование при написании тестовых программ для цифровых модулей // Вопросы радиоэлектроники. Серия общетехническая. 2015. Вып. 1. № 2. С. 198–205.

**УДК 621.389**

**Д. А. Папулин** (инженер-программист, ОАО «Авангард»)

**А. Д. Смирнов** (аспирант, СПбГУТ)

**Ю. Л. Степанов** (кандидат технических наук, доцент, начальник отдела, ОАО «Авангард»)

## **ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*В данной работе предлагается методика формирования поведенческих моделей для сложных логических элементов, таких как микропроцессоры, ПЛИС, БМК и т. д., для создания поведенческих моделей электронных цифровых модулей, предназначенных для формирования контрольно-диагностических тестов. Данную методику предполагается использовать при невозможности получить исходные коды для данных элементов, либо при отсутствии возможности за адекватное время создать поведенческую модель. Представлены четыре обязательных условия для возможности реализации данной методики. Особо подчеркивается невозможность полного функционального контроля с помощью данной методики.*

*процессор, память, моделирование, сложная логика, тест, диагностика.*

Одной из важнейших операций практически на всех этапах жизненного цикла радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) является тестирование её функционирования и диагностирование возникающих неисправностей и отказов. Процесс разработки контрольно-диагностических тестов требует значительных временных и материальных затрат и привлечение квалифицированных специалистов. В связи с организационными сложностями разработчики тестов, как правило, имеют ограниченное время для работы с конкретным объектом контроля (в дальнейшем – объект контроля (ОК)).

Одним из вариантов снижения влияния этого ограничения является использование имитационных моделей объектов контроля [1].

Если для аналоговой РЭА вопрос адекватности моделей реальным образцам РЭА остается еще открытым, то для цифровой РЭА этот вопрос при соблюдении определенных правил решен [2]. Причем, как показывает опыт, степень адекватности цифровых ОК очень высока, что делает использование имитационных моделей для разработки тестов целесообразным [3, 4].

На современном этапе развития науки в области моделирования цифровой РЭА имитационную модель ОК можно представить в виде связанного графа (см. рис. 1).

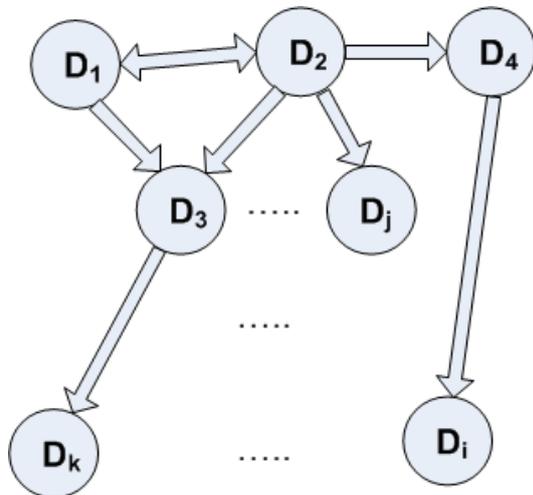


Рис. 1. Представление объектов контроля в виде графа, где узлы графа – компоненты ОК (микросхемы, ПЛИС и т. д.), рёбра графа – связи между компонентами

Данная модель формируется автоматически на основании входных данных. Модели компонентов, так называемые поведенческие модели, создаются при помощи языков описания аппаратуры Verilog HDL, а связи между компонентами формируются из данных, предоставляемых САПР разработки РЭА типа P-CAD, Altium-designer и т. п.

Поведенческие модели создаются, опираясь на опыт разработчиков и материалы из конструкторской, учебной и научной литературы. Сложность этого процесса определяется сложностью компонента, для которого создается поведенческая модель. Особую остроту эта

проблема приобретает при разработке моделей для особо сложных компонентов, таких как микропроцессоры и ПЛИС. Эта проблема усугубляется тем, что в связи с защитой интеллектуальной, коммерческой и/или государственной/военной тайны разработчикам тестов не предоставляются исходные коды «прошивок» этих компонентов, используемых для их перепрограммирования. Вдобавок ко всему, при наличии микропроцессоров корректней описать его архитектуру, а не только его поведенческую модель, что серьезно усложняет задачу разработки модели. Для решения этой задачи предлагается следующий подход.

Допустим в ОК имеется один сложный компонент, например, компонент  $D_3$  на рис. 1. Для всех компонентов ОК, кроме  $D_3$ , имеются модели их функционирования и имеется информация о связях между компонентами. Тогда алгоритм создания теста следующий:

1. Формируем для  $D3$  упрощенную модель (заглушку), принимающую на свои  $a$  входов последовательность значений  $X3$  и выдающую свои на  $b$  выходов последовательность произвольных значений  $Y3$ :

$$X3 = \{X_{31}, \dots, X_{3i}, \dots, X_{3n}\}, \text{ где } X_{3i} = (x_{3i1}, x_{3i2}, \dots, x_{3ia}), \quad (1)$$

где  $X_{3i}$  – входной вектор, подаваемый на  $a$  входов компонента  $D3$  в  $i$ -м такте входной последовательности  $X3$ ,  $x_{3ij}$  – значение сигнала, поступающего на  $j$ -й вход ( $j = 1, \dots, a$ ) компонента  $D3$  в  $i$ -м такте  $X3$ ,

$$Y3 = \{Y_{31}, \dots, Y_{3i}, \dots, Y_{3n}\}, \text{ где } Y_{3i} = (y_{3i1}, y_{3i2}, \dots, y_{3ib}),$$

где  $Y_{3i}$  – реакция компонента  $D3$ , выдаваемая им на свои  $b$  выходы в  $i$ -м такте выходной последовательности  $Y3$ ,  $y_{3ik}$  – значение сигнала, выдаваемого на  $k$ -м выходе, ( $k = 1, \dots, b$ ) компонента  $D3$  в  $i$ -м такте  $Y3$ .

Важно заметить, что для корректности и повторяемости модели необходимо знать, где у микросхемы находится сигнал сброса. Это необходимо для приведения микросхемы в начальное состояние, от которого и будет строиться модель.

2. Создаем отладочную модель ОК и тест на ее основе:

$$T = (X, Z), \quad (2)$$

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}, X_i = (x_1, x_2, \dots, x_d)$$

где  $X$  – последовательность входных векторов теста, подаваемых на  $d$  входы ОК:

$$Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}, Z_i = (z_1, z_2, \dots, z_f),$$

где  $Z$  – последовательность выходных эталонных сигналов теста, формируемых на  $f$  выходах ОК.

3. Выделяем из теста для отладочной модели ОК (2) отладочный тест для компонента  $D3$ :

$$T_3 = (X_3, Y_3).$$

4. На основании отладочного теста последовательность значений  $X3$  теперь приобрела реальные значения, и появляется возможность наполнить реальным содержимым последовательность значений  $Y3$ . Это производится с использованием автоматизированного тестового оборудования (АТО), например, с помощью установки тестового контроля УТК-512, по схеме, представленной на рис. 2.

На рис. 2 в качестве ОК используется отладочная плата компонента  $D3$ . Она содержит разъемы для подачи питающего напряжения, «прошивки» для перепрограммирования компонента и информационных сигналов.

Перед использованием исследуемого компонента (в рассматриваемом случае это компонент  $D3$ ) в качестве ОК необходимо осуществить его перепрограммирование. После этого с данным компонентом можно проводить эксперименты в соответствии со схемой тестирования, представленной на рис. 2.

5. Полученные после подачи в компонент последовательности значений  $X3$  в (1) реальные значения последовательности сигналов  $Y3$  позволяют сформировать модель функционирования компонента  $D3$  для отладочного теста  $T$  (2) и превратить модель ОК из отладочной в полноценную применительно к набору входных векторов  $X$  (2).



Рис. 2. Схема исследований объектов контроля при помощи комплекса УТК-512

После выполнения на полноценной вышеуказанной модели ОК получаем полноценный тест. В связи с наличием обратных связей, пункты 3–5 возможно придется повторить несколько раз.

Таким образом, для любого сложного объекта возможно получить тест при выполнении ряда условий, таких как

наличие:

- отладочной платы для исследуемого компонента  $D_i$ ;
- прошивки для исследуемого компонента  $D_i$  (это касается микропроцессоров, ПЛИС и памяти);
- автоматизируемого тестового оборудования; устройства подключения, обеспечивающего взаимодействия ОК с АТО.

В данной статье предложена методика формирования модели логических элементов с частично определенной логикой. Однако данный подход не позволяет полностью проверить функционал микросхемы, но позволяет проверить наличие связей между компонентами и диагностировать возможные внутренние неисправности кристалла.

#### Список использованных источников

1. Bushnell M. L., Agrawal V. D. Essentials of electronic testing for digital, memory and mixed-signal VLSI circuits. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic Publishers, 2002. P. 712.

2. Степанов Ю. Л. Обеспечение адекватности моделей электронных цифровых модулей при создании контролирующих тестов. // Сборник научных трудов аспирантов, соискателей и студентов магистерской подготовки ОАО "Авангард", вып. 4. СПб.: ОАО "Авангард", 2012. С. 229–240.

3. Гришкин В. М., Степанов Ю. Л., Лопаткин Г. С., Большаков А. А. Подход к разработке тестов цифровых электронных модулей для автоматического тестового оборудования // Вопросы радиоэлектроники. Серия ОТ. 2013. Вып. 1. С. 89–99.

4. Лопаткин Г. С. Подход к автоматизации тестирования электронных цифровых устройств // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2013. № 4. С. 90–98.

## УДК 623.6

А. А. Ракоед (студентка, СПбГУТ)

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОСТАТОВ В КАЧЕСТВЕ РЕТРАНСЛЯТОРОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

*Рассмотрены условия функционирования ретранслятора связи на аэростатах и кайтах. Описан подход к решению проблемы переноса аэростата воздушными потоками от заданного ему местоположения. Установлены технические характеристики воздушных носителей ретрансляторов. Выделены преимущества воздушных шаров по сравнению со спутниками. Определены дальнейшие перспективы развития проекта.*

*аэростат, кайт, ретранслятор связи, воздушные течения.*

Представители компании Google заявляют: «В скором времени Интернет появится везде». Осуществит это ProjectLoon – реализуемый в лабораториях Google X проект, цель которого – предоставление доступа в Интернет жителям сельской местности и удаленных регионов.

В проекте будут использованы высотные аэростаты, дрейфующие в стратосфере на высоте около 17–20 км, для создания беспроводной сети на скоростях до 4G и LTE.

Одной из самых больших проблем воздушных шаров на сегодня выступает ветер. Однако, по словам Google, в стратосфере скорость ветра намного ниже, что делает управление более точным. Для того чтобы оставаться примерно в одной точке, стратостаты будут перемещаться в различные воздушные течения, присутствующие в стратосфере, за счет изменения собственной высоты. Специально разработанное программное обеспечение Google должно учитывать текущие координаты аэростата, получаемые по GPS, и прогноз погоды от U. S. National Oceanic and Atmospheric Administration с картой ветров, чтобы рассчитать, как аэростату достигнуть движения в нужном направлении за счёт его перемещения в воздушных потоках на различной высоте. Высота полёта аэростата будет регулироваться следующим образом: когда вспомогательный баллон наполняется

гелием из основного баллона, аэростат поднимается и, наоборот, спускается при перекачивании гелия из вспомогательного баллона обратно в основной. Такое маневрирование показало себя крайне эффективно. Так в 2015 г. Loon смог совершить полет на 10 000 километров, достигнув желаемой точки с точностью до 500 метров [1].

Питают электронику аэростата солнечные батареи, а в случае аварии и разрушения баллона аппаратный модуль весом 15 кг будет «эвакуирован» на аварийном парашюте. Google также удалось почти в 2 раза (до 100 дней) продлить время непрерывного полета стратостата до момента его обслуживания. Разработчики ProjectLoon добились таких невероятных цифр решением использовать сверхнадежный гибкий пластик. В условиях низких температур стратосферы оболочки тех же метеозондов становились жёсткими и хрупкими, а по тому склонными к разрушению. При этом сверхнадежный пластик в тех же условиях не теряет своей гибкости, тем самым не допуская утечек гелия и повреждения баллона. Подключение пользователей будет производиться усовершенствованным WiFi-роутером. В свою очередь, пользователям придётся использовать специальные направленные антенны для связи со стратостатами. Возможно установление соединения пользователя со стратостатом на расстоянии до 40 км от него. Данные будут передаваться между несколькими стратостатами, пока не достигнут области видимости наземной станции, подключенной к Интернету.

Преимущества воздушных шаров по сравнению с теми же спутниками очевидны. Запуск и управление воздушными шарами обходятся намного дешевле, чем ракетой. В перспективе компания Google планирует расширить границы ProjectLoon и покрыть мир беспроводной сетью из воздушных шаров.

На практике:

Первые испытания проекта ProjectLoon прошли 16 июня 2013 года в Новой Зеландии. Во время этого эксперимента было запущено всего тридцать гигантских воздушных шаров. Инженерам было необходимо убедиться, смогут ли они обеспечить бесперебойный интернет в труднодоступных и отдаленных районах Земли.

Некоторые технические подробности:

Во-первых, шары руководствовались метеоданными NOAA, чтобы оставаться над определёнными областями на высоте в среднем 20 км, самостоятельно управляя высотой зависания, дрейфуя по ветрам, дующим в разных направлениях, и оставаясь таким образом практически "на месте".

Во-вторых, аэростаты, запущенные во множестве, будут служить ретрансляторами и создавать между собой, космическими и наземными сегментами, сеть приёма-передачи данных на огромные расстояния и площади.

В-третьих, сеть предполагается развернуть в пока недоступных для Интернета районах Земли, а также в случаях стихийных бедствий.

Таким образом, для России подобный проект может иметь очень большой интерес.

Тем временем Объединенная приборостроительная корпорация (ОПК) создала серию воздушных кайтов, которые смогут не только проводить мониторинг местности, но и ретранслировать сигналы связи.

Курирует разработку конструкторское бюро автоматики в Долгопрудном, специализирующееся на производстве воздухоплавательной техники.

Такой кайт представляет собой воздушного змея большой площади, способного подниматься на высоту до нескольких километров. Для взлёта используется подкачка гелием, затем «крыло» подхватывает воздушный поток, за счёт которого он и летит.

Кайт сможет решать широкое поле задач. А именно он отлично подойдет для использования в качестве ретранслятора связи для военных кораблей или сухопутных подразделений. С его помощью станет возможным доставлять грузы в условиях пересеченной местности, например, через горы, реки, овраги, а также производить видео- и метеонаблюдение, радиационный контроль и т. д. [2]. Для подхода к решению каждой из перечисленных задач могут быть предусмотрены кайты различной размерности и грузоподъемности, площадью от 30 до 250 м<sup>2</sup>.

Основным достоинством кайта и главным его отличием от аэростата является устойчивость к сильным ветрам. Конструкция кайта обещает стабильность полета даже во время штормовой погоды, когда другие летательные средства не могут подняться в воздух.

При необходимости переброса малогабаритных грузов под куполом будет установлено оборудование, которое позволит регулировать направление. По словам разработчиков, конструкция кайта разрешит его эксплуатацию в экстремальных условиях – на суше, в горах и море.

Идея кайта не нова, она давно интересовала военных и других заказчиков. Но за неимением требуемых материалов технически реализовать ее никак не удавалось. Так при сильном ветре парус не должен рваться, необходимо исключить вероятность потери закреплённой на нём дорогостоящей аппаратуры. Инженеры ОПК справились с этой задачей, в том числе были разработаны специальные сверхпрочные материалы, способные выдерживать сильные ветра, прострелы и порезы.

#### Список использованных источников

1. Общедоступная многоязычная универсальная интернет-энциклопедия со свободным контентом, 2015. URL: [http://ru-wiki.org/wiki/Project\\_Loon](http://ru-wiki.org/wiki/Project_Loon).

2. Статья из крупнейшей российской еженедельной общественно-политической газеты Аргументы и факты, 2016. URL: [http://www.aif.ru/mon-eu/company/opk\\_razrabotala\\_vozdushnogo\\_zmeya\\_dlya\\_razvedki](http://www.aif.ru/mon-eu/company/opk_razrabotala_vozdushnogo_zmeya_dlya_razvedki)

*Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом Сагдеевым А. К., СПбГУТ.*

**УДК 623. 746.-519**

**В. А. Самородницкий** (студент, СПбГУТ)

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

*В данной статье рассмотрены основные типы конструкций и виды систем управления современных беспилотных летательных аппаратов, вопросы обеспечения надежности и прочности конструкции исходя из условий окружающей среды и применяемых требований к эксплуатации, задачи при моделировании и проектировании устройства, решаемые в процессе разработки 3D модели, САПР, в которой будет вестись разработка дрона.*

*Solid Works, БПЛА, 3D моделирование, классификация.*

Согласно Правилам использования воздушного пространства Российской Федерации, БПЛА определяется как «летательный аппарат, выполняющий полет без экипажа на борту и управляемый в полете автоматически, оператором с пункта управления.

Во всем мире и в России в частности наблюдается быстрый рост и развитие Беспилотной летательной техники.

Из всей классификации типов БПЛА наибольшее распространение получили БПЛА самолетного и вертолетного типов. Данные типы БПЛА имеют важные различия. Так самолетный тип выделяется тем, что большинство из этой группы выполнено по схеме «летающее крыло», но также бывают и другие разновидности, которые получили меньшее распространение. В свою очередь вертолетные БПЛА в основном выполняются по двум схемам: вертолетная и мультикоптерная. В описанном признаке лежит принцип расположения движителей и полезной нагрузки.

В результате по описанным признакам можно с легкостью определить тип БПЛА.

Но также существует и классификация по принципу системы управления. Выделяют два основных принципа управления БПЛА:

- автоматические;
- дистанционно-пилотируемые;
- смешанные.

Все мультикоптеры могут классифицироваться по массогабаритному фактору, от которого в некоторой мере зависит длительность полета. Радиус действия данного типа БПЛА в основном зависит от типа используемой аппаратной части.

По размерам рамы выделяют следующие типы вертолетного БПЛА:

- класс 250;
- класс 350;
- класс 450;
- класс 550;
- класс 700;
- класс 800.

Число в названии класса описывает расстояние между осями вращения винтов мультикоптера.

Для описания расположения приводов относительно центра масс мультикоптеры классифицируются по следующим основным схемам:

- Трикоптер (3);
- Квадрокоптер (4);
- Гексакоптер (6);
- Октокоптер (8);
- Многооторные мультикоптеры (> 8).

При проектировании конструкций БПЛА нередко используют стеклопластик. Стеклопластик обладает многими очень ценными свойствами, дающими ему право называться одним из материалов будущего. Некоторые свойства представлены

Самое главное свойство при проектировании РЭА это диэлектрические свойства материала.

Стеклопластики являются прекрасными электроизоляционными материалами при использовании как переменного, так и постоянного тока.

Наилучшими диэлектрическими свойствами обладает кварцевое стекло, содержащее свыше 99 % SiO<sub>2</sub>.

Стеклопластики на основе кварцевых стекловолокон рекомендуются для изделий радиотехнического назначения, где предъявляются особо жесткие требования к уровню и стабильности диэлектрических потерь.

С учетом того, что популярность БПЛА набирает такие обороты, на сегодняшний день при проектировании и моделировании БПЛА, используют различные САПР. Одна из которых является пакет программных продуктов SolidWorks. Системы автоматизированного проектирования (САПР) в настоящее время полностью себя оправдывают и являются

во многих случаях единственно возможными методами при конструировании новых изделий.

Solidworks позволяет решать такие задачи как:

- Конструкторская подготовка производства (КПП);
- Технологическая подготовка производства (ТПП);
- Управление данными и процессами.

Для производства опытной партии изделия понадобится пакет конструкторской документации, включающий в себя чертежи всех изделий, а также сборочный чертеж со спецификацией. Для этого можно также использовать программную среду Solidworks.

#### Список использованных источников

1. Лопота А. В., Николаев А. Б. Беспилотные летательные аппараты. Современные тенденции развития робототехнических комплексов. СПб.: ЦНИИ робототехники и технической кибернетики. 18 с.
2. Белинский Ю. С., Четверников В. Н. Управление четырехвинтовым вертолетом. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Май, 2012.
3. Беспилотные летательные аппараты / С. М. Ганин, А. В. Карпенко, Н. Н. Колногоров, Г. Ф. Петров. СПб.: Невский бастион, 1999. 160 с.
4. Гелль П. П., Иванов-Есипович Н. К. Конструирование радиоэлектронной аппаратуры. Л.: Энергия, 1972. 232 с.

*Статья представлена научным руководителем, ассистентом Капраловым Д. Д., СПбГУТ.*

## УДК 621.3

**О. В. Хатаев** (студент, СПбГУТ)

### РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ТРЁХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

*Прогресс стремительно развивается и технологии всё сильнее укрепляются в жизни людей. Таким образом, например, для быстрого ремонта и воспроизведения предметов, которые человек используют в повседневной жизни, стало удобным использование 3D принтеров. Появление домашних 3D принтеров стимулировало развитие устройств трёхмерного сканирования.*

*В работе рассмотрен принцип создания устройства трёхмерного сканирования. Особенности связи компонентов с микроконтроллером, настройки микроконтроллера Arduino Nano, настройки шагового двигателя и драйвера к нему.*

*3D сканер, микроконтроллер, Arduino, драйвер шагового двигателя.*

Современные технологии призваны значительно упростить жизнь человека, оставляя ему больше времени для реализации себя. Поэтому для удовлетворения различных потребностей человека стали использоваться 3D принтеры. Их интеграция в жизнь человека повлекла за собой расширение возможностей создания моделей для печати. Одна из таких возможностей – объемное сканирование.

3D сканеры различных конфигураций могут закрепиться в различных областях жизнедеятельности человека. В производстве различных масштабов, в быту и даже в медицине. Именно поэтому сложно спорить с актуальностью разработки.

В данной работе рассмотрен процесс создания и настройки устройства объемного сканирования. Его структурная схема представлена на рис. 1.

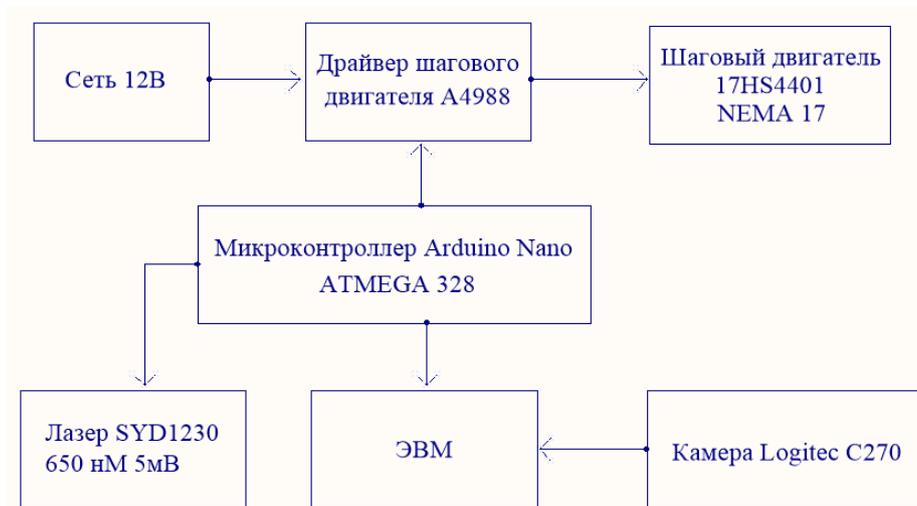


Рис. 1. Структурная схема

Основным модулем устройства трёхмерного сканирования является Arduino Nano, базирующимся на микроконтроллере ATMEGA 328 (см. рис. 2). Этот модуль с помощью драйвера шагового двигателя A4988 (см. рис. 3) управляет шаговым двигателем NEMA17 17HS4401 (см. рис. 4).

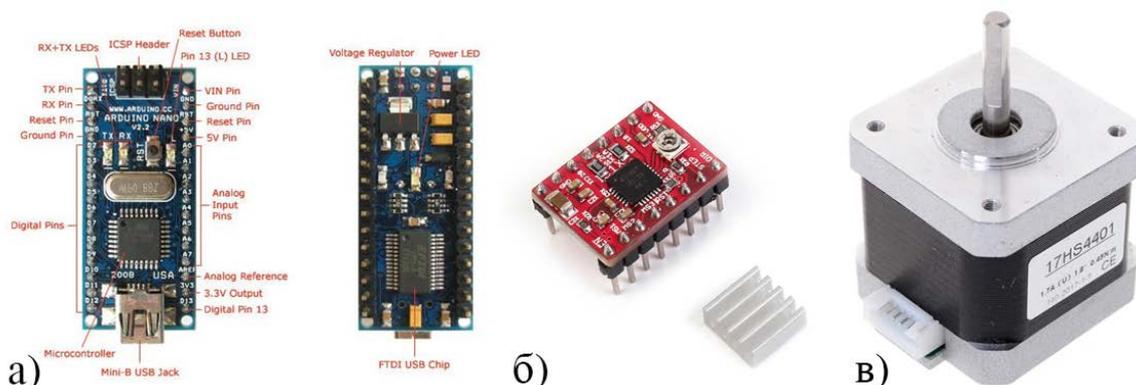


Рис. 2. а) микроконтроллер Arduino Nano ATmega 328,  
б) драйвер шагового двигателя A4988, в) шаговый двигатель 17HS4401

Шаговый двигатель необходим для вращения платформы, на которой находится сканируемый объект, что приведет к сканированию объекта с нескольких сторон.

Драйвер шагового двигателя необходим для управления шаговым двигателем, по ряду причин, одной из которых является питание. Arduino Nano способна выводить на собственные выходы до 5 В. Шаговый двигатель требует 8–35 В напряжения для работы. В данной работе выбрано рабочее напряжение 12 В.

Адаптером питания для шагового двигателя служит AC\DC Адаптер Sagemcom HBSE24120200HE, изображенный на рис. 3. Он преобразовывает напряжение сети 150–250 В к напряжению 12 В. При силе тока 2 А.



Рис. 3. Sagemcom HBSE24120200HE

На вращающийся объект направлены лучи лазерных диодов SYD1230, изображенных на рис. 4. Преимущество этих лазеров в возможности ручной фокусировки и настройки луча.



Рис. 4. Лазерные диоды SYD1230

Камера, подключенная к компьютеру со специальным программным обеспечением, фиксирует искривления лазеров на поверхности сканируемого объекта. По завершении работы сканера получается файл, содержащий облако точек, при обработке которого получается сканируемый объект.

### Настройка драйвера шагового двигателя

Для того чтобы избежать лишних вибраций шагового двигателя, на драйвере необходимо выбрать деление шага. Выбор деления шага осуществляется с помощью переключателей на трёх специальных выходах на драйвере. В таблице приведены значения постановок переключателей для выбора определенного деления шага.

ТАБЛИЦА. Значения для переключателей выбора микрошага драйвера A4988

<i>MS1</i>	<i>MS2</i>	<i>MS3</i>	Микрошаг
-	-	-	Полный
+	-	-	1/2
-	+	-	1/4
+	+	-	1/8
+	+	+	1/16

Для данной работы выбран микрошаг 1/16 от полного шага, т. к. такой микрошаг обеспечивает тихую работу шагового двигателя.

Для стабильной работы шагового двигателя, необходимо рассчитать значение напряжения на драйвере шагового двигателя. Подстройка происходит с помощью резистора переменного сопротивления, расположенного на плате драйвера.

Рассчитывается  $V_{ref}$  – напряжение на переменном резисторе, расположенном на драйвере A4988.  $V_{ref}$  рассчитывается по формуле (1), в зависимости от номинала токочувствительного резистора, расположенного на плате драйвера. На резисторе используемого в данном проекте драйвера, стоит маркировка  $R100$ , что означает сопротивление номиналом  $R_S = 0.100 \text{ Ом}$ .

$$V_{ref} = I_{max} * 8 * R_S, \quad (1)$$

где  $I_{max}$  – номинальный ток двигателя,  $R_S$  – сопротивление токочувствительного резистора.

Таким образом, для шагового двигателя 17HS4401  $V_{ref}$  равняется:

$$V_{ref} = 1.7\text{A} * 8 * 0.100 \text{ Ом} = 1.36\text{В}.$$

Рабочий ток двигателя составляет 70 % от тока удержания, следовательно, полученное значение  $V_{ref}$  необходимо умножить на 0.7 для того, чтобы избежать излишнего нагревания драйвера в режиме удержания двигателя. Таким образом, для двигателя 17HS4401 истинное напряжение  $V_{ref_{ист}}$  будет рассчитано по формуле (2).

$$V_{ref_{ист}} = V_{ref} * 0.7 = 1.36В * 0.7 = 0.952В \quad (2)$$

Таким образом, получаем, что для данного устройства с помощью резистора переменного сопротивления, стоит установить напряжение на драйвере шагового двигателя равное 0.952В.

### Заключение

Калибровка устройства происходит с помощью специального программного обеспечения Nogus, разработанного компанией ВQ. Произвести калибровку можно несколькими способами. В ручном и автоматическом режиме.

При автоматической калибровке устройства необходимо следовать указаниям мастера калибровки.

После калибровки устройство готово к работе.

### Список использованных источников

1. Шаговый мотор NEMA 17, серии 17HS4402 + драйвер A4988 + Arduino NANO. URL: [http://techclub.su/article\\_arduino07](http://techclub.su/article_arduino07)
2. Драйвер A4988. URL: [https://3deshnik.ru/wiki/index.php/%D0%94%D1%80%D0%B0%D0%B9%D0%B2%D0%B5%D1%80\\_A4988](https://3deshnik.ru/wiki/index.php/%D0%94%D1%80%D0%B0%D0%B9%D0%B2%D0%B5%D1%80_A4988)
3. DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection. URL: [https://www.pololu.com/file/download/a4988\\_DMOS\\_microstepping\\_driver\\_with\\_translator.pdf?file\\_id=0J450](https://www.pololu.com/file/download/a4988_DMOS_microstepping_driver_with_translator.pdf?file_id=0J450)
4. Шаговый двигатель. URL: [https://3deshnik.ru/wiki/index.php/%D0%A8%D0%B0%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9\\_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C](https://3deshnik.ru/wiki/index.php/%D0%A8%D0%B0%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C)
5. Базовые знания о шаговых двигателях. URL: <http://motor-fulling.ru/profile/stepper-motor-knowledge.html/122697/0/>
6. Плата Arduino Nano v 3.0. URL: <https://arduino-master.ru/platy-arduino/plata-arduino-nano/>
7. Что такое 3D сканер и как он работает? URL: <https://make-3d.ru/articles/что-такое-3d-сканер-и-как-он-работает/>

*Статья представлена научным руководителем, ассистентом Капраловым Д. Д., СПбГУТ.*

УДК 519.728:004.45

С. М. Шебалин (студент, СПбГУТ)

## РЕАЛИЗАЦИЯ ПОМЕХОЗАЩИЩЁННОЙ СИСТЕМЫ ПРИЕМА/ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕКУРРЕНТНОГО КОДИРОВАНИЯ ФИНКА-ХЕГЕЛЬБАРГЕРА НА БАЗЕ ПЛИС НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ VERILOG

*Практическая ценность данных кодов обусловлена в первую очередь широким распространением каналов передачи информации, в которых преобладают импульсные помехи. Эти помехи вызывают искажения целого ряда из следующих друг за другом символов. Для рекуррентных кодов характерным фактом является то, что операции кодирования и декодирования осуществляются над непрерывной последовательностью символов. Такой метод имеет преимущества, так как представляют возможности для использования в единой избыточности. Язык Verilog используется для программирования логических интегральных микросхем. Данные микросхемы могут использоваться в системах защиты информации.*

*язык Verilog, кодирование Финка-Хегельбаргера, передача информации.*

Проект включает в себя разработку ряда отдельных связанных с собой модулей:

- 2 Модуля FIFO (циклический буфер хранения данных. Предназначен для согласования скорости работы модулей кодирования/декодирования и входной последовательности данных);
- Модуль кодера;
- Модуль декодера;
- 2 модуля преобразования N – битной потоковой шины данных в 1-битную и обратное преобразование.

Основная идея построения рекуррентного кода Финка заключается в том, что в данном коде последовательность кодовых символов не разделяется на отдельные кодовые комбинации. В поток информационных символов включаются корректирующие символы, так что между каждыми двумя информационными символами помещается один корректирующий. Обозначая информационные символы через  $X_j$ , а корректирующие через  $Y_j$  получаем следующую последовательность символов:

$$X_1Y_1, X_2Y_2, X_3Y_3, X_4Y_4 \dots X_jY_j.$$

Информационные символы определяются передаваемым сообщением, а корректирующие формируются по следующему правилу:

$$Y_j = X_{j-\gamma} \oplus X_{j+\gamma+1},$$

где  $\gamma$  – произвольное целое число, называемое шагом кода

$$(\gamma = 0, 1, 2, \dots). \quad (1)$$

На рис. 1 представлено устройство для получения рекуррентной последовательности. Оно состоит из двух сдвигающих регистров, ключа, вспомогательной ячейки и сумматора по модулю два. За время прихода информационного символа ключ переключается дважды. Избыточность такого кода равна 1/2. Он позволяет исправлять все ошибочно принятые символы, кроме некоторых неудачных сочетаний. Так, если  $\gamma = 0$ , он обеспечивает правильное декодирование, когда между двумя ошибочно принятыми символами имеется не менее трех (в некоторых случаях двух) правильно принятых символов (при этом учитываются как информационные, так и корректирующие символы).

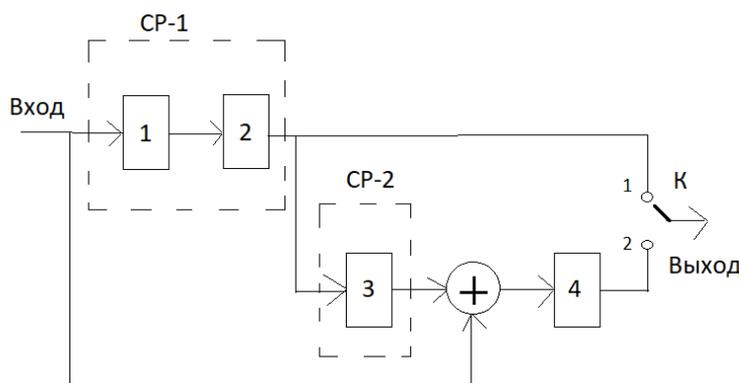


Рис. 1. Устройство для получения рекуррентной последовательности Финка

Существует несколько методов декодирования информации. В данной работе был выбран метод последовательного исключения независимых переменных. При опознании принятого символа обязательно используется информационный символ, который был ранее уже выдан получателю. Этот символ более достоверен, поэтому, если при декодировании использовать первый символ, а не второй, то можно ожидать снижения вероятности ошибочного декодирования. Решение о принятом символе принимается в селекторе по «большинству принятых голосов».

Результат работы модуля кодирования информации представлен на рис. 2.



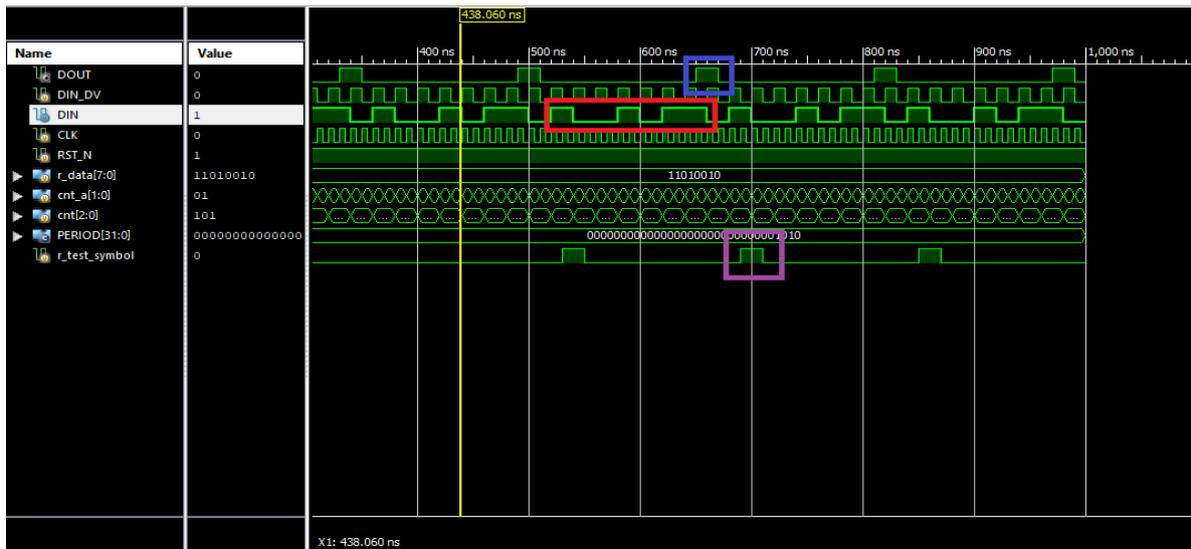


Рис. 3. Режим работы декодера с кодом, содержащим ошибку

Ниже представлен пример реализации модуля кодера на языке Verilog.

```

/* finc_dec finc_dec (.DIN ( ), // in, u[ 1], бит для декодирования
.CLK ( ), // in, u[ 1], такт .DIN_DV ( ), // in, u[ 1], чтение .RST_N ( ), // in, u[ 1], сброс
.DOUT_DV ( ), // out, u[ 1], запись .DOUT ( ) // out, u[ 1], декодированный бит); */
module finc_dec( input wire DIN_DV, input wire DIN, output wire DOUT, output
wire DOUT_DV, input wire CLK, input wire RST_N);
reg [3:0] r_shift_data_dec_a= 'b0; reg [2:0] r_shift_data_dec_b= 'b0; reg [2:0]
r_shift_data_dec_c= 'b0; reg r_cell_A = 'b0; reg r_dout_A = 'b0; reg
r_test_symbol='b0;
// первый сдвигающий регистр
always @ ( posedge CLK ) begin
if ( ~RST_N ) r_shift_data_dec_a <= 'b0;
else if ( DIN_DV ) r_shift_data_dec_a <= {DIN,r_shift_data_dec_a[3:1]};
else r_shift_data_dec_a <= r_shift_data_dec_a; end
// второй сдвигающий регистр
always @ ( posedge CLK ) begin
if ( ~RST_N ) r_shift_data_dec_b <= 'b0;
else if ( DIN_DV ) r_shift_data_dec_b <= { ( r_shift_data_dec_a[0] ^ r_cell_A
),r_shift_data_dec_b[2:1]};
else r_shift_data_dec_b <= r_shift_data_dec_b; end
// третий сдвигающий регистр
always @ ( posedge CLK ) begin
if ( ~RST_N ) r_shift_data_dec_c <= 'b0;
else if ( DIN_DV ) r_shift_data_dec_c <= {( r_shift_data_dec_b[0] ^ r_cell_A
),r_shift_data_dec_c[2:1]};
else r_shift_data_dec_c <= r_shift_data_dec_c; end
// Триггер: за такт пропускает сигнал с выхода селектора
reg r_le = 1'b0;
always @ ( posedge CLK ) begin
if ( ~DIN_DV ) r_le <= ~r_le; end

```

```

// селектор
always @ ( posedge CLK ) begin
if ( DIN_DV ) r_dout_A <= ( r_shift_data_dec_a[1]^DIN && r_shift_data_dec_b[1] ||
(r_shift_data_dec_a[1]^DIN && r_shift_data_dec_c[1]) || (r_shift_data_dec_b[1] &&
r_shift_data_dec_c[1]));
else r_dout_A <= r_dout_A; end
// запись декодированного бита в ячейку A
always @ ( posedge CLK ) begin
if ( ~DIN_DV ) r_cell_A <= r_dout_A;
else r_cell_A <= r_cell_A; end
// проверка символа: лог 0, если приняты бит не трансформированнн.
always @ ( posedge CLK ) begin
if ( DIN_DV ) r_test_symbol <= r_shift_data_dec_c[0] ^ r_cell_A;
else r_test_symbol <= r_test_symbol; end
// выдача принятого бита на выход
assign DOUT = r_dout_A;
endmodule

```

#### Список использованных источников

1. Владимиров С. С. Математические основы помехоустойчивого кодирования: учебное пособие. СПб.: СПбГУТ, 2016. 96 с.
2. Королев А. И. Коды и устройства помехоустойчивого кодирования информации: учебное пособие. 2002. 286 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Ликонцевым А. Н., СПбГУТ.*

#### УДК 621.376

**И. Г. Шибарова** (студент, СПбГУТ)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОБНАРУЖИТЕЛЕЙ СИГНАЛА НА ФОНЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОМЕХ

*Одной из главных задач в сфере радиолокации и радионавигации является задача обнаружения сигнала на фоне некоторой помехи. В процессе детектирования можно столкнуться с множеством мешающих факторов, одним из таких факторов можно считать характер помехи. Как известно, помехи можно классифицировать по различным признакам, в данной работе был рассмотрен такой признак, как свойство менять свои характеристики с течением времени, т. е. стационарность или нестационарность помехи. При стационарном характере помехи реализация обнаружителя не влечет за собой никаких сложностей, но при нестационарном характере возникают дополнительные проблемы.*

*обнаружитель, нестационарная помеха, сигнал, детектирование.*

## Постановка задачи

Необходимо на принятой шумовой реализации четко выделить сигнальную часть, используя различные методы, такие как поточечное обнаружение и обнаружение с накоплением, реализованное на реальном радиолокационном изображении. Немаловажным также будет являться выбор порога в пороговом устройстве: в ходе статьи будут рассмотрены как постоянные, так и адаптивные пороги.

## Краткая теоретическая справка

В ходе исследования в качестве сигнальных и шумовых распределений были выбраны нормальное и экспоненциальные распределения. Плотности вероятности представлены на рис. 1.

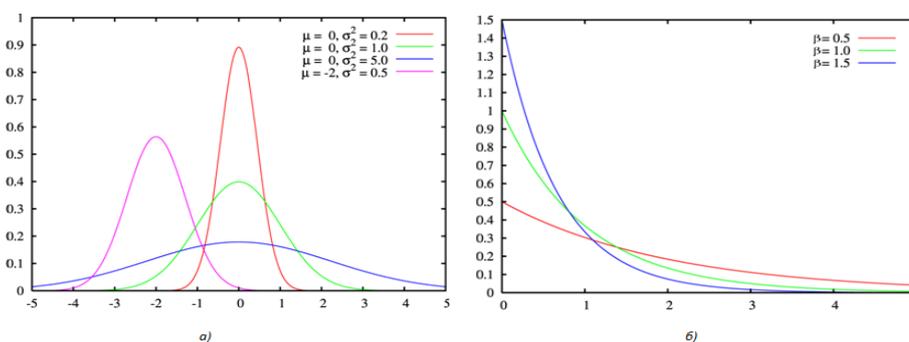


Рис. 1. Графики плотности вероятности а) нормального распределения для разных значений математического ожидания  $m$  и дисперсии  $\sigma^2$ ; б) экспоненциального распределения для разных значений параметра масштаба  $\beta$

Задача обнаружения формулируется как задача проверки гипотезы  $H_0$ :

сигнала нет, против гипотезы  $H_1$ : сигнал есть.

К основным элементам задачи обнаружения (см. рис. 2) можно отнести: событие (e), сигнал (s), наблюдение (y) и решение (d).

Наблюдения зависят от вида излучения, формы полезного сигнала, типа помехи и вида ее взаимодействия с сигналом, а также от структуры предварительной обработки. Решения  $d_0$  и  $d_1$ , принимаемы в пользу  $H_0$  и  $H_1$ , зависят как от самих событий (появление сигналов в отдельных элементах), так и от наблюдений и способа обработки.

	$H_0$	$H_1$
e	$p(H_0)$	$p(H_1)$
s	0	$s(t)$
y	$y(t)=n(t)$	$y(t)=s(t)+n(t)$
d	$d_0$	$d_1$

Рис. 2. Основные элементы задачи обнаружения

Из рис. 2 видно, что возможны четыре ситуации в ходе обнаружения:

- $e(H_0)d(H_0)$  - правильное не обнаружение
- $e(H_0)d(H_1)$  - ложная тревога
- $e(H_1)d(H_0)$  - пропуск
- $e(H_1)d(H_1)$  - правильное обнаружение

В процессе детектирования решающая статистика попадает на пороговую схему, после чего, сравниваясь с порогом, можно получить решение о том, что на выходе: сигнал или шум. В данном случае встает вопрос о выборе оптимального (наилучшего) алгоритма обработки.

Оптимальный алгоритм требует выбора критерия оптимальности, определяющий для каждого алгоритма некий показатель качества. Этот показатель позволит при заданной модели упорядочить все рассматриваемые алгоритмы и выбрать наилучший. Поэтому вводится такое понятие как критерий обнаружения. Самыми распространенными являются Байесовский критерий и критерий Неймана-Пирсона.

Байесовский критерий: каждому ошибочному решению ставится в соответствии некоторая плата – стоимость ошибки, лучшей системой обработки будет та, которая удовлетворяет критерию минимального риска т. е. минимума этой стоимости.

Критерий Немана-Пирсона: выбирается такое правило обнаружения, которое обеспечивает минимальную величину вероятности пропуска сигнала при условии заданной величины ложной тревоги  $F_0$  (1)

$$\int_{Y_{\text{нз}}}^{\infty} f_0(y)dy = F_0. \tag{1}$$

### Задача поточечного обнаружения сигналов на изображении

Рассмотрим задачи (E-E) и (N-N), их алгоритм и моделирование.

Задача (E-E), когда помеха и сигнал имеют экспоненциальное распределение  $y \sim E(\beta_0)$  и  $y \sim E(\beta_1)$  соответственно (т. е. изменяется масштаб распределения).

Параметрическая (E-E) задача обнаружения выглядит следующим образом:  $H_0 : \beta = \beta_0$ ,  $H_1 : \beta = \beta_1$ , где  $\beta_1 \neq \beta_0$  – известные значения.

Задача (N-N) описывается двумя теориями:  $H_0 : y \sim N(m_0, \sigma^2)$  – в данной точке находится шум и  $H_1 : y \sim N(m_1, \sigma_1^2)$  – в данной точке сигнал.

Расчет порогов: в случае шума с экспоненциальным распределением  $E(\beta_0)$  порог Неймана-Пирсона выглядит следующим образом

$$y_{NP} = a \cdot \beta_0 / (\lg e) \approx a \cdot \beta_0 / 0,4343. \tag{2}$$

При заданных параметрах  $\beta_0 = 30$  и  $F_0 = 10^{-2}$ , получаем  $y_{NP} = 138.155$ .

Для нормального распределения шума порог Немана-Пирсона выглядит так:

$$y_{NP} = m_0 + c_F * \sigma_0. \tag{3}$$

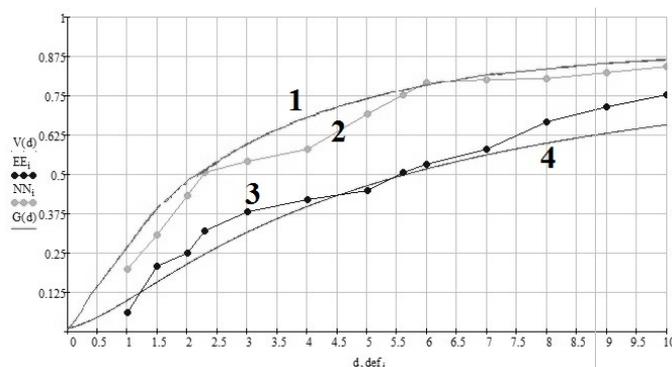


Рис. 3. Характеристика обнаружения для разных распределений:  
 1 – N-N теоретический,  
 2 – N-N экспериментальный,  
 3 – E-E экспериментальный,  
 4 – E-E теоретический

При заданных параметрах  $m_0 = 30$ ,  $\sigma_0 = 30$  и процентную точку  $c_F = 2.326$ , получаем  $y_{NP} = 100$ .

Учитывая пороги (2) и (3) и теоретические данные, построим характеристики обнаружения (рис. 3).

Сравнивая между собой задачи обнаружения (E-E) и (N-N), видно, что качество обнаружения ухудшается при переходе от нормального распределения, что наглядно видно по рис. 3.

### Задача обнаружения сигнала неизвестной формы на реальном изображении

Данная задача обнаружения является наиболее актуальной, но основная трудность состоит в том, сложно однозначно выделить необходимые объекты на изображении, а прочие сгладить. Для этого воспользуемся методом окон.

Все моделирование было проведено при помощи программы, написанной в среде MATLAB. Введем изображение (рис. 4).

Сначала изображение бинаризуется т. е. переводится в черно-белый цвет, а затем была проведена обработка по методу Отсу (глобальный порог). Результат обработки представлен на рис. 5.

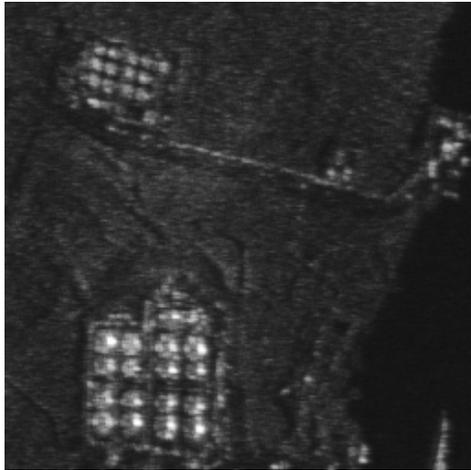


Рис. 4. Исходное радиолокационное изображение



Рис. 5. Пороговая обработка бинарного изображения по методу Отсу

Судя по рис. 5, можно сказать, что были выделены некоторые объекты на изображении, и этого достаточно, то обработку можно прекратить.

Но могут стоять и другие цели.

Пусть имеется три задачи: обнаружить только крупные объекты (только очертания объектов), обнаружить и крупные, и средние объекты и обнаружить более мелкие объекты.

Для решения данных задач используем разные размеры окон и значения пороговых констант. Результаты представлены на рис. 6.



*Помеховое окно 49x49, сигнальное окно 25x25  
пороговая константа 1.05*



*Помеховое окно 9x9, сигнальное окно 7x7  
пороговая константа 1.3*



*Помеховое окно 5x5, сигнальное окно 3x3  
пороговая константа 1.15*

Рис. 6. Правильное обнаружение сигнала на фоне шума методом пороговой обработки

Как видно по рис. 6, чем больше окно, тем больше сглаживание объектов.

## **Выводы**

Не существует универсального метода обнаружения, все зависит от конкретных поставленных задач и желаемых целей.

## **Список использованных источников**

1. Волков В. Ю. Обнаружение и различение сигналов в радиотехнических системах: учеб. пособие. СПб.: СПбГУТ, 2017.
2. Крамер Г. Математические методы статистики / пер. с англ. М.: Мир, 1975.
3. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1989. 656 с.
4. Волков В. Ю. Адаптивные, инвариантные и робастные методы обнаружения и различения сигналов: учеб. пособие: часть 2. СПб.: СПбГУТ, 2008.

*Статья представлена научным руководителем,  
доктором технических наук, профессором Волковым В. Ю., СПбГУТ.*

**УДК 004.89**

**А. С. Шопша** (студентка, СПбГУТ)

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ АМОРТИЗАЦИИ УСТРОЙСТВ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

*На сегодняшний день существует множество устройств трехмерного сканирования, однако большинство из них нуждаются в дополнительной системе амортизации. Такая система необходима для улучшения качества сканирования объекта в связи с гашением колебаний шагового двигателя на частотах близких к его резонансным и поглощением вибраций внешней среды.*

*устройства трехмерного сканирования, 3D-сканер, система амортизации, SolidWorks, статический анализ.*

Во время эксплуатации вся радиоэлектронная аппаратура (РЭА) подвергается значительному количеству внешних воздействующих факторов (ВВФ), среди которых можно выделить следующие основные группы: механические, климатические, биологические, термические, а также специальные среды, электромагнитные и радиационные представленные на рис. 1.

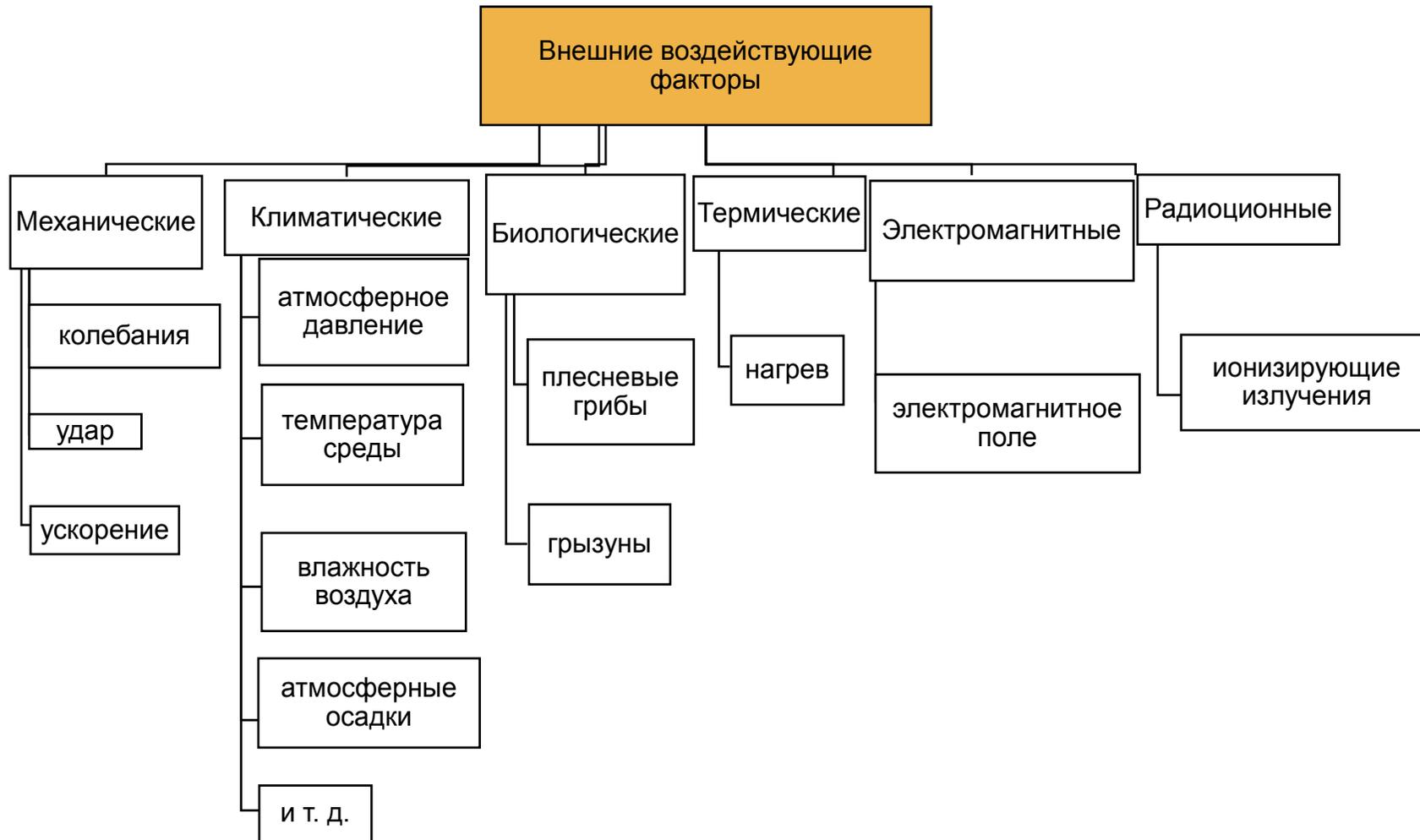


Рис. 1. Номенклатура ВВФ

Однако в данной статье рассматривается не вся РЭА, а лишь класс наземной стационарной аппаратуры, располагаемой в отапливаемых помещениях. И для этого класса количество дестабилизирующих факторов значительно меньше. Наиболее опасными являются собственные перегрузки, влияние влажности и механические воздействия.

Механическим воздействиям и посвящено данное исследование. К механическим ВВФ относятся случайная и синусоидальная вибрации, удары и шум.

В качестве разрабатываемого устройства был выбран 3D-сканер, т. к. на сегодняшний день они являются развивающейся отраслью и активно используются в промышленности, медицине, науке, образовании и искусстве.

Такая популярность обусловлена их высокой скоростью работы и точностью измерения исследуемого объекта.

3D-сканер – это конструктивно законченное изделие полностью обеспечивающее устойчивость к внешним воздействиям. Однако если воспроизводить такое устройство самостоятельно, то возникает ряд проблем. И одна из них – это механические ВВФ в результате влияния которых могут возникнуть деформации конструкции, а также снизится точность измерений.

Для начала разберемся с внешними вибрационными воздействиями. Вероятнее всего устройство будет установлено на лабораторном столе, а это значит, что конструкции будут передаваться вибрации, возникающие при перемещении людей или работе техники, находящейся в здании.

Внутренние вибрации обусловлены шаговым двигателем, входящим в состав устройства. Шаговым двигателям свойственен нежелательный эффект, называемый резонансом. Он проявляется в виде внезапного падения момента на некоторых скоростях. Дело в том, что, когда двигатель совершает шаг, ротор не сразу устанавливается в новую позицию, а совершает затухающие колебания. Это и приводит к резонансу. Амплитуда колебаний ШД передается конструкции через его закрепленный к ней корпус. А это, в свою очередь, приведет к колебаниям всей установки и скажется на качестве сканирования.

Существует достаточное количество способов бороться с этими воздействиями. В рамках данного исследования был сделан выбор в пользу введения амортизаторов в состав конструкции устройства трехмерного сканирования. Да, они не способны исключать такого рода воздействия абсолютно, но способны уменьшить их до значений безопасных для конструкции.

В данном исследовании был проведен статический расчет системы амортизации. Целью данного расчета является определение статических нагрузок на амортизаторы и выбор их типоразмеров.

Произведя необходимые расчеты были получены статические нагрузки на амортизаторы 9,25Н. Исходя из значений, которых, а также из условий эксплуатации, представленные в табл., были выбраны амортизаторы рожкового типа АР-8. Т.к. они обладают достаточной вибропрочностью и способны работать в заданном диапазоне температур.

ТАБЛИЦА. Характеристики устройства по ГОСТ 16019-78

Характеристика	Численное значение
Диапазон рабочих температур	• $-50^{\circ}\text{C} \dots +60^{\circ}\text{C}$
Резонанс конструкции с амплитудой виброперемещений	10...30 Гц 0,5 мм
Устойчивость к синусоидальным вибрациям с амплитудой виброускорения	10...120 Гц до 6 g
Пиковое ударное ускорение	15 g

Для подтверждения расчетов был произведен анализ конструкции устройстве в САПР SolidWorks. Анализ модели проводился методом от известного, т. е. задавались значения амортизаторов, которые были рассчитаны теоретически, а после этого производился расчет.

Попадание полученных параметров в допустимые рамки говорило о корректности теоретических расчетов и правильности выбора системы амортизации.

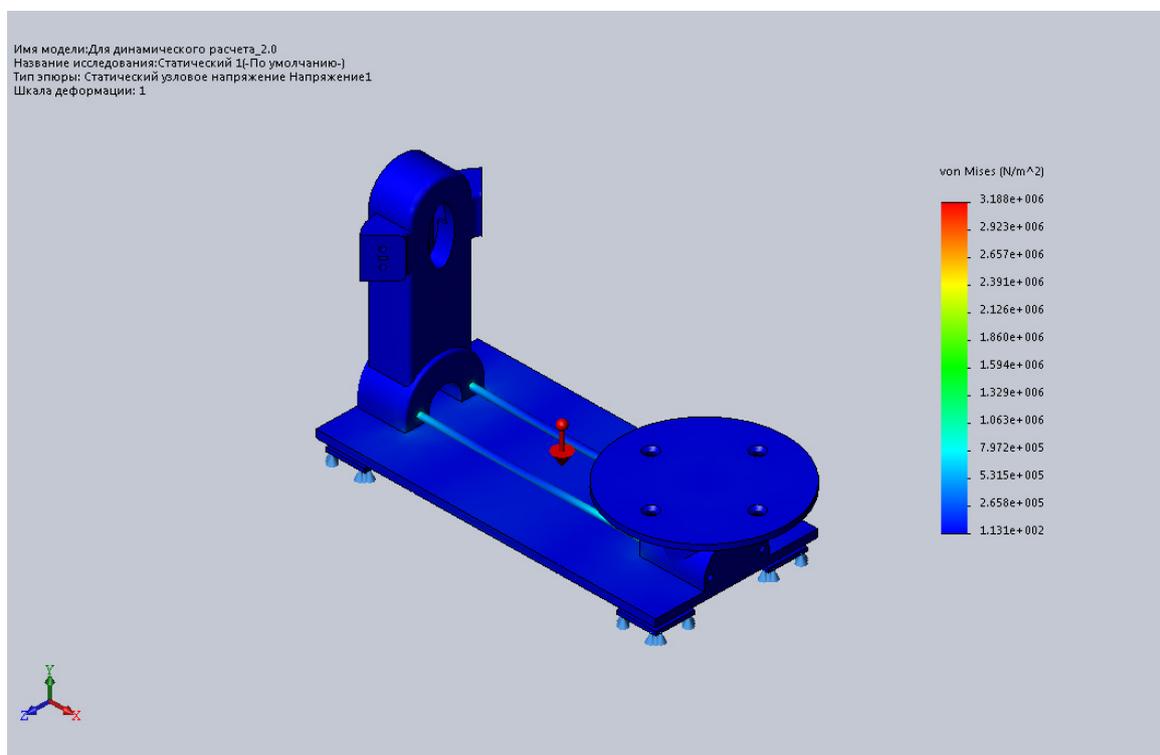


Рис. 2. Результаты исследования напряжения

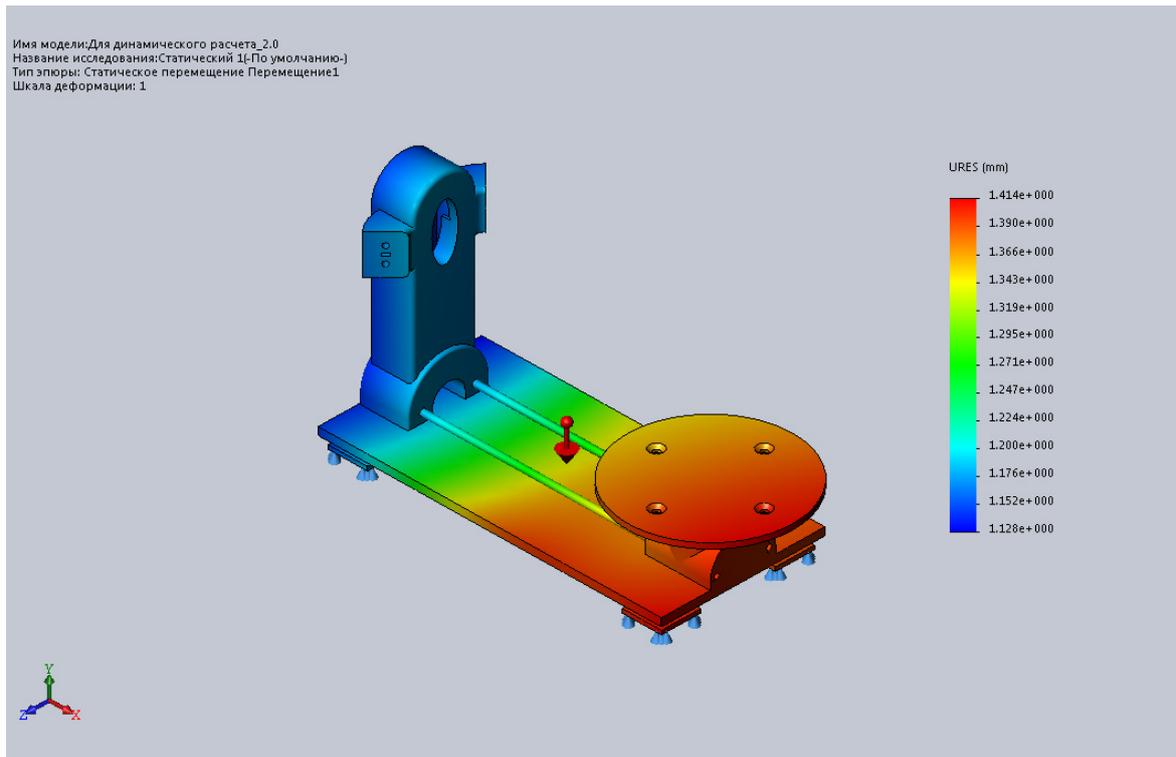


Рис. 3. Результаты исследования перемещения

Из рис. 2 видим, что максимальное значение напряжения по вертикали 3,1 МПа. Зная, что пластик ABS имеет максимальную прочность при сжатии: 46 МПа, можем сделать вывод о том, что выбранный амортизатор вполне обеспечивает поглощение статических вертикальных нагрузок.

Далее из рис. 3 видим, что максимальное перемещение равно 1,4 мм, а амортизатор рожкового типа способен поглощать амплитуду колебаний до 1,5 мм. Значит, что и этот параметр был подобран верно.

#### **Вывод.**

В рамках данного исследования была рассмотрена проблематика вибрационных воздействий и обоснована необходимость амортизации устройств трехмерного сканирования. Также были проанализированы статические вибрационные воздействия в программном продукте SolidWorks.

#### **Список использованных источников**

1. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 445 с.
2. Варламов Р. Г. Краткий справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры. М.: Советское радио, 1997.
3. Гелль П. П., Иванов-Есипович Н. К. Конструирование радиоэлектронной аппаратуры. Л.: Энергия, 1972. 232 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
 ассистентом Капраловым Д. Д., СПбГУТ.*

УДК 681.7

Л. В. Алейникова (студентка, СПбГУТ)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКОГО  
ДЕМУЛЬТИПЛЕКСОРА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ AWG**

*Технология волнового мультиплексирования WDM (Wavelength Division Multiplexing) позволяет вводить в оптическое волокно на передающей и выводить из него на приемной стороне высокоскоростные сигналы одновременно на  $n$  оптических несущих с различными длинами волн, увеличивая в  $n$  раз пропускную способность одного оптического волокна. Объединение и разделение сигналов осуществляют оптические мультиплексоры и демультиплексоры. В работе проведено моделирование оптического демультиплексора в интегральном исполнении.*

*Wavelength Division Multiplexing, WDM, мультиплексор WDM, демультиплексор WDM, интегрально-оптический демультиплексор, спектральный канал, перекрестные помехи, AWG.*

Одной из наиболее перспективных и востребованных в настоящее время технологий, применяемых в цифровых волоконно-оптических сетях, является технология спектрального мультиплексирования (*Wavelength Division Multiplexing* – WDM). Системы WDM позволяют вводить в оптическое волокно (ОВ) на передающей стороне и выводить из него на приемной стороне высокоскоростные сигналы одновременно на  $n$  оптических несущих с длинами волн  $\lambda_i$  ( $i = 0, 1, \dots, n$ ), увеличивая в  $n$  раз пропускную способность одного ОВ.

Объединение сигналов в один поток осуществляется с помощью оптического мультиплексора, а их разделение – с помощью оптического демультиплексора. Операции демультиплексирования и мультиплексирования могут осуществляться одними и теми же устройствами – пассивными мультиплексорами-демультиплексорами, так как они чаще всего обладают свойством обратимости. Поэтому в данной работе анализируется только процесс демультиплексирования.

В настоящее время наилучшими параметрами обладают интегральные оптические мультиплексоры и демультиплексоры, основанные на использовании массивов планарных волноводов, называемых в литературе *Arrayed Waveguide Gratings (AWG)*. Особенностью AWG является то, что длины любых двух соседних волноводов в массиве отличаются на одну и ту же величину  $\Delta L$ , благодаря чему массив ведет себя подобно дифракционной решетке.

Конструкция интегрально-оптического демультиплексора представлена на рис. 1 [1, 2]. Кроме массива волноводов он содержит входные и выходные планарные волноводы, а также две пластины, имеющие посто-

янный по всей площади показатель преломления. Излучение группового сигнала, выходящее из входного волновода, в первой пластине представляет собой расходящийся пучок. С выхода первой пластины излучение попадает одновременно во все волноводы массива AWG. Поскольку все волноводы в массиве имеют разную длину, излучение на их выходах будет иметь разные фазы.

Во второй пластине происходит интерференция излучения, выходящего из волноводов AWG, в результате которой происходит фокусировка оптических несущих в выходные волноводы.

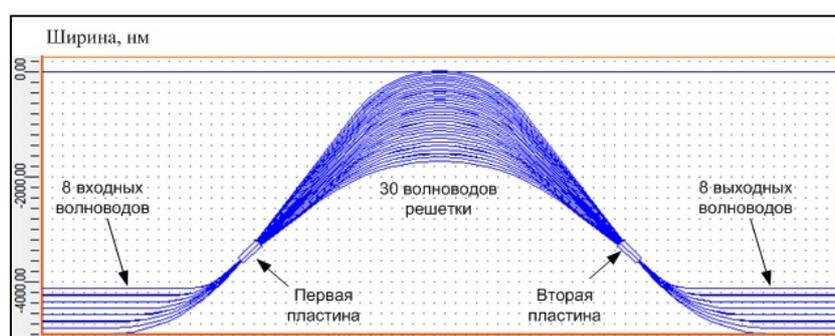


Рис. 1. Конструкция демультимплектора AWG, моделируемого в работе

Важнейшими оптическими параметрами демультимплектора являются вносимые потери на каждой из несущих длин волн (в каждом спектральном канале) и уровень перекрестных помех, создаваемых каждым спектральным каналом другим каналам.

В работе было проведено моделирование демультимплектора AWG, позволяющего разделить 8 каналов (рис. 1) DWDM с частотами от 193 до 193.7 ТГц с шагом между каналами 100 ГГц с помощью программы *WDM Phasar* (Optiwave, Канада). Параметры устройства представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Параметры моделируемого демультимплектора

Наименование параметра	Входные волноводы	Выходные волноводы	Волноводы решетки	Пластины
Количество волноводов/пластин	8	8	30	2
Длина одного волновода/пластины, мкм	485.49	485.49	970.98	485.49
Ширина одного волновода/пластины, мкм	1.5	1.5	1.5	–
Эффективный показатель преломления волновода/пластины	3.36101	3.36101	3.36101	3.36101
Минимальное расстояние между соседними волноводами, мкм	4.35	4.35	4.35	–
Приращение длины, мкм	–	–	75.467	–
Эффективный показатель преломления основной моды	3.3478	3.3478	3.3478	–

Наименование параметра	Входные волноводы	Выходные волноводы	Волноводы решетки	Пластины
Диаметр поля основной моды, мкм	1.4195	1.4195	1.4195	–

Программа WDM Phasar [3] позволяет моделировать процесс распространения электромагнитной волны в демультимплексоре. На рис. 2 представлены результаты измерения нормированной амплитуды электрического поля в выходных волноводах при подаче на один из входных волноводов сигнала с длиной волны 1550.12 нм, соответствующего 4-му каналу (табл. 2). Аналогичные измерения были проведены для всех 8-ми каналов. По результатам измерений рассчитывались вносимые потери в каждом спектральном канале по выражению:

$$a_i = 20 \lg(E_{0i}/E_i), \quad (1)$$

где  $E_i$  – амплитуда электрического поля на выходе  $i$ -го выходного волновода, предназначенного для вывода сигнала  $i$ -ого спектрального канала,  $E_{0i}$  – амплитуда электрического поля  $i$ -ого спектрального канала на входе демультимплексора. Результаты измерений и расчетов представлены в табл. 2. Из табл. 3 видно, что минимальные вносимые потери составили около 7 дБ.

ТАБЛИЦА 2. Результаты измерения вносимого демультимплексором затухания

Номер канала $i$	Обозн. канала согласно рек. МСЭ	Длина волны, нм	Частота, ТГц	Нормированная амплитуда электрического поля на выходе демультимплексора $E_i / E_{0i}$	Вносимые потери, дБ
1	СН37	1547.72	193.7	0.385	8.291
2	СН36	1548.51	193.6	0.416	7.618
3	СН35	1549.32	193.5	0.436	7.210
<b>4</b>	<b>СН34</b>	<b>1550.12</b>	<b>193.4</b>	<b>0.447</b>	<b>6.994</b>
5	СН33	1550.92	193.3	0.446	7.013
6	СН32	1551.72	193.2	0.444	7.052
7	СН31	1552.52	193.1	0.438	7.171
8	СН30	1553.33	193.0	0.402	7.915

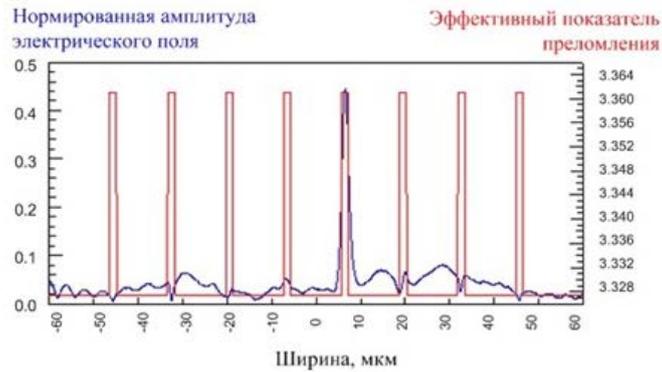


Рис. 2. Нормированная амплитуда электрического поля и эффективный показатель преломления в выходных волноводах демультиплексора для канала СН34

Оценим перекрестные помехи, возникающие в демультиплексоре. Из рис. 2 видно, что излучение спектрального канала преимущественно фокусируется в «свой» волновод, но при этом создает помехи в других волноводах. Эти помехи можно характеризовать переходным затуханием на дальнем конце  $A_{ij}$ , которое можно рассчитать по выражению:

$$A_{ij} = 20 \lg(E_{0i}/E_j), \quad (2)$$

где  $E_{0i}$  – амплитуда электрического поля  $i$ -го спектрального канала на входе демультиплексора,  $E_j$  – амплитуда электрического поля  $i$ -го спектрального канала на выходе  $j$ -го выходного волновода, предназначенного для вывода сигнала  $j$ -го спектрального канала ( $i \neq j$ ). Наименьшее значение  $A_{ij}$  (при  $j \neq i$ ) называют изоляцией канала

$$ISOL_i = \min A_{ij}. \quad (3)$$

Измеренные значения  $E_j/E_{0j}$  для всех спектральных каналов, а также результаты расчета переходного затухания на дальнем конце  $A_{ij}$  по выражению (2) и изоляции каналов по выражению (3) приведены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что изоляция спектральных каналов от перекрестных помех в моделируемом демультиплексоре составила не менее 19.74 дБ. Переходное затухание для смежных каналов составило в среднем от 20 до 30 дБ, для несмежных каналов – от 27 до 54 дБ.

ТАБЛИЦА 3. Результаты расчета переходного затухания на дальнем конце и изоляции каналов

Номер влияющего канала	Номер канала, подверженного влиянию																Изоляция канала, дБ
	СН37		СН36		СН35		СН34		СН33		СН32		СН31		СН30		
	$E_j / E_{0i}$	$A_{lij}$ , дБ	$E_j / E_{0i}$	$A_{lij}$ , дБ	$E_j / E_{0i}$	$A_{lij}$ , дБ	$E_j / E_{0i}$	$A_{lij}$ , дБ	$E_j / E_{0i}$	$A_{lij}$ , дБ	$E_j / E_{0i}$	$A_{lij}$ , дБ	$E_j / E_{0i}$	$A_{lij}$ , дБ	$E_j / E_{0i}$	$A_{lij}$ , дБ	
СН37	–	–	0.103	19.74	0.038	28.40	0.002	53.98	0.014	37.08	0.017	35.39	0.008	41.94	0.020	33.98	19.74
СН36	0.022	33.15	–	–	0.081	21.83	0.042	27.54	0.010	40.00	0.018	34.89	0.010	40.00	0.030	30.46	21.83
СН35	0.014	37.08	0.067	23.48	–	–	0.053	25.51	0.030	30.46	0.008	41.94	0.012	38.42	0.006	44.44	23.48
СН34	0.010	40.00	0.025	32.04	0.066	23.61	–	–	0.053	25.51	0.018	34.89	0.006	44.44	0.007	43.10	23.61
СН33	0.002	53.98	0.010	40.00	0.004	47.96	0.069	23.22	–	–	0.040	27.96	0.016	35.92	0.020	33.98	23.22
СН32	0.004	47.96	0.006	44.44	0.020	33.98	0.012	38.42	0.065	23.74	–	–	0.028	31.06	0.010	40.00	23.74
СН31	0.016	35.92	0.006	44.44	0.020	33.98	0.010	40.00	0.030	30.46	0.063	24.01	–	–	0.050	26.02	24.01
СН30	0.020	33.98	0.012	38.42	0.008	41.94	0.018	34.89	0.012	38.42	0.040	27.96	0.075	22.50	–	–	22.50

**Список использованных источников**

1. Katsunary Okamoto. Fundamentals of optical waveguides. Second edition. – Elsevier Inc, 2006.
2. Meint K. Smit, Cor van Dam. PHASAR-based WDM-devices: principles, design and applications. – IEEE journal of selected topics in quantum electronics, vol. 2, no. 2, June 1996.
3. WDM Phasar. User's Guide. Ver. 2.0 for Windows. – Optiwave Design Software.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Былиной М. С., СПбГУТ.*

**УДК 681.7**

**Д. Д. Алексеева** (студентка, СПбГУТ)

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКОГО МУЛЬТИПЛЕКСОРА  
ДЛЯ СИСТЕМЫ DWDM**

*Для транспортных сетей наиболее перспективной является технология плотно-го спектрального уплотнения, реализуемая с помощью оптических мультиплексоров (MUX) и демультимплексоров (DEMUX). Наилучшими на сегодняшний день характеристиками обладают интегрально-оптические MUX/DEMUX, на основе массива планарных волноводов (AWG). В работе было проведено экспериментальное исследование параметров 40-канального DEMUX AWG с разносом каналов 100 ГГц: вносимых потерь и переходного затухания на дальний конец (FEXT).*

*волоконно-оптические системы передачи, технология спектрального уплотнения, мультиплексирование, демультимплексирование, мультиплексор на основе планарных волноводов, AWG, DWDM.*

Мультиплексор/демультимплексор на основе фазированной решетки волноводов (*Arrayed-Waveguide Grating, AWG*) широко используется в оптических сетях с применением технологии спектрального мультиплексирования (*Wavelength Division Multiplexing, WDM*), которая позволяет увеличить пропускную способность одного оптического волокна. На рис. 1 представлена конструкция AWG демультимплексора, который состоит из входных и выходных планарных волноводов, двух пластин и фазированной решетки, образованной группой планарных волноводов разной длины, причем длины любых двух соседних волноводов отличаются на одну и ту же величину  $\Delta L$  [1].

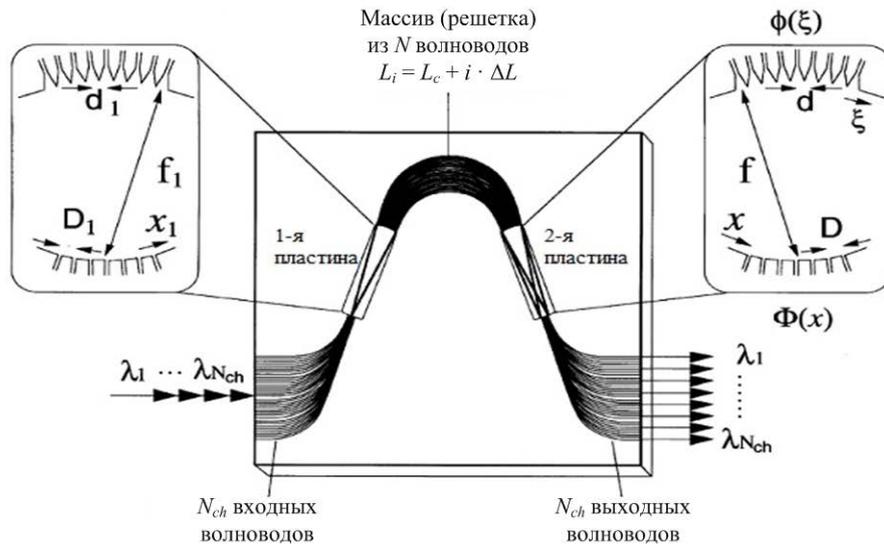


Рис. 1. Демультимплексор AWG

Излучение мультиплексированного сигнала из входного волновода попадает в 1-ю пластину, образуя расходящийся пучок, который затем попадает во все волноводы фазированной решетки. В пластине 2 сигналы, прошедшие по каждому из волноводов решетки, интерферируют, в результате чего происходит фокусировка излучения в выходные волноводы.

В работе было проведено экспериментальное исследование демультимплексора для системы DWDM, предназначенного для демультимплексирования 40 каналов с интервалом между ними 100 ГГц. Измерялись вносимые демультимплексором потери при разделении группового сигнала по отдельным каналам. Схемы измерения представлены на рис. 2.

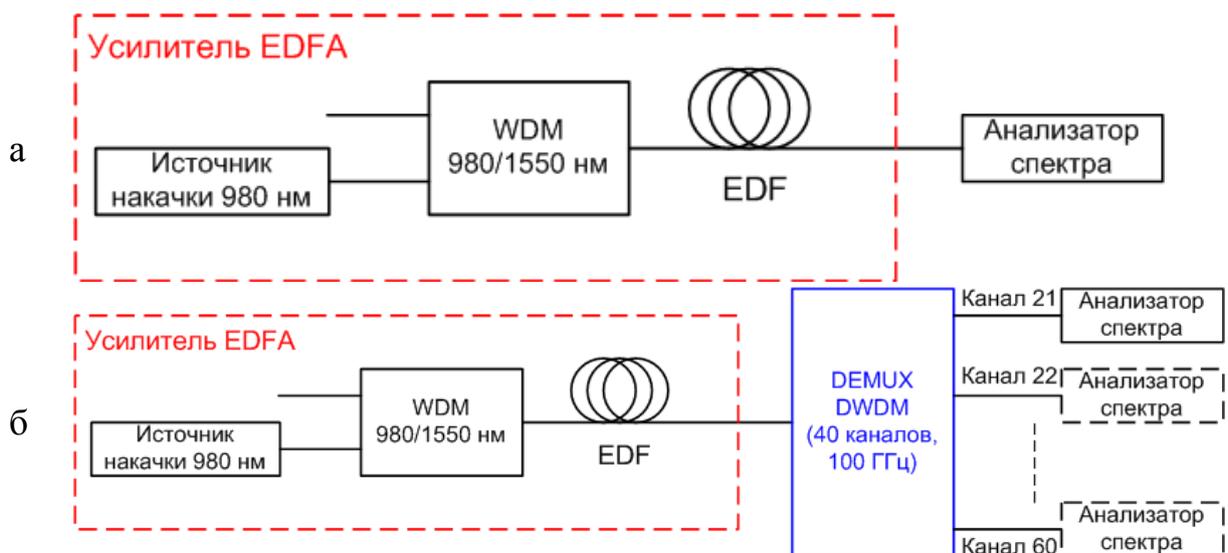


Рис. 2. Схемы измерения вносимых потерь при демультимплексировании

В качестве группового сигнала был использован широкополосный шум усиленного спонтанного излучения (УСИ) оптического усилителя

(*Erbium Doped Fiber Amplifier*, EDFA) на основе волокна, легированного ионами эрбия (*Erbium Doped Fiber Amplifier*, EDF).

Для генерации УСИ в EDFA вводилась накачка на длине волны 980 нм (рис. 2а). Мощность накачки составляла 100 мВт. Фотоны с этой длиной волны активно поглощаются ионами эрбия, которые в отсутствие усиливаемого сигнала отдают поглощенную энергию в виде шума – спонтанно излучаемых фотонов в спектральном диапазоне DWDM. Спонтанно излучаемые фотоны вызывают вынужденное излучение, которое, таким образом, усиливает возникшее спонтанное излучение. Полученное излучение принято называть шумами УСИ [2].

Для определения вносимых потерь проводились измерения:

- мощности излучения  $P_{in i}$  в каждом спектральном канале на входе демультиплексора (в схеме на рис. 2а);
- мощность излучения  $P_{out i}$  в полосе  $i$ -го канала на каждом из выходов демультиплексора (в схеме на рис. 2б).

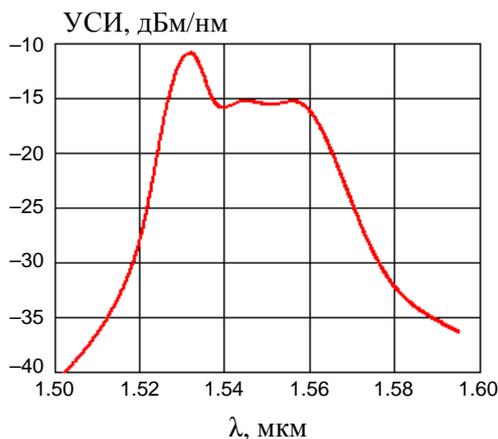


Рис. 3. Спектрограмма шумов УСИ

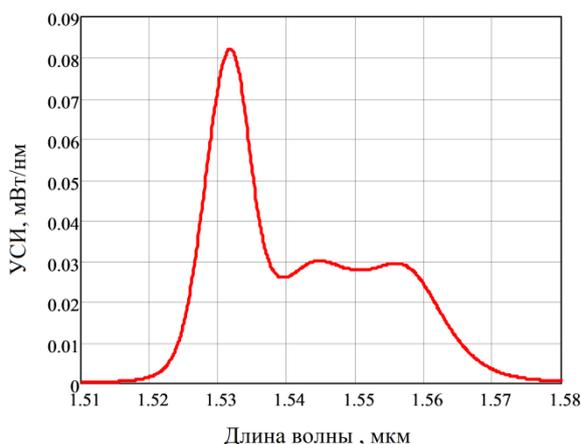


Рис. 4. Спектрограмма шумов УСИ, преобразованная для определения мощностей излучения в спектральных каналах

Для измерения мощности излучения в спектральных диапазонах отдельных каналов использовались спектрограммы, зарегистрированные с помощью анализатора спектра.

На рис. 3 представлена спектрограмма шумов УСИ на выходе EDFA, зарегистрированная в схеме на рис. 2а. Вертикальная ось прибора была проградуирована в дБм/нм, для определения мощностей излучения мы перешли к мВт/нм (рис. 4) [3]. Для измерения мощностей  $P_{in i}$  использовалась следующая методика:

- увеличивался фрагмент спектрограммы, соответствующий  $i$ -му спектральному каналу;
- по увеличенному фрагменту определялась средняя плотность мощности излучения  $p_{in i}$  в канале в мВт/нм;
- рассчитывалась мощность  $P_{in i}$  по выражению:

$$P_{ini} = p_{ini} \cdot \Delta\lambda_i, \quad (1)$$

где  $\Delta\lambda_i$  – ширина полосы канала, измеренная по спектрограмме  $i$ -го канала, зарегистрированной в схеме на рис. 2б [4]. Результаты измерений представлены в табл.

Для определения мощностей излучения  $P_{out i}$  в схеме на рис. 2б были зарегистрированы спектрограммы оптических сигналов на каждом из 40 выходов демультиплексора, по которым определялись ширина полосы  $\Delta\lambda_i$  и мощность в каждом канале  $P_{out i}$  (рис. 5). Для измерения мощностей  $P_{out i}$  использовалась та же методика, что и для измерения  $P_{in i}$ .

ТАБЛИЦА. Результаты исследования вносимых потерь при демультиплексировании широкополосного сигнала

№ канала	Длина волны, мкм	Мощность УСИ в полосе канала $P_{in i}$ , мкВт	Мощность демультиплек. сигнала в канале $P_{out i}$ , мкВт	Потери при демультиплексир. $a_{IL i}$ , дБ
21	1.5606	24.38	7.501	5.119
22	1.5597	26.48	9.871	4.286
23	1.5589	28.35	12.505	3.555
24	1.5582	29.96	12.551	3.778
25	1.5574	31.39	14.319	3.408
26	1.5565	31.45	13.557	3.655
27	1.5557	31.86	14.922	3.294
28	1.5549	31.69	13.859	3.593
29	1.5541	31.03	11.953	4.143
30	1.5533	30.60	14.631	3.204
31	1.5525	30.47	14.385	3.261
32	1.5517	30.63	14.255	3.222
33	1.5509	30.08	14.081	3.296
34	1.5501	29.83	13.483	3.449
35	1.5493	30.87	13.372	3.633
36	1.5485	30.67	14.631	3.214
37	1.5477	31.02	13.342	3.664
38	1.5469	31.91	14.094	3.549
39	1.5461	32.37	16.747	2.865
40	1.5453	32.21	17.135	2.741
41	1.5445	32.70	16.635	2.935
42	1.5437	32.97	17.979	2.634
43	1.5429	31.60	17.192	2.644
44	1.5421	33.23	13.934	3.774

№ канала	Длина волны, мкм	Мощность УСИ в полосе канала $P_{in i}$ , мкВт	Мощность демульт. сигнала в канале $P_{out i}$ , мкВт	Потери при демультимплексир. $a_{IL i}$ , дБ
45	1.5413	29.42	12.740	3.635
46	1.5405	29.10	16.395	2.492
47	1.5397	28.16	14.366	2.923
48	1.5389	31.51	19.403	2.106
49	1.5381	29.73	16.486	2.561
50	1.5374	32.92	17.519	2.739
51	1.5366	37.26	21.034	2.483
52	1.5358	45.78	27.760	2.172
53	1.5350	56.13	37.362	1.768
54	1.5342	64.80	51.041	1.036
55	1.5335	77.04	59.963	1.088
56	1.5327	85.32	66.669	1.071
57	1.5319	85.68	92.681	0.341
58	1.5311	84.52	85.899	0.070
59	1.5303	85.12	69.313	0.892
60	1.5295	70.87	107.817	0.822

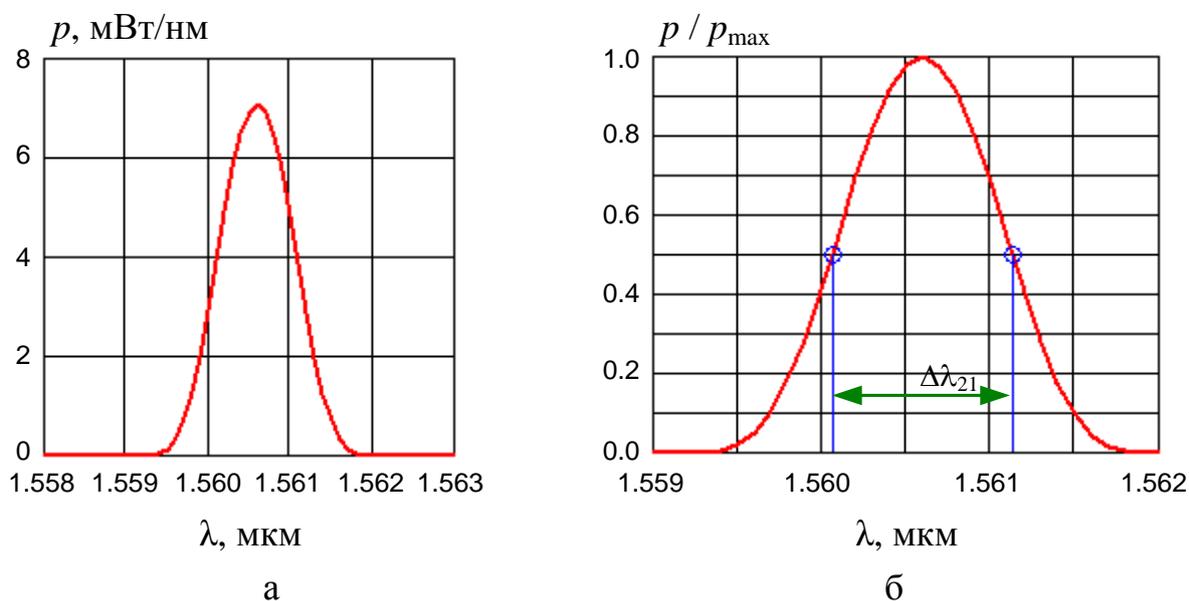


Рис. 5. Спектрограмма на выходе 21-го канала (а)  
и определение ширины 21-го канала (б)

В табл. представлены результаты измерений  $P_{out i}$ , а также результаты расчетов вносимых потерь по выражению:

$$a_{Li} = 10 \lg \left( \frac{P_{ini}}{P_{outi}} \right). \quad (2)$$

Из табл. видно, что с увеличением номера канала (уменьшением длины волны) потери уменьшаются. Максимальные потери (около 5 дБ) наблюдались при демультиплексировании 21 канала с самой большой длиной волны (1560,6 нм).

#### Список использованных источников

1. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи: пер. с англ. М.: Техносфера, 2007. 512 с.
2. Аснис Л. Н., Денисюк И. Ю. Технологии спектрального мультиплексирования для оптической связи. СПб.: ИТМО, 2008. 105 с.
3. Жирар А. Руководство по технологии и тестированию систем WDM / ред. А. В. Шмалько / пер. с англ. под ред. А. М. Бродниковского, Р. Р. Убайдуллаева, А. В. Шмалько. М.: EXFO, 2001. 252 с.
4. Листвин В. Н., Трещиков В. Н. DWDM системы. М.: Наука, 2013. 267 с.

*Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом Былиной М. С., СПбГУТ.*

#### УДК 004.7

**Н. Г. Васильев** (командир взвода управления 1 гаубично-самоходного артиллерийского дивизиона)

**Б. Ю. Малышев** (старший оператор научной роты, ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**В. А. Липатников** (доктор технических наук, профессор, ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

### ОБНАРУЖЕНИЕ ВТОРЖЕНИЙ В ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

*Имеет место противоречие между возможностями при перспективных средствах информационного вторжения, включая с кем и каким образом будет осуществляться коммуникация, с одной стороны. С другой стороны, требуется сохранение целостности существующих информационных систем при планировании и внесении в нее изменений. Необходимо разработать способ, при котором документированная информация будет находиться под управлением для обеспечения того, чтобы она: а) доступна и пригодна для применения, где и когда она необходима; б) адекватно защищена (от потери конфиденциальности, ненадлежащего использования или потери целостности).*

информационно-вычислительная сеть (ИВС); компьютерные атаки (КА); защита информации (ЗИ); оценка рисков; контейнерная виртуализация; проактивное управление; масштабирование; показатель защищенности.

В связи с быстрым развитием компьютерных технологий, и переходом к информационному обществу проблема обеспечения информационной безопасности (ИБ) стала одной из наиболее актуальных проблем [1].

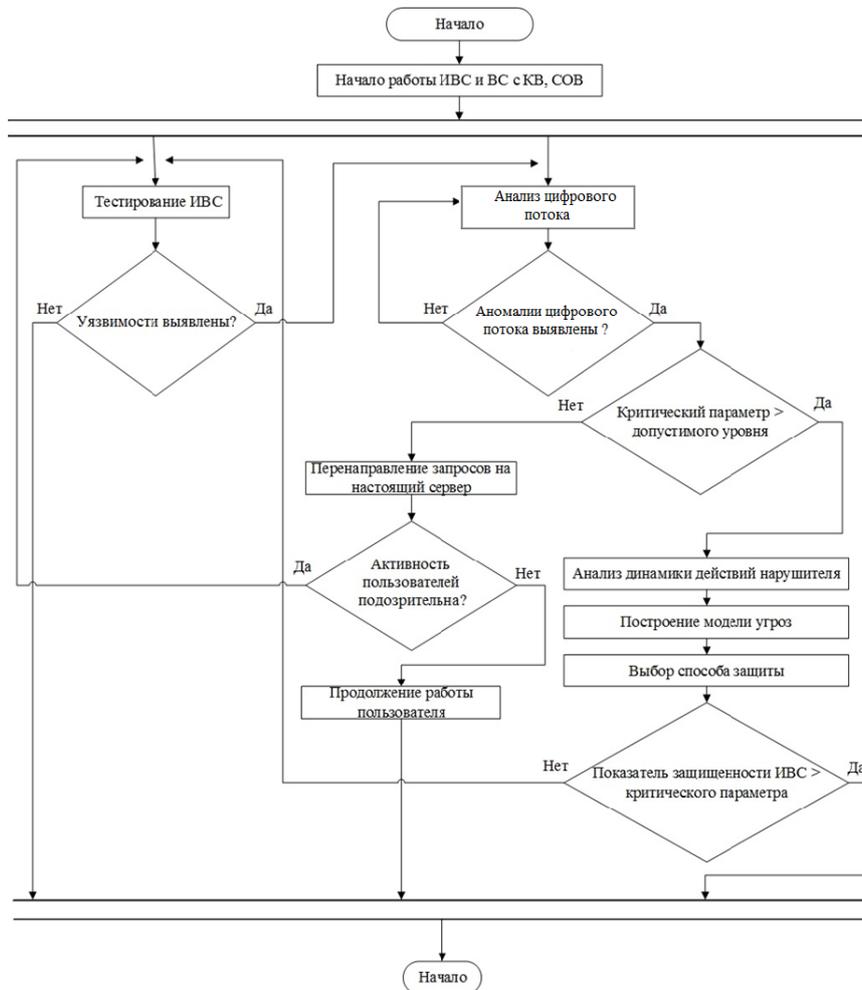


Рис. 1. Обобщенный алгоритм функционирования ИВС

На рис. 1 изображен алгоритм построения и функционирования, рассматриваемой ИВС. Данный алгоритм включает в себя два параллельных процесса:

Первый процесс представляет собой тестирование ИВС и выявление уязвимостей [2].

Второй процесс представляет собой анализ цифрового потока (ЦП) с выявлением аномалий и последующим анализом динамики действий нарушителя. На основании динамики действий нарушителя строится модель угроз и принимаются меры по защите. Данный метод помогает защитить реальную информационную систему (ИС) от компьютерных атак (КА),

за счет принятия рациональных мер по защите реальных и возможных уязвимостей в данной сети [3].

В ходе выявления в журнале регистрации аномальных событий действия нарушителя блокируются с оповещением администратора. На рис. 2 изображен граф событий действий нарушителя.

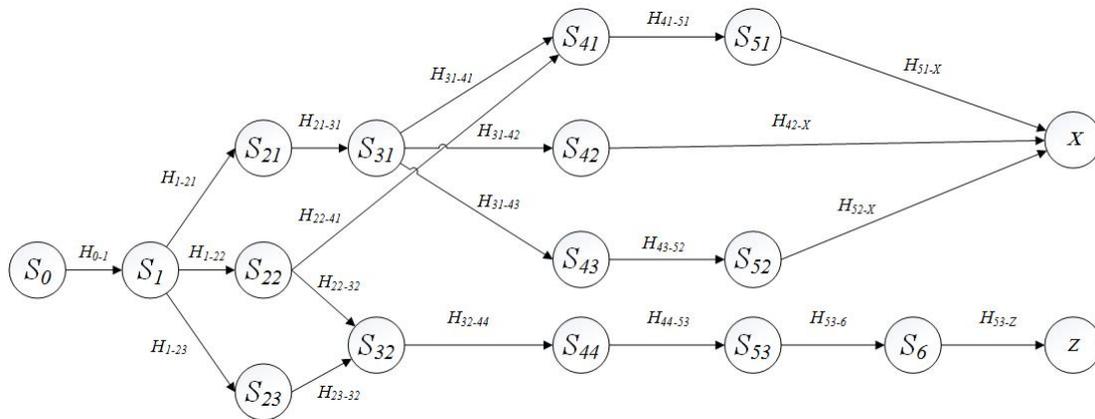


Рис. 2. Граф событий действий нарушителя

В качестве одной из возможных моделей предлагается представление действия нарушителя как систему с переменной структурой, поведение которой на случайных интервалах времени характеризуется различными структурами и описывается вероятностными законами [21, 22]. При этом переход одной структуры в другую происходит в случайный момент времени в зависимости от значения фазовых координат системы и обозначены  $N_i$  значениями.

Событие «S0» соответствует защищённому состоянию ИВС (без действий нарушителя). Событие «S1» соответствует началу действий нарушителя. Событие «S21» соответствует событию, в котором происходит изменение характеристик ИВС путем внедрения sniffера. Событие «S22» соответствует стадии, в которой проводится тестирование состояния ИВС путем анализа запросов. Событие «S23» соответствует событию анализа «эхо-запросов». Событие «S31» соответствует событию анализа исходящего цифрового потока. Событие «S32» соответствует событию выявления хостов. Событие «S41» соответствует событию выявления паролей. Событие «S42» соответствует событию дешифрования информации. Событие «S43» соответствует событию, при котором несанкционированно используется авторизованный IP адрес в сети. Событие «S44» соответствует событию, при котором происходит сканирование портов. Событие «S51» соответствует событию подмены пользователя в сети. Событие «S52» соответствует событию, при которой изменяются целостность, доступность и конфиденциальность информации.

Событие «S53» соответствует событию, при котором происходит анализ характеристик приложений. Событие «S6» соответствует режиму осу-

шествия DDoS атак. Событие «X» соответствует реализации угрозы хищения информации. Событие «Z» соответствует реализации отказа в обслуживании. Определим коэффициенты реализуемости событий (элементов графа) для определения динамики действий нарушителя, воспользовавшись методикой [4]:

$$G = \frac{Y_1 + Y_2}{20}, \quad (1)$$

где  $Y_1$  – коэффициент исходной защищенности;  $Y_2$  – коэффициент реализации угрозы.

Время перехода из одного события в другое зависит от коэффициента реализуемости события:

$$T_i = T_{maxj} - G_i \times T_{ucxij}, \quad (2)$$

где  $T_{maxj}$  – максимальное время реализации  $j$ -го события ( $T_{maxj} = 24$  часа);  $G_i$  – коэффициент реализуемости  $S_i$  – того события;  $T_{ucxij}$  – исходное время перехода из  $i$ -го события в  $j$ -е событие ( $T_{ucxij}$  от 0 до 24 часа).

Аналогично [27] составляем производящую функцию для графа на рис. 2 на примере пути  $S_{xI}$ :

$$H_{угр.} = H_{0-1} \times H_{1-21} \times H_{21-31} \times H_{31-41} \times H_{41-51} \times H_{51-x}, \quad (3)$$

где  $H_y = P_y \cdot x^{T_y}$ , а  $P_y$  – вероятность перехода из одного состояния в другое,  $T_y$  – время, необходимое для перехода из одного состояния в другое,  $x$  – весовой коэффициент (от 0 до 1).

Вероятность реализации угрозы, согласно графу, для пути  $S_{xI}$  определяется в виде:

$$P_{угр.} = H_{угр.}(x=1) = P_{0-1} \times P_{1-21} \times P_{21-31} \times P_{31-41} \times P_{41-51} \times P_{51-x}. \quad (4)$$

Вероятность защищенности определяется по формуле (5):

$$P_{защ.} = 1 - P_{угр.}. \quad (5)$$

На рис. 3 приведен график зависимости защищенности от вероятности начала действий нарушителя согласно графу.

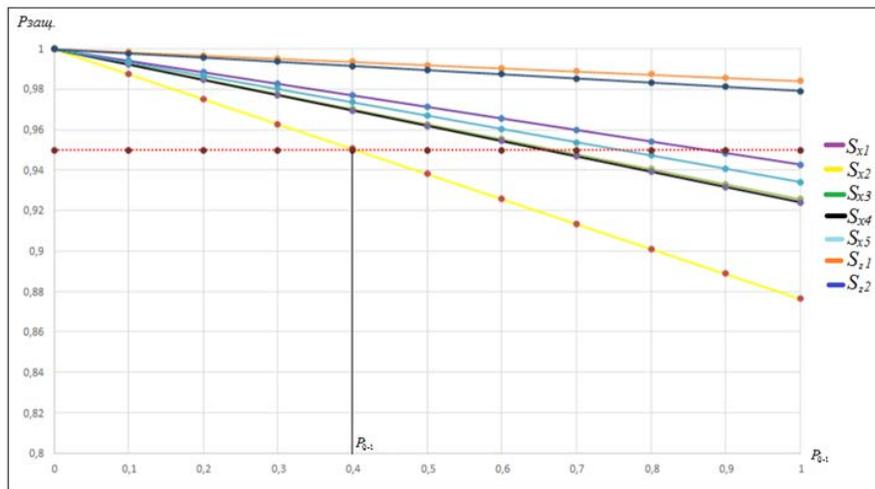


Рис. 3. Зависимость показателя защищенности  $P_{\text{защ.}}$  от вероятности начала действий нарушителя  $P_{0-1}$

Из рис. 3 видно, что даже при малой вероятности начала действий нарушителя  $P_{0-1} = 0,4$  вероятность защищенности  $P_{\text{защ.}}$  будет ниже требуемого уровня 0,95. Тем самым, реализация угрозы по пути  $S_{x2}$ , будет наиболее вероятной и привлекательной с точки зрения нарушителя, поэтому администратору безопасности необходимо устранить «бреши» в защите, которые приведут к реализации угрозы хищения информации по пути  $S_{x2}$ . Данный метод позволяет расставить приоритеты при организации защиты информации.

Рассмотрим действие способа адаптивного управления защитой ИВС на основе анализа динамики действий нарушителя на примере защиты от угрозы хищения информации по пути реализации  $P_{x1}$ . Оно представлено в табл.

ТАБЛИЦА. Сравнение адаптивного и традиционного управления защитой ИВС

Событие	Коэффициент реализуемости события		Время перехода одного события в другое, час.	
	Адаптивный метод управления защитой ИВС	Традиционный метод управления защитой ИВС	Адаптивный метод управления защитой ИВС	Традиционный метод управления защитой ИВС
$S_1$	0,8	0,8	14,4	14,4
$S_{21}$	0,8	0,9	12,48	11,04
$S_{31}$	0,9	0,9	12,77	14,06
$S_{41}$	0,8	0,8	13,79	12,75
$S_{51}$	0,9	0,9	11,6	12,52
$X$	0,5	0,9	18,2	12,73
Время реализации угрозы			<b>82,64</b>	<b>77,5</b>

При использовании адаптивного способа защиты ИВС нарушитель потратит на 7 % больше времени на реализацию угрозы хищения информации, чем при использовании традиционного способа управления защитой ИВС, что и является положительным эффектом предлагаемого способа защиты ИВС на основе анализа динамики действий нарушителя.

#### Список использованных источников

1. Липатников В. А., Шевченко А. А. Способ контроля уязвимостей при масштабировании автоматизированной системы менеджмента предприятия интегрированной структуры // Информационные системы и технологии. 2016. № 2 (94). С. 128–140.
2. Карганов В. В., Костарев С. В., Липатников В. А., Лобашев А. И., Шевченко А. А. Способ защиты информационно-вычислительной сети от несанкционированных воздействий. Патент 2635256 Российская Федерация; заявитель и патентообладатель Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного; заявл. 04.05.2016; опубл. 09.11.2017.
3. Кузнецов И. А., Липатников В. А., Шевченко А. А. Способ многофакторного управления безопасностью информационно-телекоммуникационной сети системы менеджмента качества предприятий интегрированных структур // Вопросы радиоэлектроники. 2016. № 6. С. 23–28.
4. Плетнев П. В., Белов В. М. Методика оценки рисков информационной безопасности на предприятиях малого и среднего бизнеса // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2012. Т. 1. № 2. С. 83–86.

#### УДК 004.891.3

**Н. И. Васылив** (студент, СПбГУТ)

### СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В СЕТЯХ ТСП/Р

*В статье представляются некоторые проблемы, возникающие при применении сетей ТСП/Р и нейронные сети с помощью которых можно решить такие проблемы. Так как концепция нейронных сетей предполагает, что перед работой с нейронной сетью ее следует обучить, дабы она выполняла именно те функции, которые требуются в решении задачи, в статье показываются основные методы обучения нейронных сетей. Статья показывает, чем между собой похожи и в чем может быть кардинальное отличие каждого из представленных методов, являющихся самыми основными для рассмотрения при начале изучения нейронных сетей. В работе проведен сравнительный анализ данных методов обучения по критериям решаемых задач с выводом о наиболее универсальном и простом в использовании методе.*

*нейронные сети, ТСП/Р, обучение нейронных сетей.*

Существуют некоторые задачи, являющиеся важными в управлении сетями передачи данных на базе технологий TCP/IP, которые можно решить с помощью разнообразных вычислительных методов. Для таких задач как задачи маршрутизации и предсказания тренда трафика применяют вычислительные способности нейронных сетей. Так как особенностью нейронных сетей является необходимость в их обучении в этой статье рассмотрим и сравним методы обучения нейронных сетей, применяемых в решении данных задач.

В классическом виде задачи маршрутизации решаются с помощью нейронных сетей на основе задачи коммивояжера, в таких задачах используется модель нейронной сети Хопфилда, эти НС можно успешно применять на сетях с коммутацией каналов, однако метод устарел и имеет ряд недостатков. Нейронная сеть Хопфилда имеет ряд ограничений в возможностях. В частности, ограничение по числу запоминаемых образцов, перекрестные ассоциации, в случае, когда два образца подаваемые в сеть сильно похожи, а также стабилизация в локальном, а не в глобальном минимуме. Таких недостатков лишена нейронная сеть Хэмминга. Ее используют в случаях, где нет необходимости получать от НС явный образец, а лишь номер образца. НС менее затрачивает память и объем вычислений [1].

Сети передачи данных на основе стека протоколов TCP/IP имеют особенность ускорения и оптимизации громоздких блоков данных при передаче данных и методику управления потоком. Такие функции выполняет протокол TCP и метод называется методом плавающего окна. Он дает возможность пересылать блоки данных без подтверждения. В случае, когда есть возможность заранее иметь информацию о перегруженности буфера или же о увеличивающихся задержках, качественно увеличивается управление сетью в особенностях пресечения потери датаграмм. Такой возможностью располагает нейронная сеть Хэмминга, что прогнозирует тенденцию трафика используя собранные статистические данные [2].

Также в задачу предсказания тренда трафика входит предсказание самоподобного трафика, что решает вопросы качества обслуживания и долгосрочных прогнозов загрузки каналов. Особенностью такой задачи является факт того, что сетевой трафик это самоподобный случайный процесс, который можно назвать детерминированным хаосом. Однако решение такой задачи можно свести к прогнозу временного ряда, в чем помогут нейронные сети, способные к обобщению. Вариантом модели нейронной сети для такой проблемы может быть многослойный персептрон (МП). МП имеет возможность обобщать информацию, строить нелинейные отображения и способна к адаптации [2].

## Обучение нейронных сетей

### Обучение с учителем

Говоря о применении нейронных сетей и нейросетевых алгоритмов, почти каждый раз имеется в виду некие алгоритмы обучения. Нейронная сеть – это адаптивная система, цикл работы которой строится на двух независимых этапах – обучение и непосредственно работы сети. Считается, что обучение закончено, когда сеть корректно выполняет преобразование на экспериментальных примерах и обучение в последующем значительно не влияет на конфигурируемые весовые коэффициенты. После этого сеть делает преобразование ранее незнакомой ей информации, базируясь на построенной ею в ходе обучения нелинейной модели процесса. Сеть с успехом выполняет свои функции до того момента, пока реальная модель отображаемого процесса не изменится кардинально [3].

То как была обучена нейронная сеть, а именно какое было качество обучения, определяет способность решения сетью проблем во время ее работы.

Обучение разбивается на три парадигмы: «с учителем», «без учителя» и смешанную. А многочисленные алгоритмы обучения делятся на два класса: детерминистских и стохастических алгоритмов. Первый предполагает, что подстройка весов является жесткой последовательностью действий, а второй, что она выполняется на основе действий, которые подчиняются некоему произвольному процессу [3].

Когда для каждого из входных векторов есть целевой вектор, являющийся требуемым выходом, говорят об обучении с учителем. Вместе эти вектора называют обучающей парой и обучают сеть на основе некоторого количества таких обучающих пар.

Первый метод, метод распространения сигналов ошибки от выходов нейронной сети к ее входам, то есть в направлении обратном сравнению с распространением сигнала в обычном режиме работы. Такой алгоритм обучения нейронной сети называется процедурой обратного распространения (*back-propagation algorithm*) [3].

Так же одним из основных моделей обучения НС с учителем является Больцмановский метод. Такая модель обучения является стохастическим алгоритмом обучения, что выводится из информационных и термодинамических теоретических принципов. По итогу обучения настройка весовых коэффициентов должна быть такая, чтобы состояния видимых нейронов удовлетворяли нужному распределению вероятностей.

Свойства машины Больцмана широко изучены. Скорость уменьшения температуры должна быть обратно пропорциональна логарифму времени, чтобы была достигнута сходимость к глобальному минимуму. Скорость охлаждения в такой системе выражается следующим образом:

$$T(t) = \frac{T_0}{\log(1 + t)}$$

где  $T(t)$  – искусственная температура как функция времени;  $T_0$  – начальная искусственная температура;  $t$  – искусственное время.

Этот разочарывающий результат предсказывает очень медленную скорость охлаждения (и вычислений). Машины Больцмана часто требуют для обучения очень большого ресурса времени [4].

### *Обучение без учителя*

Для биологических нейронных сетей более правдоподобным методом обучения является метод без учителя. Аналогично процессу обучения с учителем, процесс обучения основывается на подстраивании весов синапсов.

Есть алгоритмы, предусматривающие смену структуры сети, а именно количество нейронов и их взаимосвязи, однако эти изменения корректнее называть – самоорганизацией. Подстройка синапсов производится только из данных доступных нейрону, а именно его состояния и уже имеющихся весовых коэффициентов. Исходя из этого принципа и принципа самоорганизации нервных клеток построены алгоритмы обучения Хебба.

Такая сеть может обобщать похожие образы и классифицировать. В ходе тестирования обученной сети можно выявить топологию классов в выходном слое. К сети можно добавить еще один слой, если нужно привести отклики обученной сети к удобному представлению, он будет выполнять эту задачу в процессе обучения по методу обучения однослойного персептрона [3].

Следующий алгоритм обучения без учителя называется «алгоритм Кохонена». Такой алгоритм предусматривает подстройку синапсов основываясь на их значении от прошлой итерации. Обучение заключается в максимальном уменьшении разницы между входными сигналами нейрона, являющимися сигналами выходов нейронов предыдущего слоя и весовыми коэффициентами его синапсов [3]. Проведем сравнительный анализ методов обучения (табл.).

ТАБЛИЦА. Сравнение методов обучения

Модель/Критерий	Обр. распр. ошибки	Больцмана	Хебба	Кохонена
Позволяет ли найти глобальный минимум ошибки	да	да	да	нет
Сложность алгоритма	простой	сложный	простой	сложный
На сколько большие нужны датасеты для обучения	небольшие	небольшие	небольшие	большие

Модель/Критерий	Обр. распр. ошибки	Больцмана	Хебба	Кохонена
Самоорганизация	нет	нет	да	да
Классификация образов	да	да	да	
Аппроксимация функций	да			
Предсказание	да		да	
Управление	да			
Категоризация внутри класса				да
Сжатие данных	да		да	
Анализ данных			да	да
Ассоциативная память	да			

Здесь под сложностью алгоритма подразумевается большое время, затрачиваемое на вычисления, в следствии сложностей реализации или большого количества циклов в алгоритме.

Из таблицы видно, что решение задачи с использованием нейронной сети не имеет требований к обработке большого количества данных при обучении и малого процента ошибки, то моделью для обучения нейронной сети стоит взять модель Обратного распространения ошибки, ко всему прочему он затрагивает большое количество решаемых задач.

#### Список использованных источников

1. Семейкин В. Д., Скупченко А. В. Метод управления компьютерной сетью на базе нейронных сетей. 2009. 5 с.
2. Султанов А. Х., Габдрахманов А. А., Габдрахманова Н. Т. Использование нейросетевых моделей для прогнозирования интенсивностей самоподобного трафика телекоммуникационной сети. 2011. 5 с.
3. Комашинский В. И., Смирнов Д. А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи. М.: Горячая линия-Телеком, 2003. 94 с.
4. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия-Телеком, 2002. 382 с.
5. Заенцев И. В. Нейронные сети: основные модели. Воронеж: ВГУ, 1999. 76 с.

*Статья представлена научным руководителем, ассистентом Пупцевым Р. И., СПбГУТ.*

УДК 621.39, 530.182

В. С. Горсков (студент, СПбГУТ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОЛИТОНОВ В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ БЕЗ ПОТЕРЬ

*Работа посвящена исследованию взаимодействия солитонов в одномодовых оптических волокнах, которое может проявляться в притяжении или отталкивании соседних солитонных импульсов. Это явление ограничивает скорость передачи и длину солитонной волоконно-оптической линии связи. Для исследований использовалась программа OptiSystem, позволяющая моделировать современные системы связи. Результаты исследований позволяют определить ограничения на солитонные системы связи.*

*солитон, волна, фундаментальный солитон, оптическое волокно, OptiSystem, взаимодействие солитонов.*

Под термином солитон понимают структурно устойчивую уединённую волну, распространяющуюся в нелинейной среде. Солитоны ведут себя подобно частицам (частицеподобная волна): при взаимодействии друг с другом или с некоторыми другими возмущениями они не разрушаются [1].

Мы будем рассматривать солитоны – оптические импульсы определенной формы, распространяющиеся без искажений в одномодовых оптических волокнах (ОВ) на большие расстояния. Они испытывают воздействие затухания, хроматической дисперсии (ХД) и фазовая самомодуляции (ФСМ) в ОВ. Затухание и ХД относятся к линейным явлениям, и не зависят от интенсивности проходящего света. ФСМ это нелинейное явление, которое возникает только при больших уровнях интенсивности. ХД и ФСМ в ОВ характеризуются дисперсионной  $L_D$  и нелинейной  $L_{NL}$  длинами. Введем нормированное расстояние  $z$  вдоль оси  $Z$ , нормированное внутриимпульсное время  $\tau$ , которое связано с временем  $T$ , отсчитываемым от середины импульса

$$z = \frac{Z}{L_D}, \quad \tau = \frac{T}{T_0}, \quad L_D = \frac{T_0^2}{|\beta_2|}, \quad L_{NL} = \frac{1}{\gamma \cdot P_0}, \quad (1)$$

где  $\beta_2$  – дисперсия групповых скоростей (ДГС),  $\text{пс}^2/\text{км}$ ;  $\gamma$  – коэффициент нелинейности,  $1/(\text{Вт} \cdot \text{км})$ ;  $T_0$  – полуширина импульса,  $\text{пс}$ ;  $P_0$  – пиковая мощность импульса,  $\text{Вт}$ ;  $T$  – время, отсчитываемое от середины импульса,  $\text{пс}$ ;  $Z$  – расстояние от начала ОВ,  $\text{км}$ .

Теоретически существование солитонов в ОВ может быть обосновано с помощью решения нелинейного уравнения Шредингера (НУШ), которое для ОВ без потерь имеет вид

$$i \frac{\partial A}{\partial Z} = \frac{1}{2} \beta_2 \frac{\partial^2 A}{\partial T^2} - \gamma |A|^2 A, \quad (2)$$

где  $A$  – нормированная комплексная амплитуда напряженности (огибающая импульса) электрического поля световой волны, распространяющейся вдоль оси  $Z$  по ОВ, Вт<sup>0.5</sup> [2].

Среди решений НУШ (2) можно выделить решения для солитонов порядка  $N$ , где  $N$  целое число. Условием существования солитонов является равенство

$$N^2 = \frac{L_D}{L_{NL}} = \frac{\gamma \cdot P_0 \cdot T_0^2}{|\beta_2|}. \quad (3)$$

Наибольший интерес представляет собой фундаментальный солитон (ФС) 1 порядка ( $N = 1$ ), комплексная амплитуда которого на входе в ОВ имеет форму гиперболического секанса  $u(\tau) = \text{sech}(\tau)$ .

Решение НУШ предсказывает возможность существования солитонов более высоких порядков с целыми значениями  $N = 2, 3$  и т. д. Их форма в процессе распространения периодически изменяется, каждый раз возвращаясь к исходному состоянию.

Рассмотрим проблемы, возникающие из-за взаимодействия соседних солитонов в ВОСС. Наличие импульсов в соседних битах искажает солитон уже потому, что суммарное поле не является решением НУШ. Из-за нелинейного взаимодействия соседние солитоны периодически сближаются (притягиваются) или расходятся (отталкиваются) [3]. Для понимания процессов взаимодействия солитонов можно численно решить НУШ с начальными условиями в виде пары солитонов, выражение для которых в безразмерном виде имеет вид

$$u(0, \tau) = \text{sech}(\tau - q_0) + r \cdot \text{sech}[r \cdot (\tau + q_0)] \cdot \exp(i \cdot \theta), \quad (4)$$

где  $r$  – отношение амплитуд двух солитонов,  $\theta$  – относительная фаза и  $2q_0 = \Delta T / T_0$  – начальное нормированное расстояние между соседними солитонами, разделенными интервалом  $\Delta T$ .

Решение НУШ (2) с учетом (4) позволяет определить расстояние между солитонами  $q_s$  в зависимости от относительного расстояния  $z$  вдоль ОВ для начального расстояния  $q_0$  между солитонами [3]. Для получения результата взаимодействия солитонов

использовалась программа OptiSystem [4], позволяющая проводить имитационное моделирование процессов в ОВ.

В работе исследовалась волоконно-оптическая система связи (ВОСС) со скоростью передачи  $B = 10$  Гбит/с по ОВ без потерь ( $\alpha = 0$ ) длиной 150 км со смещенной дисперсией DSF, имеющему следующие параметры ДГС  $\beta_2 = -2$  пс<sup>2</sup>/км и  $\gamma = 2.5$  (Вт\*км)<sup>-1</sup>. В ВОСС используется амплитудная бинарная модуляция с тактовым интервалом  $\Delta T = 1/B = 100$  пс. При скважности  $q_0 = 5$  длительность солитона  $T_0 = T/2q = 100/10 = 10$  пс.

Определим мощность необходимую для существования ФС в ОВ без потерь  $P_0 = \frac{|\beta_2|}{\gamma * T_0^2} = 8$  мВт.

Схема моделируемой установки показана на рис. 1. Сигнал, представляющий собой битовую последовательность, поступает на источник излучения, формирующий оптические импульсы, которые имеют форму гиперболического секанса, и поступают на вход ОВ с ранее указанными параметрами. Выходной оптический сигнал поступает на оптический приемник.

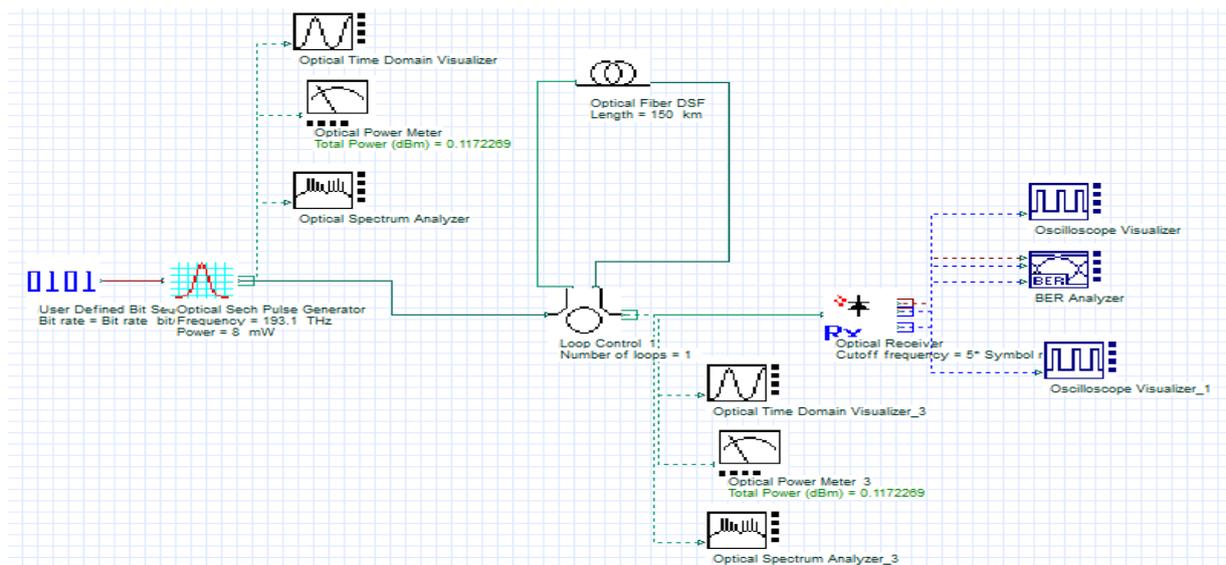


Рис. 1. Моделируемая солитонная ВОЛС

На рис. 2 показаны оптические сигналы на входе и выходе ОВ с помощью оптического осциллографа. Видно, что пиковая мощность на выходе ОВ равная 8.2 мВт превышает входную 8 мВт, а длительность импульса немного уменьшилась. Это говорит о том, что входная мощность превышает необходимую для возникновения ФС, и эффект ФСМ превышает действие ХД. После уменьшения входной мощности до 7.6 мВт в ОВ установились условия для ФС и выходная мощность стала равной входной (рис. 3).

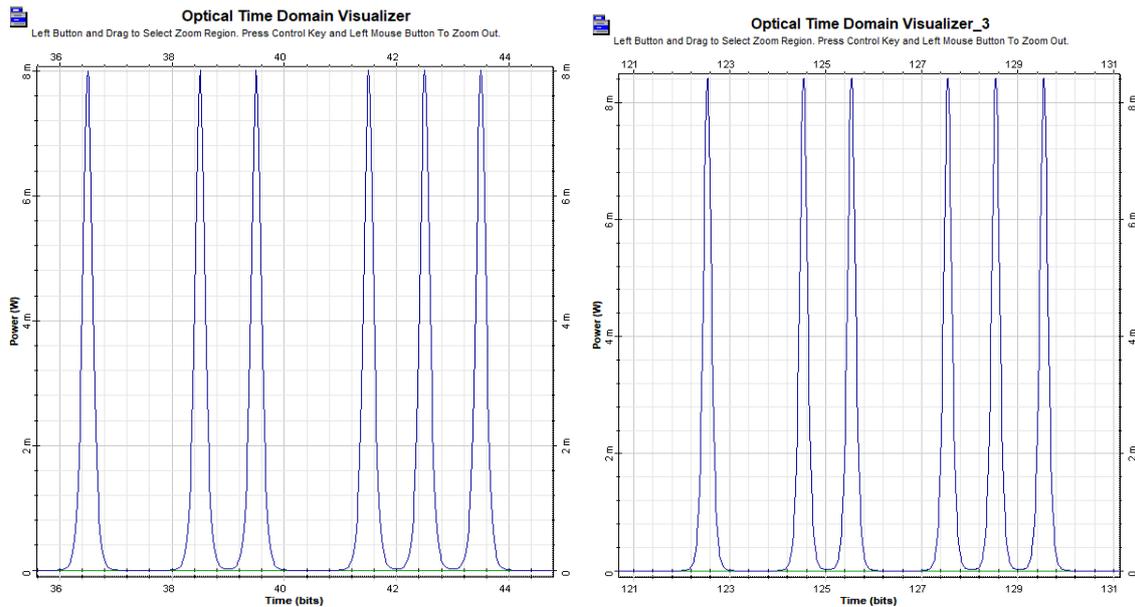


Рис. 2. Входной и выходной сигналы в ОВ длиной 150 км.  
Эффект ФСМ преобладает над ХД

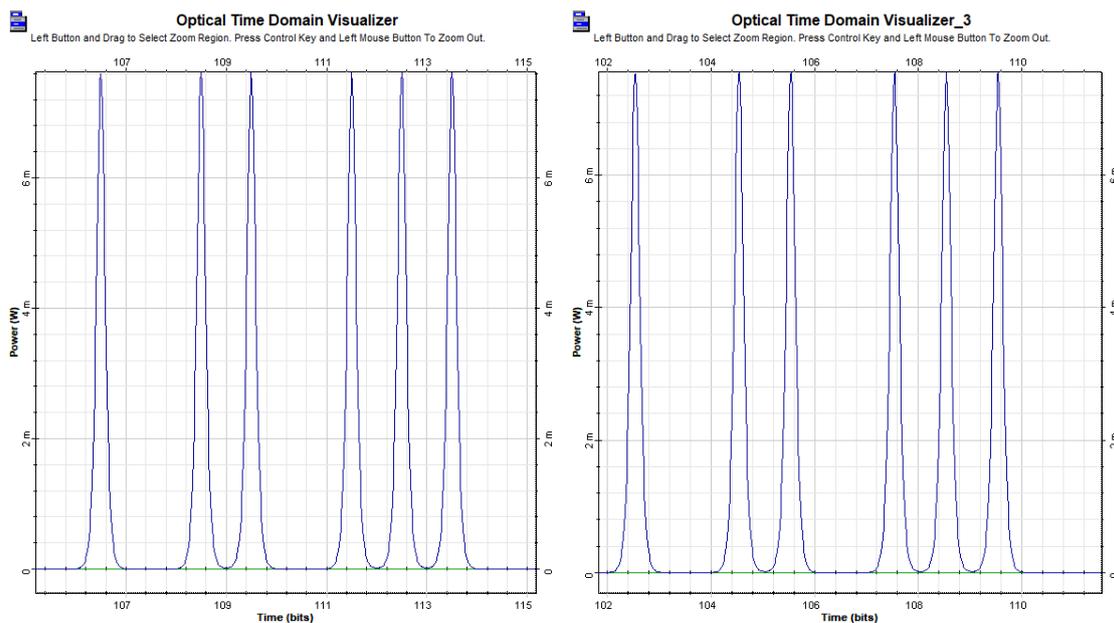


Рис. 3. Входной и выходной сигналы в ОВ длиной 150 км.  
Выполнены условия существования фундаментального солитона

Были выполнены исследования зависимости качества связи ( $Q$  – фактора) от скважности входного сигнала  $q_0$  в режиме ФС. Для этого при каждой установленной в схеме скважности  $q_0$  рассчитывались длительность импульса  $T_0$  и пиковая мощность  $P_{mвх\_расч}$  по выражению (3). При моделировании определялась пиковая выходная мощность  $P_{mвых\_расч}$ , которая отличалась от входной. Таким образом, входная мощность не соответствует условиям для ФС. Далее производился подбор входной мощности  $P_{m,вх}$  ФС

до получения ФС и оценивалась величина  $Q$ . Результаты расчетов и моделирования помещены в табл.

ТАБЛИЦА. Зависимость выходной мощности и  $Q$  – фактора от скважности

$q_0$	5.5	5	4.5	4	3.5	3
$T_0$ , пс	9	10	11.1	12.5	14.2	16.6
$P_{m,вх}$ расч, мВт	9.8	8	6.4	5	4	3
$P_{m,вых}$ расч, мВт	10.2	8.4	6.4	5.2	4.4	3.4
$P_{m,вх}$ ФС, мВт	9.4	7.65	6.4	4.8	3.85	2.8
$P_{m,вых}$ ФС, мВт	9.4	7.65	6.4	4.8	3.85	2.8
$Q$	2548	1164	600	271	142	61

На рис. 4 показаны выходные сигналы при скважностях  $q_0 = 5$  и 3. Из табл. и рис. 4 видно, что с уменьшением скважности качество связи ухудшается, оставаясь в допустимых для ВОСС пределах ( $Q > 7$ ).

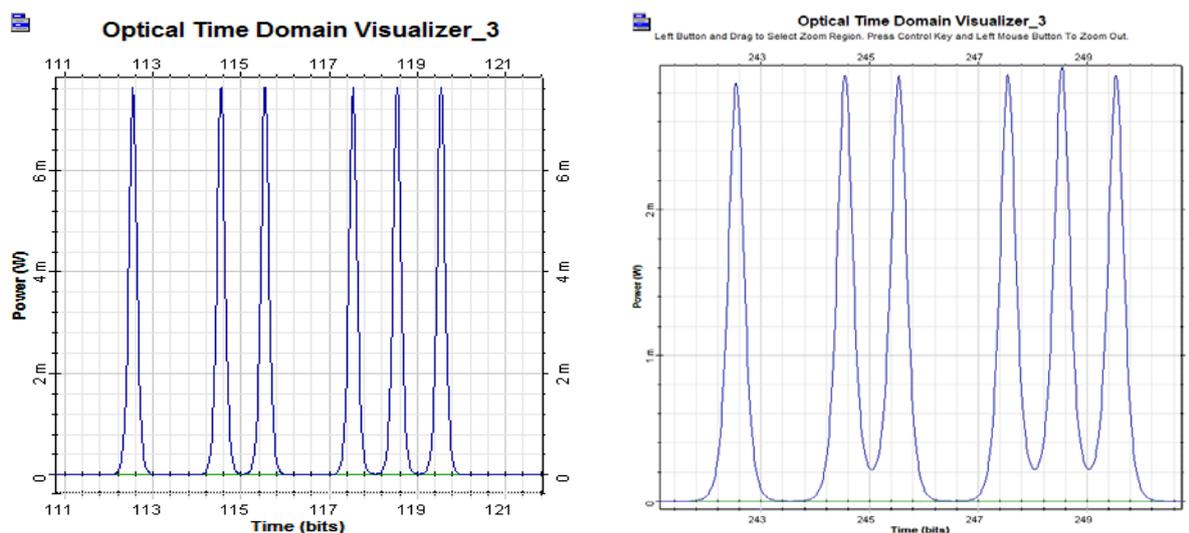


Рис. 4. Сигналы на выходе ОВ длиной 150 км, при скважности 5 и 3, соответственно

В работе исследовано влияние на качество связи скважности в солитонных ВОСС и получены практические рекомендации по выбору этого параметра.

#### Список использованных источников

1. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика: пер. с англ. / Под ред. П. В. Мамышева. М.: Мир, 1996. 324 с.
2. Листвин А. В., Листвин В. Н., Швырков Д. В. Оптические волокна для линий связи. М., 2003. 106 с.
3. Леонов А., Наний О., Трещиков В. Нелинейные искажения и нелинейный шум в когерентных сетях связи // Первая миля. 2014. № 4. С. 51–55.

4. Виртуальное проектирование схемы. URL: <http://euroasia-science.ru/tehnicheskie-nauki/virtualnoe-proektirovanie-sxemy-chetyrexchastotnogo-metoda-izmereniya-parametrov-fizicheskix-polej-v-srede-optisystem-7-0/>

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Глаголевым С. Ф. СПбГУТ.*

**УДК 004.72**

**В. П. Гребенюк** (студент, СПбГУТ)

## **ВАРИАНТЫ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТИ СВЯЗИ ДЛЯ УСЛУГИ ГЛУБОКОЙ ИНСПЕКЦИИ ПАКЕТОВ КОРПОРАТИВНЫМ КЛИЕНТАМ ОПЕРАТОРА**

*Согласно обновленным 27 июня 2017 года рекомендациям Роскомнадзора операторам связи по ограничению доступа к запрещенной информации, изменены пункты 8.1–8.3 (фильтрация трафика). Описывается, что ограничение трафика рекомендуется производить готовыми аппаратно-программными комплексами DPI, свободно-распространяемыми программными комплексами анализа и фильтрации сетевого трафика, а также путем приобретения услуги по получению фильтрованного трафика от вышестоящего оператора связи. Таким образом, использование систем глубокого анализа трафика стало стандартом, придерживаться которого должны все операторы связи на территории РФ. В данной работе рассмотрены возможные варианты архитектурных решений систем Deep Packet Inspection для задач бизнес-клиентов оператора связи, а также представлен ряд дополнительных услуг, созданных на базе новой архитектуры сети. В результате написания работы были изучены различные схемы организации сети, возможные точки отказа, а также набор возможностей, предоставляемых программно-аппаратными комплексами углубленной инспекции пакетов.*

*глубокая инспекция пакетов (DPI), фильтрация, B2B, анализ трафика, виртуализация (NFV), Роскомнадзор (РКН), архитектурное решение сети, оператор связи.*

DPI – программный или программно-аппаратный комплекс, предназначенный для анализа трафика с последующими действиями.

Как видно из названия, система DPI выполняет глубокий анализ всех проходящих через неё пакетов. Термин «глубокий» подразумевает анализ пакета на верхних уровнях модели OSI, а не только по стандартным номерам портов. Помимо изучения пакетов по стандартным шаблонам, система DPI осуществляет и так называемый поведенческий анализ трафика, который позволяет распознать приложения, не использующие для обмена данными заранее известные заголовки и структуры данных.

Исполнение федеральных законов, необходимость управления трафиком и защита сети, улучшение экономических показателей, упрощение схем организации СОРМ и приоритизация качества – те возможности, которые делают продукт DPI актуальным на текущий момент.

На сегодняшний день оборудование системы DPI может устанавливаться одним из следующих способов [1]. Каждый тип подключения позволяет предоставлять услугу DPI по-разному:

1. Подключение с зеркалированием трафика

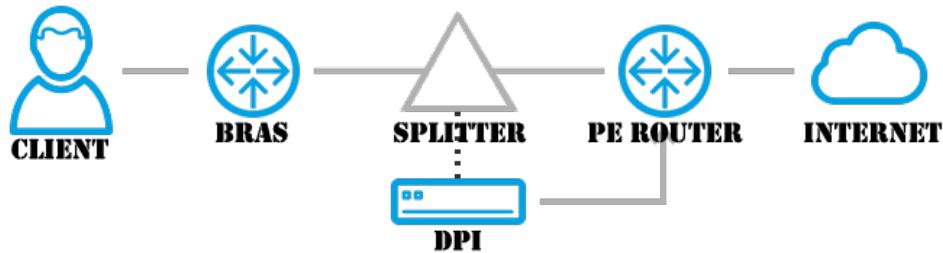


Рис. 1. Подключение «пассивного» DPI

На рис. 1 представлен пример подключения «пассивного» DPI. При такой схеме возможен анализ истории посещений в реальном времени, переадресация запросов блокировки и кеширование.

2. Подключение «в разрыв»

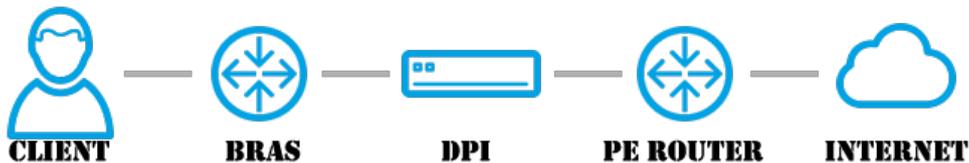


Рис. 2. Подключение «в разрыв»

Представленное на рис. 2 подключение позволяет осуществлять приоритизацию необходимых видов трафика, а также настраивать уведомления, кеширование и другие дополнительные функции.

3. Подключение с асимметрией по исходящему трафику

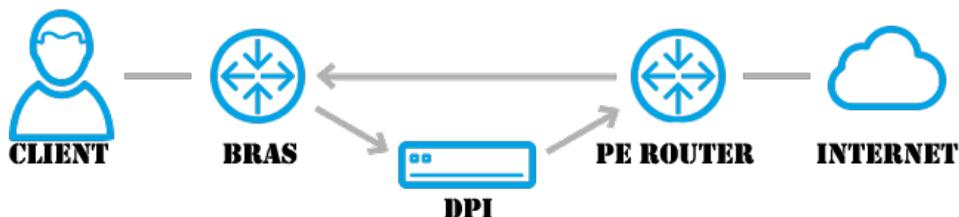


Рис. 3. Подключение с асимметрией по исходящему трафику

Асимметричная схема обработки предназначена в основном для задач фильтрации веб-трафика (рис. 3).

Очевидные преимущества данного подхода к построению сети:

1. Экономия ресурсов.

Через DPI проходит только подозрительный трафик.

2. Отсутствие явной необходимости в резервировании.

В случае если система углубленной проверки пакетов будет находиться в аварийном состоянии и канал связи с BRAS не будет нарушен, есть возможность временно блокировать трафик более грубо, по Access List на самом устройстве терминирования отбрасывая пакеты, в которых задан подозрительный IP-адрес.

### **Чем DPI может быть интересен корпоративным клиентам?**

Развитие сети в данном направлении позволит предоставить корпоративному абоненту следующие услуги:

1. Фильтрация нежелательных ресурсов

Система может использовать глобальные «черные списки», хранящиеся в базах данных Роскомнадзора, Минюста и других, а также корпоративные списки запрещенных ресурсов, созданные абонентом и добавленные в систему DPI. Помимо наблюдения и блокировки, можно активно влиять на данную активность, ограничивая доступ определенным видам трафика [2].

2. Защита корпоративной тайны

Поскольку с углубленной проверкой пакетов реализуется контентная проверка трафика, есть возможность создания паттернов корпоративной информации – шаблонов, при нахождении которых в трафике будет производиться отброс пакетов, а также информирование администраторов системы о попытке передачи секретной информации.

3. QoS

Использование DPI предоставляет возможность распределить канал между различными приложениями и вводить гибкую политику управления трафиком: к примеру, запретить использовать сотрудникам компании трафик BitTorrent. Другая популярная возможность: выделение значительной полосы (пропускной способности), для определенного вида трафика, к примеру, Skype-трафика, а также любых видов SIP-телефонии, что позволит на качественно высоком уровне проводить конференции как внутри компании, так и с другими партнерами (глобальные параметры качества обслуживания в сети) [3].

4. Управление подписками

Систему можно сконфигурировать так, что каждый пользователь будет иметь возможность использовать лишь те услуги и с тех устройств, которые предварительно оговорены. Это позволяет гибко управлять внутренней сетью компании.

## Как предоставлять корпоративным абонентам оператора связи услугу DPI?

### 1. Аппаратное решение.

Один из вариантов решения задачи состоит в том, чтобы система DPI была отдельным устройством в помещении пользователя на территории корпоративного пользователя: в дополнение к CPE устанавливается аппаратно-программный комплекс углубленной проверки пакетов.



Рис. 4. DPI в помещении пользователя

Данное внедрение системы «внизу» сети позволяет сократить нагрузку на сеть, уменьшив трафик на участках Пользователь – BRAS, BRAS – DPI. Трафик, отправляемый пользователями корпоративного клиента, попадает на систему глубокого анализа, разбирается и, при необходимости, изменяется или блокируется.

Подобное архитектурное решение позволит обеспечить полноценный функционал системы углубленной проверки, поскольку через сервер проходит как исходящий, так и входящий трафик абонента.

### 2. Решение с применением виртуализации NFV

Начиная с 2016 года различные компании, а также сами операторы связи, проводят планирование, разработки и тестирование различных VNF [4]. В настоящий момент в рамках ПАО «Ростелеком» происходит тестирование решения TelcoCloud от Nokia. Это единая платформа для всех сетевых сервисов (сервисов Информационной безопасности, Клиентских сервисов и базовых сервисов сети, на которых предоставляются услуги Интернет, VPN и т. д.).

В настоящее время ведутся работы по созданию облачных опорных сетей в качестве услуги IaaS (инфраструктура как услуга). Это позволит предоставлять не только динамические услуги, но и сетевые функции по требованию. Виртуальное пользовательское устройство – один из наиболее перспективных проектов виртуализации сетевых функций. На стороне клиента ставится CPE – миниатюрный программно-аппаратный модуль, который осуществляет перенаправление трафика. Трафик отправляется на платформу, где развернуты компоненты Информационной безопасности. Так, пользователь может получить доступ к целому ряду виртуальных функций, в частности vDPI.

Данный подход более глобальный, так как появляются дополнительные серверные мощности на территории оператора связи. Однако это поз-

воляет создавать и предоставлять VAS услуги более прозрачно и мобильно.

#### Список использованных источников

1. Внедрение в DPI: Состав системы и схемы подключения. URL: <https://habr.com/company/vasexperts/blog/313554>.
2. DPI [Электронный ресурс]: Энциклопедия теоретической и прикладной криптографии. URL: <http://cryptowiki.net/index.php?title=DPI>.
3. DPI платит за себя: Актуальные бизнес-кейсы. URL: <https://habr.com/company/vasexperts/blog/319624>.
4. Михайлова А. Как работает концепция виртуализации сетевых функций (NFV, Network Functions Virtualization). URL: [https://www.anti-malware.ru/analytics/Technology\\_Analysis/network-functions-virtualization](https://www.anti-malware.ru/analytics/Technology_Analysis/network-functions-virtualization).

*Статья представлена научным руководителем, старшим преподавателем Фицовым В. В., СПбГУТ.*

**УДК 004.72 (004.77)**

**А. В. Онуфриенко** (студентка, СПбГУТ)

## **ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ DPI-СИСТЕМ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ**

*В настоящей статье авторы вводят определение термина OTT-сервисов. В статье описываются проблемы, связанные с появлением OTT-сервисов на сети оператора. В связи с чем, в качестве перспективного варианта монетизации OTT-сервисов авторы приводят подходы и процедуры DPI-системы, обеспечивающие необходимые требования для QoS при предоставлении ресурсов своей сети для OTT-сервисов. Описаны примеры применения DPI-системы на сети и ее взаимодействие с OTT-сервисами на базе открытых решений.*

*OTT, OTT-сервис, OTT-услуга, DPI, Deep Packet Inspection, QoS, качество обслуживания.*

### **OTT-сервисы**

В настоящее время, телекоммуникационные услуги можно разделить на два типа: управляемые услуги и услуги, предоставляемые OTT-сервисами.

OTT (англ. *OVER THE TOP*) – метод предоставления услуг (информации) через интернет и предоставления контента на широкий спектр поль-

зовательских устройств по сетям передачи данных без участия оператора в управлении и распределении контента.

OTT-сервисы предоставляют зрителю существенную свободу выбора, персональный подбор услуг, такие приложения постепенно могут заменить услуги, предлагаемые операторами связи [1].

Однако Интернет является «неуправляемой» сетью, где ширина полосы не может контролироваться на всем маршруте передачи видео и звука от серверов до конечного пользователя [2]. Предполагается, что пользователи справедливо разделяют доступные сетевые ресурсы, но как только появляется недостаток ресурсов, необходимые показатели качества для приложений не могут быть обеспечены. В результате ухудшения скорости потока, приложение начинает предоставлять низкое качество, что отрицательно сказывается на впечатлении пользователей о качестве услуг. В данной ситуации оператор может предложить установление приоритетов трафика, что в свою очередь должно позволить обеспечить максимальную гибкость для реализации услуг.

### **DPI в OTT-сервисах**

Чтобы у оператора была возможность идентифицировать OTT-сервисы, применять к сервисам определенные политики (при необходимости) предлагаем рассмотреть использование DPI-системы в сети.

В данном вопросе DPI является технологией, которая как раз справится с этими вопросами: она определяет конкретные приложения в режиме реального времени, применяет политику (при необходимости). При рассмотрении вопросов о качестве обслуживания трафика OTT-сервисов, необходимо четко и однозначно дифференцировать различные типы OTT-сервисов. В связи с чем нам необходимо проверить эффективность работы DPI для OTT.

DPI в большинстве случаев использует для идентификации трафика сигнатурный анализ. Для корректной работы системы необходимо контролировать правильность и полноту сигнатурной базы.

Рассмотрим алгоритм распознавания трафика Skype приложения, который был выделен из открытого кода (рис. 1).

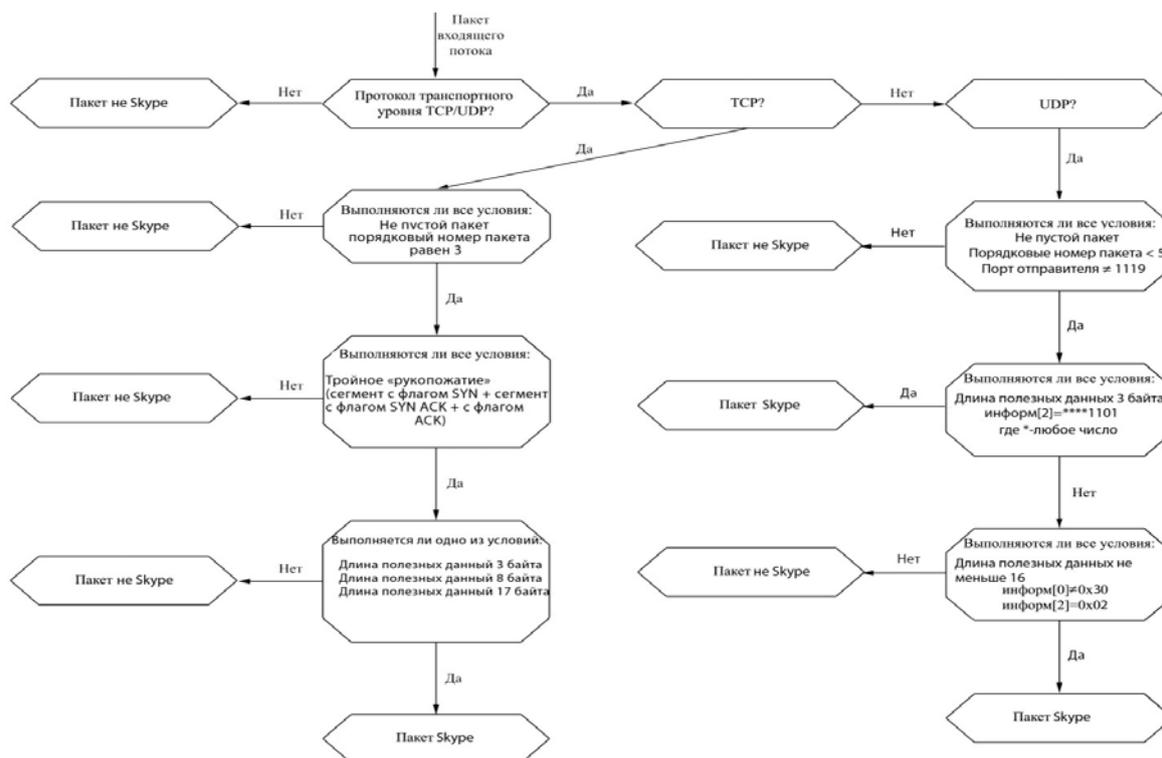


Рис. 1. Алгоритм поиска трафика OTT-сервиса

Для проведения эксперимента была использована распространенная система DPI с открытым исходным кодом для анализа трафика и для проверки правильности и целостности, написанной сигнатуры, а также корректности работы DPI-системы был использован сниффер «Wireshark» (рис. 2).

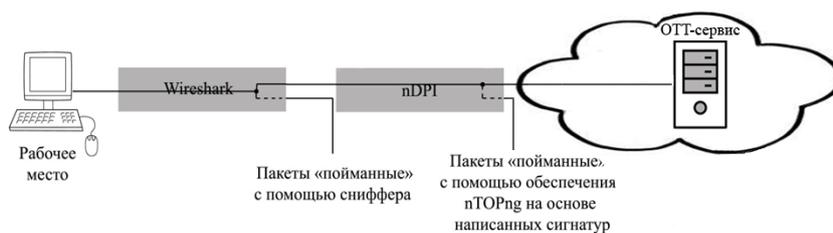


Рис. 2. Схема эксперимента

Так как эксперимент был неоднородным дальнейшие расчеты производились на основании основных понятий и определений теории вероятности с помощью следующих формул:

$$P_t = \begin{cases} \frac{DPI}{S}, & \text{если } DPI \leq S \\ \frac{S - |S - DPI|}{S}, & \text{если } DPI > S \end{cases} \quad (1)$$

$$P_f = \begin{cases} \frac{\sum_{i=0}^k \overline{DPI}i}{S}, & \text{если } DPI \leq S \\ \frac{S - |S - \overline{DPI}|}{S}, & \text{если } DPI > S \end{cases}, \quad (2)$$

$$P_n = \frac{S - \sum_{i=0}^k \overline{DPI}i - \sum_{i=0}^k DPIi + \sum_{i=0}^k \widetilde{DPI}i}{S}, \quad (3)$$

где  $P_t$  (вероятность верного срабатывания системы) – вероятность того, что трафик точно определен статистическим критерием, формула (1);  $P_f$  (вероятность ложного срабатывания) – вероятность того, что трафик неверно отвергнут статистическим критерием или что за исходный трафик принят ложный трафик, формула (2);  $P_n$  (вероятность несрабатывания) – вероятность того, что система не распознает, что в данном сеансе связи было использовано интересующее нас приложение, формула (3);  $\overline{DPI}i$  – объем трафика неверно распознанного DPI-системой;  $DPIi$  – объем трафика верно распознанного DPI-системой;  $\widetilde{DPI}i$  – объем трафика нераспознанного DPI-системой;  $S$  – эталонный, переданный приложением трафик.

Полученные в ходе эксперимента результаты сведем в графики и проведем анализ работоспособности сигнатур (рис. 3).

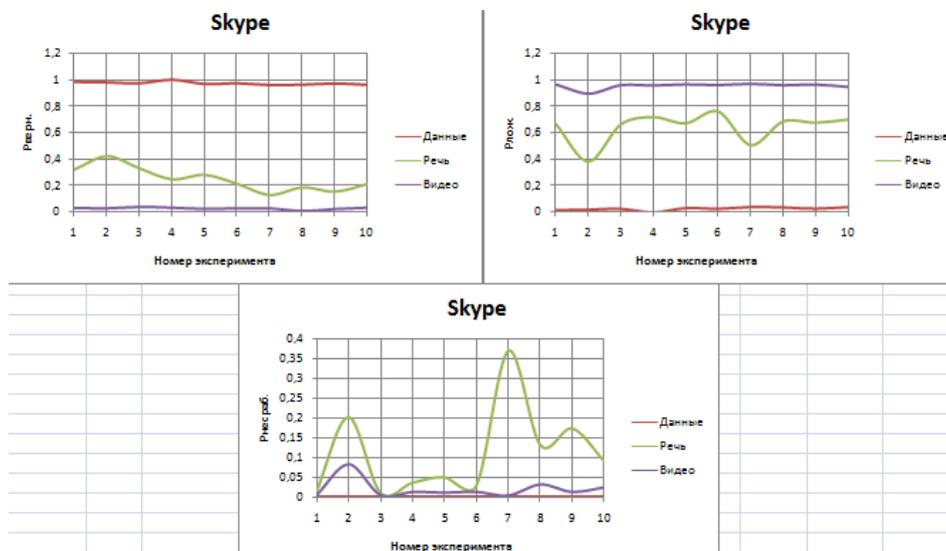


Рис. 3. Графики, отражающие вероятность срабатывания (1), несрабатывания (2), ложного срабатывания (3) системы в результате эксперимента

С помощью статистических расчетов можно определить насколько можно применять DPI систему для анализа трафика (см. табл. 1).

Приведенные расчеты отражают, что для вероятности верного срабатывания разброс средних значений для разных видов трафика крайне велик, что может говорить об отсутствии положительной системности в работе DPI-системы при распознавании различных видов трафика. Дисперсия показывает, что для одинаково вида трафика в пределах одного при-

ложения приблизительно одинаковый результат обнаружения. Коэффициент вариации для разных видов трафика одного приложения различается из-за колебания значений в разных экспериментах.

ТАБЛИЦА 1. Данные, полученные в результате расчетов

Приложение	Вид трафика	Средние значения	Дисперсия	Коэффициент вариации
Skype	Данные	0,9731	0,0002	0,0126
	Речь	0,2564	0,0096	0,3826
	Видео	0,0282	0,0000	0,1351

Исследования показали, что для приложений со слабо разработанными сигнатурами использовать DPI для идентификации трафика нельзя, так как происходят несрабатывания и ложные срабатывания.

Чтобы оценить целесообразность применения технологии DPI для обеспечения QoS, необходимо представить обобщенную модель СМО, с помощью которой можно рассчитать определенные характеристики системы. Это позволит выяснить, насколько внедрение DPI позволит повысить параметры QoS за счет точного определения типа трафика.

Для этого рассмотрим расчеты для моделей с разными приоритетами. Для моделирования сети с DPI для обеспечения необходимого качества обслуживания трафика нужно учитывать особенности детализацию сигнатур приложений. Эксперимент № 1 показывает расчеты при 100 % распознавании трафика DPI-системой, эксперимент № 2 – при 60 %.

ТАБЛИЦА 2. Данные, для дисциплины обслуживания FIFO

№ п/п	Среднее время пребывания сессии в очереди (с)	Среднее время пребывания сессии в СМО (с)	Среднее число сессий в СМО (сессий)	Среднее число сессий в очереди (сессий)
1	0,27651	0,30151	7,25861	6,65676
2	0,33541	0,36282	8,73462	8,07477

ТАБЛИЦА 3. Данные, для дисциплины обслуживания с относительными приоритетами

№ п/п	Среднее время пребывания						Среднее число	
	Сессии типа Voice в очереди (с)	Сессии типа Video в очереди (с)	Сессии типа Data в очереди (с)	Сессии типа Voice в СМО (с)	Сессии типа Video в СМО (с)	Сессии типа Data в СМО (с)	Сессий в СМО (сессий)	Сессий в очереди (сессий)
1	0,12289	0,17016	0,38286	0,30289	0,67016	0,39686	9,59461	8,99276
2	0,12306	0,16722	0,45577	0,30306	0,66022	0,47277	11,38537	10,72552

ТАБЛИЦА 4. Данные, для дисциплины обслуживания с абсолютными приоритетами

№ п/п	Среднее время пребывания						Среднее число	
	Сессии типа Voice в очереди (с)	Сессии типа Video в очереди (с)	Сессии типа Data в очереди (с)	Сессии типа Voice в СМО (с)	Сессии типа Video в СМО (с)	Сессии типа Data в СМО (с)	Сессий в СМО (сессий)	Сессий в очереди (сессий)
1	0,02093	0,22129	0,38825	0,20093	0,72129	0,40225	9,67800	9,07614
2	0,01416	0,19614	0,46187	0,19416	0,68914	0,47887	11,49447	10,83462

В результате проведённого анализа можно сделать вывод, что приоритизация трафика с помощью DPI системы позволяет улучшить качество обслуживания для сервисов с хорошо проработанными сигнатурами. Использование DPI позволяет улучшить сетевые характеристики неэластичного трафика, чувствительного к задержкам. При этом сетевые показатели эластичного трафика остаются на том же уровне или незначительно ухудшаются.

Целесообразность внедрения оператором технологии DPI определяется достижением наилучшего качества для передачи определенного контента, путем присвоения трафику различных уровней приоритетов, однако не стоит забывать про принцип сетевой нейтральности.

#### Список использованных источников

1. Елагин В. С., Онуфриенко А. В. Как оператору заработать на OTT-сервисах и при чем тут SDN? // Т-COMM. 2017. N 1. С. 17–21.
2. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 400 с.
3. Elagin V. S., Goldshtein B. S., Onufrienko A. V., Zarubin A. A., Savelieva A. A. The efficiency of the DPI system for identifying traffic and providing the quality of OTT services // 2018 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, Russia, 2018. pp. 1–5.
4. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1983. 416 с.

*Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом Елагиным В. С., СПбГУТ.*

УДК 004.7

**А. А. Казакевич** (старший оператор научной роты,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**Е. А. Степанова** (начальник лаборатории, ФГБУ "16 Центральный  
научно-исследовательский испытательный институт" МО РФ)

**А. Д. Юшкевич** (оператор научной роты,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

## ИЗМЕРЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛА СИНХРОНИЗАЦИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

*Цифровое коммутационное оборудование необходимо синхронизировать, чтобы предотвратить проскальзывания в эластичной памяти. Проскальзывания не оказывают заметного влияния на обычные телефонные разговоры, но они существенно влияют на передачу данных. Именно поэтому сети синхронизации необходимо снабжать системами контроля, которые позволяют непрерывно в реальном масштабе времени проводить измерение качественных характеристик сигнала синхронизации.*

*синхронизация, сигнал синхронизации, стабильность частоты, джиттер.*

Международные организации МСЭ-Т и ETSI определили две стандартные схемы измерений стабильности частоты устройств синхронизации: на рис. 1 представлена схема измерений с зависимым и схема измерений с независимым устройствами синхронизации.

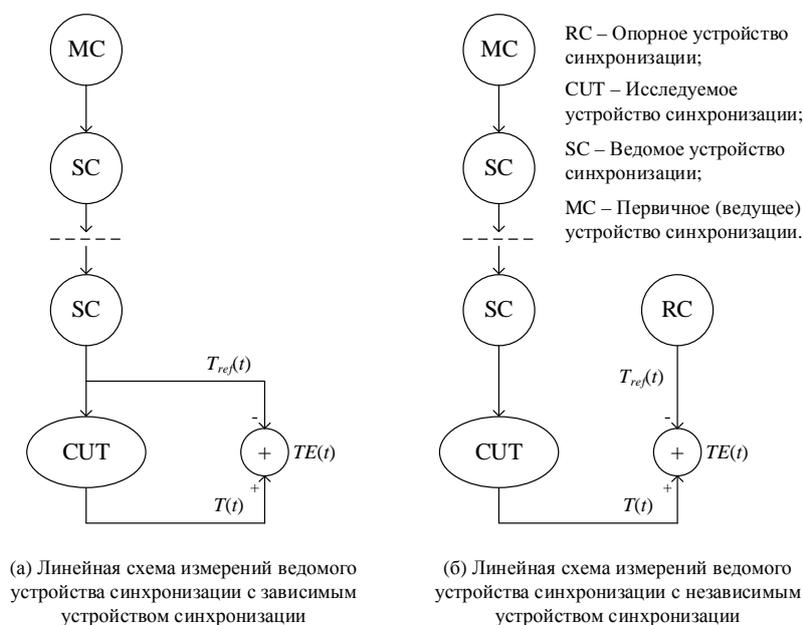


Рис. 1. Пример схемы измерений погрешности времени с зависимым и независимым устройствами синхронизации

Основой современных приборов для измерения стабильности частоты устройств синхронизации как во временной, так и в частотной областях служат цифровые счетчики времени. Их основное назначение – измерение текущего времени между двумя событиями (запуск и останов) путем приращения содержимого счетного регистра с базовой опорной частотой. События запуска и останова возникают, когда на входе канала измерения электрический сигнал  $V(t)$  превышает некоторый порог [1].

Наиболее простой метод измерения стабильности частоты сигнала синхронизации заключается в непосредственном измерении ошибки временного интервала по отношению к опорному сигналу почти равной частоты с помощью цифрового счетчика времени. При этом можно измерять: интервалы времени ( $TE$ ) между фронтами двух сигналов, частоту исследуемого сигнала синхронизации и его период.

Ошибку временного интервала измеряют непосредственно между опорным  $s_1(t)$  и исследуемым  $s_2(t)$  сигналами с частотами  $\nu_1$  и  $\nu_2$ , номинальные значения которых составляют  $\nu_{1n}$  и  $\nu_{2n}$  соответственно. Другими словами, с помощью счетчика времени измеряют интервал времени между двумя значащими моментами двух сигналов синхронизации. В простейшем случае счетчик запускают в некоторый значащий момент  $t_1$ , когда в сигнале  $s_1(t)$  обнаруживают положительный переход нулевого уровня напряжения на входе канала 1. Затем счетчик останавливают в следующий момент  $t_2$ , как только обнаруживают положительный переход нулевого уровня напряжения сигнала  $s_2(t)$  на входе канала 2. Обычно выбирают переход нулевого уровня напряжения одного знака, чтобы избежать влияния на результат измерений как амплитудных изменений импульса, так и асимметрии формы сигнала.

Измеряя таким образом интервал времени, получают  $i$ -й отсчет  $x_i$ . Затем измерение повторяют с периодом  $\tau_0$ . Пример применения этой процедуры для двух прямоугольных сигналов синхронизации показан на рис. 2.

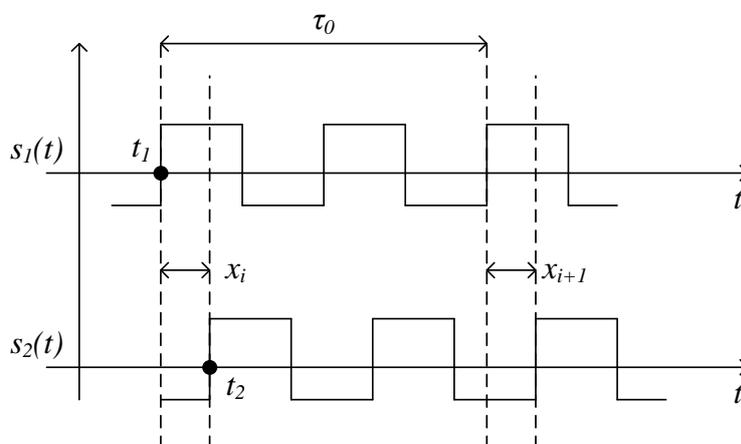


Рис. 2. Непосредственное измерение погрешности временного интервала между двумя сигналами синхронизации  $s_1(t)$  и  $s_2(t)$

В общем случае определить, кроме как по пересечению нулевого уровня, фазу зашумленного колебания непросто. Поэтому измеряют интервал времени  $T_2(t_2) - T_1(t_1)$ : для этого счетчик запускается в момент времени  $t_1$  по состоянию тактового сигнала 1 и останавливается в момент времени  $t_2$  по состоянию тактового сигнала 2. Именно разность времени  $T_2(t_2) - T_1(t_1)$  между этими моментами является исходной для всех методов анализа. Для интерпретации нужна поправка на разность частот двух генераторов. Обычно она пренебрежимо мала.

Процедура практических измерений, представленная ниже в виде последовательных шагов, оказалась фактически набором стандартных методов оценки стабильности частоты устройств и сигналов синхронизации, а также испытаний на совместимость [2].

Первым шагом является сбор данных. На этом этапе необходимо собрать и сохранить последовательность  $\{x_i\}$   $N$  отсчетов  $TE$  с периодом дискретизации  $\tau_0$  на интервале измерений  $T = (N - 1) \tau_0$ . Обычно значения параметров измерения для  $\tau_0$  составляют порядка нескольких миллисекунд, а для  $T$  – до  $10^3 - 10^4$  с.

Вторым шагом является численная обработка и вычисление показателей стабильности частоты, представляющие интерес (ADEV, MADEV, TDEV, MTE, TE<sub>rms</sub>). С помощью соответствующих численных алгоритмов можно вычислить и другие содержательные показатели: например, спектральную плотность мощности, функцию автокорреляции, другие дисперсии и т. п. Численную обработку можно выполнить автономно или же в реальном времени по мере накопления данных  $TE$ .

Другой не менее важной качественной характеристикой сигнала синхронизации является выходной джиттер. Под выходным джиттером подразумеваются все искажения фазы, которые создаются устройством синхронизации на выходных интерфейсах при отсутствии входного джиттера или других внешних воздействий, например, редко проводимыми испытаниями составных частей оборудования, вызывающими случайные разрывы фазы [3].

Многие квалификационные измерения выходного джиттера проще всего провести с помощью счетчика времени, подсчитывая отсчеты фазовой или временной погрешности и сравнивая полученный результат с ожидаемыми значениями. Графики последовательностей таких отсчетов характеризуют поведение устройства синхронизации в течение интервала измерений.

Пример схемы измерений, в основу которой положен этот принцип измерений джиттера на выходе устройства синхронизации, показан на рис. 3. В качестве исследуемого устройства служит устройство синхронизации определенного оборудования электросвязи, на вход которого поступает опорный сигнал в коде HDB3 со скоростью передачи 2,048 Мбит/с, соответствующий Рекомендации G.703 МСЭ-Т. Так, например, некоторые

центры коммутации ТФОП, введенные в эксплуатацию в последние 30 лет, могут синхронизироваться исключительно по сигналу E1. В данном случае счетчик не управляется сигналами запуска и останова, а служит для измерений отклонений фазы сигнала на его входе по отношению к опорному сигналу.



Рис. 3. Схема измерения выходного джиттера устройств синхронизации электросвязи

Можно заключить, что влияние предохранительной предварительной фильтрации на практике может оказаться существенным и даже вводит в заблуждение. Проведенные с таким фильтром измерения могут привести к слишком оптимистичным результатам, скрывая истинную амплитуду флуктуаций  $TE$  на интерфейсах синхронизации и, как следствие, представить ошибочные данные для разработки входного буфера или обеспечения согласования скоростей указателем в линиях передачи СЦИ с переприемами.

Помимо измерений выходного джиттера у исследуемого устройства синхронизации также измеряют допустимый джиттер. Допустимым джиттером называется минимальный уровень фазового шума во входном сигнале устройства синхронизации, при котором характеристики режима захвата устройства остаются в нормированных пределах без аварий, переключения опорных сигналов и перехода в режим удержания частоты.

#### Список использованных источников

1. Ксенз С. П., Полтаржицкий М. И., Алексеев С. П., Минеев В. В. Борьба с диагностическими ошибками при техническом обслуживании и ремонте систем управления связи и навигации: учебное пособие. СПб.: ВАС, 2010. 240 с.
2. Стефано Брени. Синхронизация цифровых сетей связи. М.: Мир, 2003. 417 с.
3. Бакланов И. Г. Методы измерений в системах связи. М.: Эко-трендз, 1999. 195 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук Федосеевым Д. О.,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного.*

УДК 621.39

В. С. Карачевцева (студентка, СПбГУТ)

## ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ВОЛС И МЕТОДЫ ИХ УМЕНЬШЕНИЯ

*С началом активного использования волоконно-оптических линий связи, возникла необходимость проводить измерения параметров оптического волокна с целью контроля качества линии связи и ее компонентов, для чего было разработано специальное контрольно-измерительное оборудование: источники излучения, измерители мощности, оптические тестеры и рефлектометры. Однако при проведении измерений по тем или иным причинам могут возникать погрешности.*

*тестер, рефлектометр, затухание, уровень мощности, длина волны, погрешность.*

Тестирование ВОЛС может проводиться перед началом строительства, в процессе монтажа и в процессе эксплуатации. К проведению измерений и измеряемым параметрам выдвигаются требования. В магистральных сетях измерительное оборудование должно работать на длинах волн 1310 и 1550 нм; коэффициент затухания на длине волны 1310 нм – 0.3...0.4 дБ/км, на 1550 нм – 0.15...0.25 дБ/км; потери в неразъемных соединениях на длине волны 1310 нм не более 0.2 дБ, на 1550 нм – не более 0.1 дБ [1]. В пассивных оптических сетях тестирование проводится от центрального узла к абонентским устройствам на длине волны 1490 и 1550 нм, и от абонентов к центральному узлу на длине волны 1310 нм; вносимые потери: неразъемные соединения – 0.05 дБ, разъемные соединения – 0.3 дБ, эксплуатационный запас – 3 дБ, диапазон перекрываемого затухания приемопередающего оборудования – 28 дБ [2]. В локальных сетях измерительное оборудование должно работать на длинах волн 850 и 1300 нм; коэффициент затухания в многомодовом волокне: 3.5 дБ/км на длине волны 850 нм и 1.5 дБ/км на длине волны 1300 нм; в одномодовом волокне внутреннего применения коэффициент затухания – 1.0 дБ/км, а для уличного применения – 0.5 дБ/км; потери на коннекторных соединениях для многомодового – 0.3 дБ, для одномодового – 0.5 дБ [3].

Измерения проводились с помощью оптического тестера, который объединяет: источники излучения, измеритель мощности и измеритель длины. Принцип действия тестера основан на преобразовании фотодиодом оптического излучения, испускаемого лазерным диодом, в электрический ток, измерении тока и отображении измеряемой величины на дисплее.

Согласно описанию типа, проверка на соответствие параметров прибора проводится по документу ГОСТ Р 8.720-2010 [4]. Начиная с максимально измеряемой прибором мощности, проводится 5 измерений сначала рабочим эталоном средней мощности, потом измерителем, после чего, операция повторяется с шагом 3...5 дБ, пока не дойдет до минимально из-

меряемой мощности. Затем находится среднее значение разницы показаний эталона и измерителя, то есть погрешность абсолютного уровня [5]. В табл. 1 представлен фрагмент проведенных измерений сличения.

ТАБЛИЦА 1. Сличение показателей эталона и измерителя на длине волны 850 нм

№	$P_{\text{эт}}$ , мкВт	$p_{\text{эт}}$ , дБм	$P_{\text{изм}}$ , мкВт	$p_{\text{изм}}$ , дБм	Отклонение, дБ	Среднее отклонение, дБ
1	$2.695 \cdot 10^3$	4.306	$2.624 \cdot 10^3$	4.230	0.076	0.076
2	$2.695 \cdot 10^3$	4.306	$2.624 \cdot 10^3$	4.230	0.076	
3	$2.695 \cdot 10^3$	4.306	$2.624 \cdot 10^3$	4.230	0.076	
4	$2.695 \cdot 10^3$	4.306	$2.624 \cdot 10^3$	4.230	0.076	
5	$2.695 \cdot 10^3$	4.306	$2.624 \cdot 10^3$	4.230	0.076	
1	35.615	-14.484	33.497	-14.750	0.266	0.266
2	35.615	-14.484	33.497	-14.750	0.266	
3	35.615	-14.484	33.497	-14.750	0.266	
4	35.615	-14.484	33.497	-14.750	0.266	
5	35.590	-14.487	33.497	-14.750	0.263	
1	$0.353 \cdot 10^{-3}$	-64.526	$0.341 \cdot 10^{-3}$	-64.670	0.144	0.145
2	$0.353 \cdot 10^{-3}$	-64.526	$0.341 \cdot 10^{-3}$	-64.670	0.144	
3	$0.353 \cdot 10^{-3}$	-64.526	$0.341 \cdot 10^{-3}$	-64.670	0.144	
4	$0.353 \cdot 10^{-3}$	-64.526	$0.341 \cdot 10^{-3}$	-64.670	0.144	
5	$0.353 \cdot 10^{-3}$	-64.522	$0.341 \cdot 10^{-3}$	-64.670	0.148	

На рис. 1 изображены графики зависимости среднего отклонения между эталоном и измерителем от уровня мощности измерителя на длинах волн 850 и 1550 нм. На каждой длине волны определены допустимые значения погрешности, которые не должны быть превышены. Для длины волны 850 нм в диапазоне от -60 до 0 дБм – 0.4 дБ, от -70 до 6 дБм – 0.5 дБ; для длин волн 1310 и 1550 нм, соответственно, 0.3 дБ и 0.4 дБ. Из рисунка видно, что погрешность не выходит за допустимые значения.

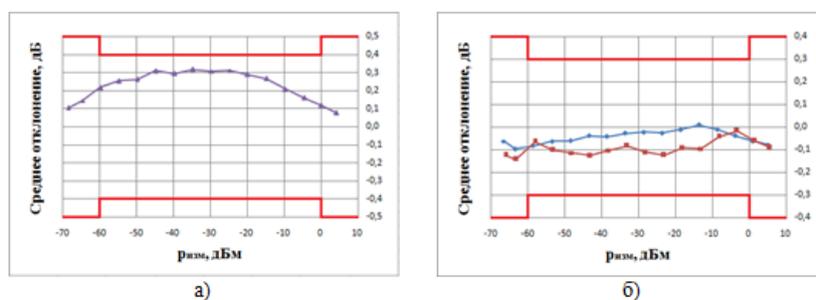


Рис. 1. Зависимость среднего отклонения между эталоном и измерителем от уровня мощности измерителя на длине волны а) 850 нм, б) 1310 (синий) и 1550 (красный) нм

Разница между показателями эталонного прибора и измерителя позволяет грубо оценить тестер на соответствие своим характеристикам, поэтому для полной оценки необходимо при расчете учитывать погрешности эталонного устройства. Помимо основной погрешности нормируются: погрешность измерений относительных уровней мощности и основная погрешность в рабочем спектральном диапазоне [5]. В табл. 2 представлены рассчитанные значения и допустимые значения, установленные в технической документации на прибор.

ТАБЛИЦА 2. Расчет погрешностей прибора с учетом погрешностей эталона

Длина волны, нм	Диапазон, дБм		Абс. погр., дБ	Допус. знач., дБ	Относ. погр., дБ	Допус. знач., дБ	Спектр. погр., дБ	Допус. знач., дБ
	от	до						
850	-60	0	0.36	0.4	0.129	0.2	0.43	0.6
	-70	6	0.36	0.5	0.157	0.3	0.43	0.7
1310	-60	0	0.19	0.3	0.111	0.2	0.306	0.4
	-70	6	0.206	0.4	0.115	0.2	0.316	0.5
1550	-60	0	0.155	0.3	0.081	0.2	0.287	0.4
	-70	6	0.164	0.4	0.086	0.3	0.292	0.5

Для источников оптического излучения основной погрешностью является нестабильность мощности излучения. Так же, в соответствии с ГОСТ каждую минуту измеритель регистрирует мощность излучения на протяжении 15 минут, а затем рассчитывается нестабильность [5].

Из рис. 2 видно, что до предварительного прогрева прибора имеется большой разброс измерений, а после 15-ти минутного прогрева прибора, разброс измерений не так велик, то есть нестабильность намного меньше. Поэтому для получения более точных измерений источник излучения необходимо предварительно прогреть, то есть поддерживать включенным в течение времени, указанного в документации на прибор.

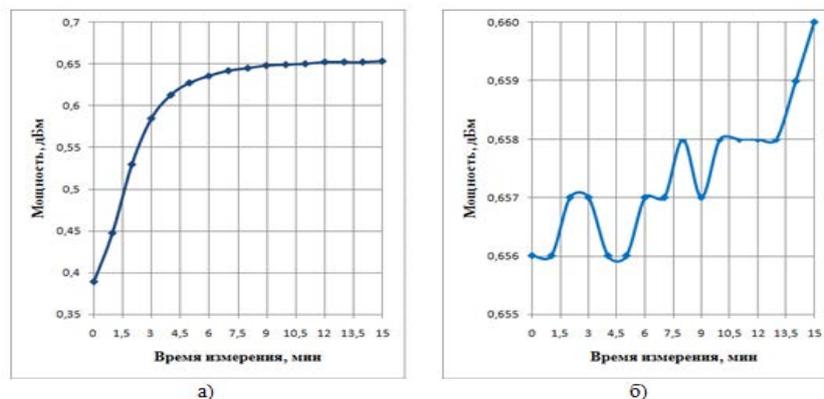


Рис. 2. Показатели измерений а) до прогрева, б) после 15 минут прогрева

Погрешность по длине волны может составлять  $\pm 30$  нм поэтому необходимо знать, как изменятся показатели мощности при отклонениях. Измерения уровня мощности (табл. 4) проводились основных длинах волн и на длинах волн  $\pm 5$  и  $\pm 30$  нм по одному разу, так как нелинейность показателей не проявляется и, как правило, задается при помощи коэффициентов, исходя из спектральных характеристик фотодиода.

ТАБЛИЦА 4. Показания измерителя при погрешности источника излучения

Длина волны, нм	$\lambda - 30$	$\lambda - 5$	$\lambda$	$\lambda + 5$	$\lambda + 30$
	820	845	850	855	880
Мощность, дБм	1.2	0.52	0.34	0.16	-0.77
Длина волны, нм	$\lambda - 30$	$\lambda - 5$	$\lambda$	$\lambda + 5$	$\lambda + 30$
	1280	1305	1310	1315	1340
Мощность, дБм	1.55	1.5	1.49	1.48	1.36
Длина волны, нм	$\lambda - 30$	$\lambda - 5$	$\lambda$	$\lambda + 5$	$\lambda + 30$
	1520	1545	1550	1555	1580
Мощность, дБм	0.95	1.04	1.05	1.08	1.25

Для проведения измерений затухания и расстояния до обрыва линии была собрана небольшая экспериментальная установка, состоящая из двух катушек оптического волокна разной длины и измерительного оборудования, в качестве которого использовались оптические тестер и рефлектометр (рис. 3).

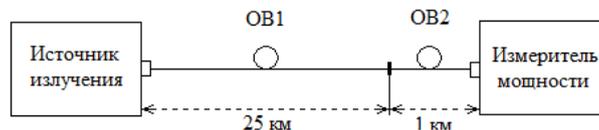


Рис. 3. Общая схема тестируемой линии

В табл. 5 представлены значения измерения затухания. В тестере фотодиод преобразовывает оптический сигнал в электрический ток, и величина сразу отображается на дисплее. Рефлектометр зондирует волокно последовательностью коротких оптических импульсов, фиксирует сигналы обратного рассеяния, обрабатывает их и формирует рефлектограмму, отображающую распределение затухания по длине волокна.

ТАБЛИЦА 5. Затухание в линии, показания приборов

Длина волны, нм	Тестер	Рефлектометр	
	Затухание, дБ	Длительность импульсов, нс	Затухание, дБ
1310	9.74	20	9.65
		300	9.48

Длина волны, нм	Тестер	Рефлектометр	
	Затухание, дБ	Длительность импульсов, нс	Затухание, дБ
1550	5.75	20	5.80
		300	5.70

В табл. 6 представлены измерения длины линии. Определение расстояния с помощью тестера осуществляется до первой точки линии с большим уровнем отражения сигнала, поэтому измерения проводились для двух катушек отдельно. Рефлектометр накапливает отраженные сигналы, поэтому нет необходимости проводить измерения отдельно. По рефлектограмме можно определить расстояние до соединения катушек и до конца линии. У рефлектометров точность измерения расстояния не зависит от длительности импульсов, так как положение события на рефлектограмме определяется по переднему фронту импульса. В тестерах при плохом стыке на выходном разьеме, может высвечиваться измеренная длина до 10 метров, что объясняется двойным отражением сигнала от плохого стыка. Поэтому необходимо обеспечить чистоту стыка.

ТАБЛИЦА 6. Длина линии, показания приборов

Измерительный прибор	Длительность зондирующих импульсов, нс	Длина ОВ1, км	Длина ОВ2, км	Длина линии, км
Тестер	-	25.036	1.045	26.081
Рефлектометр	20	25.037	1.055	26.092
	300	25.049	1.047	26.096

#### Список использованных источников

1. Нормы приёмо-сдаточных измерений элементарных кабельных участков магистральных и внутризоновых подземных волоконно-оптических линий передачи сети связи общего пользования : утв. Госкомсвязи России от 17.12.1997 №97 : ввод в действ. с 01.01.1998.
2. Временный регламент по приемке линейных сооружений пассивных оптических сетей (PON) на Петербургском филиале. ОАО «Северо-Западный Телеком». СПб., 2008. 6 с.
3. ISO/IEC 11801. Стандарт телекоммуникационной инфраструктуры коммерческих зданий.
4. Описание типа средства измерений: Тестеры оптические серии «Топаз 7000». ООО «НПК «СвязьСервис». СПб., 2015. 7 с.
5. ГОСТ Р 8.720-2010 "Измерители оптической мощности, источники оптического излучения, измерители обратных потерь и тестеры оптические малогабаритные в волоконно-оптических системах передачи". М.: Стандартинформ, 2011. 11 с.

*Статья представлена научным руководителем, ассистентом Кузнецовым В. С., СПбГУТ.*

УДК 621.39

В. С. Карачевцева, Д. С. Микутавичайте (студентки, СПбГУТ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА УСИЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЕЙ EDFA

*Одной из важнейших задач в области инфокоммуникаций является расширение спектрального диапазона усиления оптических усилителей EDFA. Помимо усиления в стандартном диапазоне длин волн существует возможность смещения спектрального диапазона в область длин волн 1560–1615 нм. В данной работе определены способы смещения спектрального диапазона усиления в длинноволновую область за счет использования отдельного оптического усилителя, в моделирующей программе подобраны оптимальные уровни мощности накачки и длины эрбиевых волокон, рассмотрено влияние параметров усилителя на усиление входного оптического сигнала различной мощности. Полученные результаты могут быть использованы в качестве рекомендаций для разработчиков оптических усилителей и проектировщиков волоконно-оптической линии связи.*

*эрбиевые оптические усилители, спектральный диапазон, смещение, уплотнение каналов.*

Исследование возможности передачи в одном волокне как можно больше длин волн позволяет значительно увеличить пропускную способность системы связи. Ширина полосы усиления является принципиальным параметром для волоконно-оптических систем со спектральным мультиплексированием, так как именно она оказывает определяющее влияние на число спектральных каналов, используемых для передачи информации. Оптические усилители EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier* – усилитель на волокне, легированном ионами эрбия) работают в стандартном С-диапазоне, включающем длины волн от 1530 до 1565 нм, что позволяет использовать такие усилители на магистральных волоконно-оптических линиях связи с системами DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing* – плотное мультиплексирование с разделением по длине волны). Однако, для расширения рабочего диапазона усиления необходимо попытаться задействовать длинноволновый L-диапазон.

Прежде чем моделировать схему с большим количеством каналов, необходимо определить оптимальные параметры оптического усилителя. Для этого был исследован узкий диапазон длин волн, вблизи центральной длины волны 1550 нм. Исследование проводилось для различных конфигураций оптического усилителя. Так, в моделирующей программе Gain-Master [1] были получены оптимальные параметры для системы связи с одним оптическим усилителем: уровень мощности входного усиливаемого сигнала –30 дБм, эрбиевое волокно I-4 длиной 14 м, способ включения

сигнала накачки – попутный, уровень мощности накачки 20 дБм. Исследование диапазона 1530–1615 нм с подобранными параметрами оптического усилителя приведено на рис. 1.

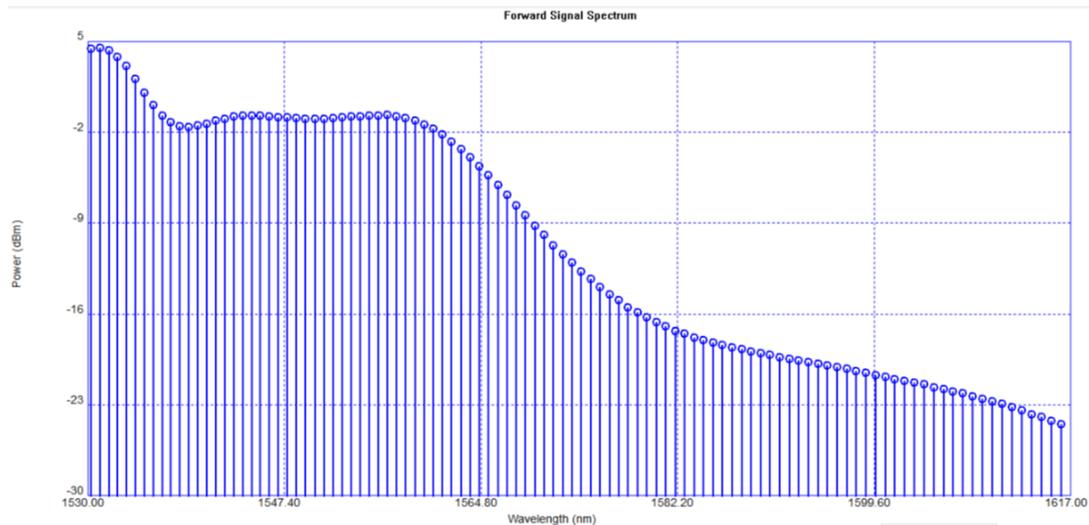


Рис. 1. Моделирование диапазона 1530–1615 нм с попутным включением сигнала накачки с уровнем мощности 20 дБм, эрбиевым волокном *I-4* длиной 14 м и уровнем усиливаемого сигнала –30 дБм

Для сглаживания спектра неравномерного усиленного сигнала и получения оптимального уровня усиленного сигнала при моделировании стандартного диапазона необходимо использовать фильтр с оптимизацией GFF (*Gain Flattening Filter* – фильтр, выравнивающий спектр усиления).

Уровни мощности усиленного сигнала в *L*-диапазоне ниже по сравнению с сигналами в стандартном диапазоне. Следовательно, помимо расширения спектрального диапазона оптического усилителя необходимо учитывать равномерность спектра усиленного сигнала во всем диапазоне для упрощения системы. Фильтр GFF в области диапазона *L* значительно снижает уровень усиленного сигнала и далее не используется.

Одним из способов решения проблемы неравномерности спектра является разбиение спектрального диапазона на участки и использование отдельных усилителей на каждый диапазон [2]. Для этого в структурную схему усилительного пункта необходимо добавить WDM-демультиплексор для разделения каналов по диапазонам и WDM-мультиплексор для их объединения и передаче по одному волокну (рис. 2), где

- ОП – оконечный пункт;
- УП – усилительный пункт;
- ОВ – оптическое волокно;
- EDFA – оптический усилитель;
- DMUX – демультиплексор;
- MUX – мультиплексор;
- ЭОВ – эрбиевое оптическое волокно.

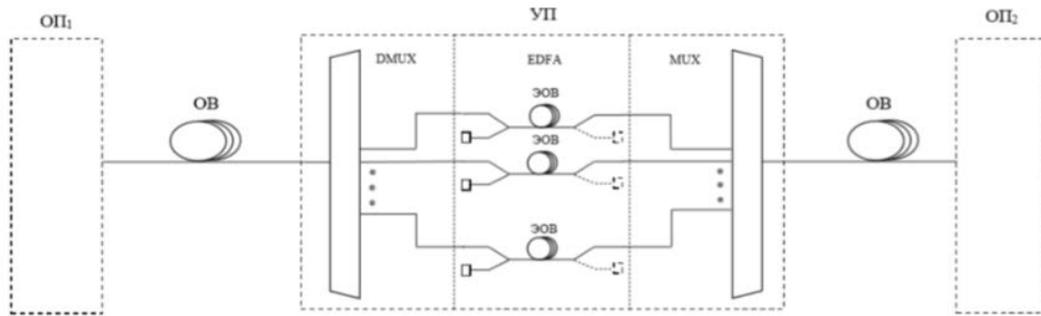


Рис. 2. Структурная схема исследуемого усилительного пункта

При рассмотрении области длинноволнового диапазона оказалось, что наиболее эффективно проводить моделирование на небольших диапазонах, порядка 10 нм. В таком случае удастся добиться меньшей неравномерности и существенно поднять сигнал за счет использования конфигураций усилителей, отличных от конфигурации для стандартного диапазона (рис. 3).

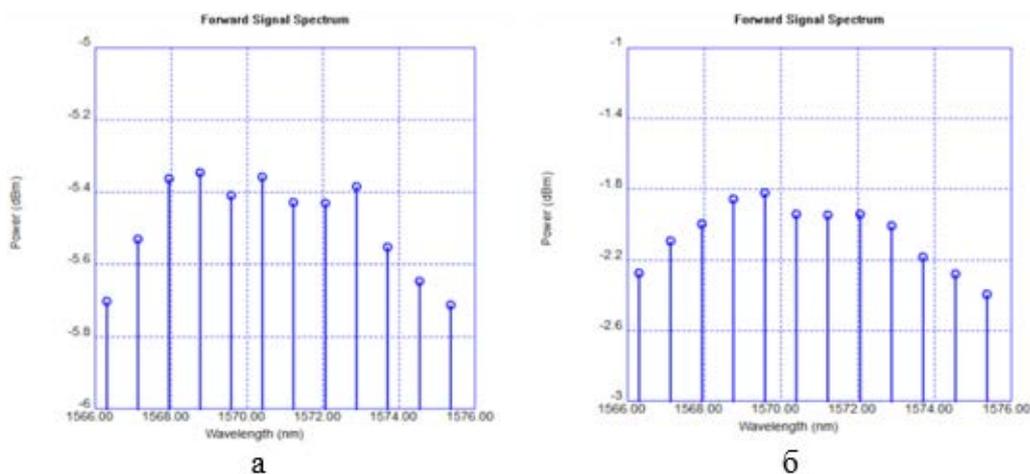


Рис. 3. Спектрограммы усиленного сигнала для диапазона 1565–1575 нм.  
Попутное включение накачки с уровнем мощности 15 дБм,  
уровень мощности усиливаемого сигнала –20 дБм,  
эрбиевое волокно I-4 длиной 50 м (а), эрбиевое волокно I-25 длиной 8,5 м (б)

Для моделирования в длинноволновом диапазоне характерно увеличение длины эрбиевого волокна и уровня усиливаемого сигнала до –20 дБм. Таким образом, удастся достичь высоких уровней выходного сигнала (рис. 4).

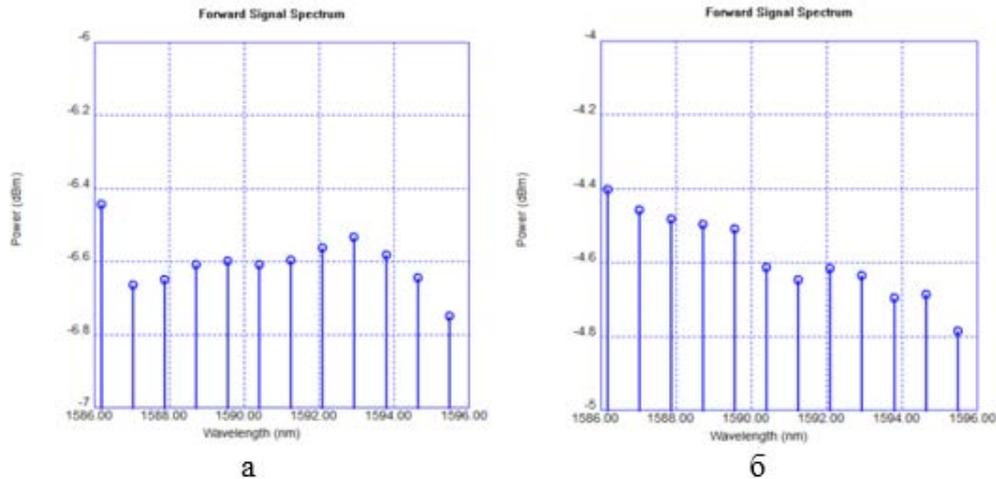


Рис. 4. Спектрограммы усиленного сигнала для диапазона 1585–1595 нм. Попутное включение накачки с уровнем мощности 15 дБм, уровень мощности усиливаемого сигнала –20 дБм, эрбиевое волокно *M-12* длиной 14 м (а), эрбиевое волокно *I-25* длиной 7 м (б)

Для диапазона длин волн 1605–1615 нм характерно увеличение неравномерности коэффициента усиления. Однако, разбиение *L*-диапазона на участки позволило значительно повысить уровень мощности усиленного сигнала по сравнению с моделированием на диапазоне 1560–1615 нм (рис. 5).

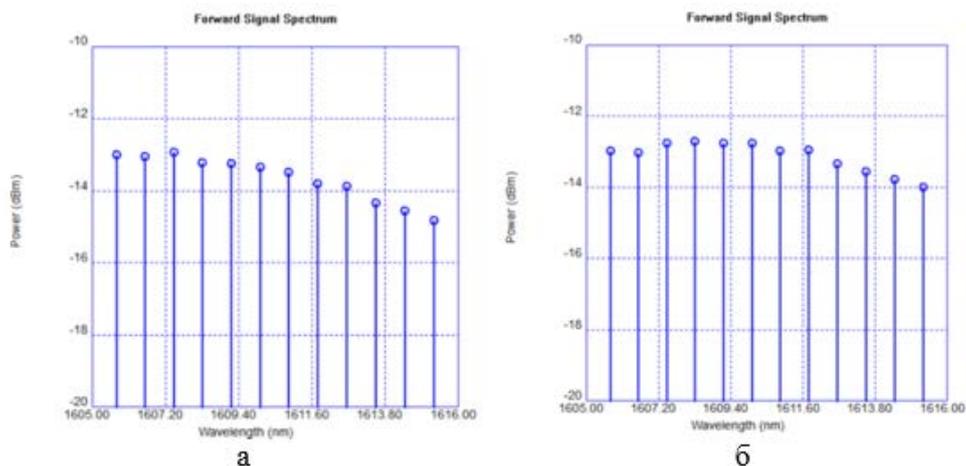


Рис. 5. Спектрограммы усиленного сигнала для диапазона 1605–1615 нм. Попутное включение накачки с уровнем мощности 14 дБм, уровень мощности усиливаемого сигнала –20 дБм, эрбиевое волокно *I-4* длиной 50 м (а), эрбиевое волокно *I-25* длиной 12 м (б)

Моделирование проводилось с использованием различных типов эрбиевых волокон с различным параметром насыщенности. Результаты моделирования с наиболее оптимальными выходными характеристиками

усиленных сигналов во всем исследуемом диапазоне усиления оптических усилителей предоставлены в табл.

ТАБЛИЦА. Сравнение наиболее оптимальных результатов моделирования для нескольких спектральных диапазонов длин волн с использованием различных конфигураций оптических усилителей и уровнем информационного сигнала

Длины волн, нм	$p_{s-out}$ , дБм	Тип ЭОВ	Длина ЭОВ $l$ , м	$p_p$ , дБм	$p_{s-in}$ , дБм	$G$ , дБм	$\Delta G$ , дБ
1530–1565	-4.646 (с фильтром)	<i>I-4</i>	14	20	-30	25.324	0.073
1565–1575	-5.488	<i>I-4</i>	50	15	-20	14.512	0.364
1575–1585	-5.564	<i>M-12</i>	16	14	-20	14.436	1.123
1585–1595	-4.858	<i>I-25</i>	7	16	-20	15.415	0.348
1595–1605	-7.106	<i>M-12</i>	20	15	-20	9.379	0.706
1605–1615	-8.984	<i>M-12</i>	17	14	-20	11.016	2.484

Таким образом, определены способы расширения спектрального диапазона за счет использования нескольких оптических усилителей для отдельных узких спектральных диапазонов длин волн, подобраны оптимальные уровни мощности усиливаемых сигналов и параметры усилителей в моделирующей программе для каждого из диапазонов.

Несмотря на то, что большое количество оптических усилителей ED-FA в усилительном пункте ведет к удорожанию системы связи, в частности, за счет использования WDM-мультиплексоров и демультимплексоров. Такое решение оправдывается экономией оптического волокна на магистральных линиях.

#### Список использованных источников

1. GAINMASTER™ Amplifier Designed Software Manual Revision1. «Fibercore Limited», 2016. 16 с.
2. Курков А. С., Наний О. Е. Эрбиевые волоконно-оптические усилители // Lightwave – russian edition. 2003. № 1. 21 с.

Статья предоставлена научным руководителем, ассистентом Кузнецовым В. С., СПбГУТ.

**УДК 004.7**

**С. Х. Киреев** (командир научной роты № 7,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**О. С. Лаута** (кандидат технических наук,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**Д. В. Соловьёв** (старший оператор научной роты,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ МЕТКИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПЕРЕДАВАЕМЫХ ДАННЫХ**

*В статье описан метод контроля целостности передаваемых по сетям данных с использованием хеш-функции на основе временной метки. Программная часть реализована с использованием языка Python и библиотеки Qt.*

*передача информации по сетям, хеш-функции, SHA256, временная метка (timestamp).*

### **Хеширование на основе временной метки**

Хеширование – преобразование массива входных данных произвольной длины в (выходную) битовую строку установленной длины, выполняемое определённым алгоритмом. Функция, воплощающая алгоритм и выполняющая преобразование, называется «хеш-функцией» или «функцией свёртки». Исходные данные называются входным массивом, «ключом» или «сообщением». Результат преобразования (выходные данные) называется «хеш-кодом».

«Временная метка» есть ни что иное, как добавление текущего времени в качестве параметра для функции хеширования блока данных. Таким образом, значение функции, вычисленное к определённый момент времени будет отличаться от значения при тех же входных данных в другой момент времени. При этом на практике будет уже невозможно получить то же самое значение хеш-функции, используя данные того же самого блока в следующие моменты времени. Пример функции, использующей «временную метку» показан в формуле (1).

$$h = F(S(index) + S(timestamp) + S(messages) + S(previous_hash)), \quad (1)$$

где  $h$  – значение хеш-функции для текущего блока данных;  $F$  – оператор (алгоритм) формирования хеш-функции (например, SHA256);  $S$  – оператор преобразования данных любого типа в строчное представление;  $index$  – индекс блока данных в последовательности;  $timestamp$  – «временная метка», описывающая текущую дату и время;  $messages$  – блок данных, содержащий необходимую для передачи информацию;  $previous\_hash$  – хеш-

значение предыдущего блока данных, для первого блока в последовательности используется нулевое значение.

На рис. 1 приведена блок-схема алгоритма работы программы.



Рис. 1. Схема алгоритма программы

Алгоритм выполнения программы последовательно осуществляет:

Этап 1. Пользователь формирует новые блоки сообщений;

Этап 2. По нажатию кнопки «Добавить блок» все сообщений добавляются в новый блок, который привязывается к предыдущему, храня его значение хеш-функции;

Этап 3. При добавлении нового блока формируется его собственное хеш-значение, которое, оно также записывается в поле каждого блока;

Этап 4. Пользователь изменяет сообщение в существующем блоке или добавляет к нему новое, это приводит к изменению хеш-значение и, как следствие, нарушению последовательности, что видно при проверке (по нажатию кнопки «Проверить корректность»). Пример простой программы, выполняющей хеширование, показан на рис. 2.

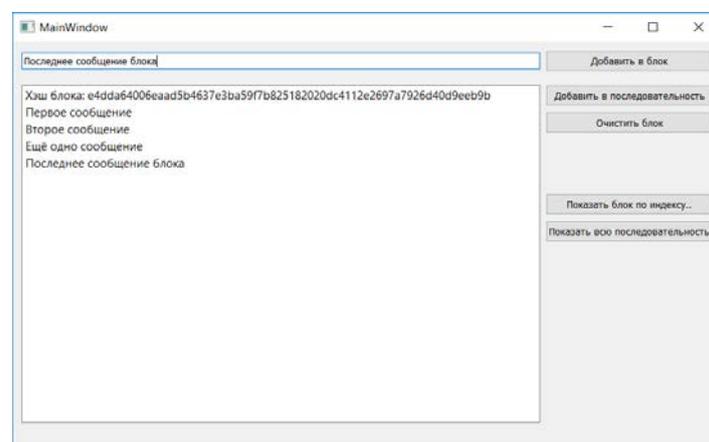


Рис. 2. Реализация простой программы хеширования

## Реализация клиент-серверного взаимодействия

Взаимодействие клиентской части с серверной является основной частью системы передачи и приёма данных. В простейшем случае, когда компьютеры находятся в одной сети, возможно организовать передачу информации, просто перенаправляя сетевые пакеты от клиента серверу и обратно, для этого необходимо знать и чётко понимать, какие адреса у клиента и сервера, а также по каким портам идёт передача [2]. На рис. 3 показан пример реализованного клиент-серверного взаимодействия, когда сервер прослушивает локальный хост на 5000-м порте, к которому подключается клиент и передаёт некоторую информацию.

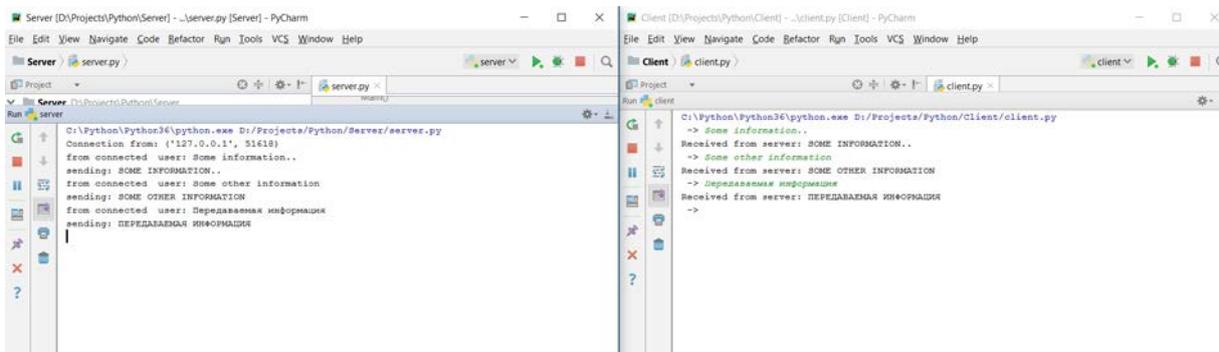


Рис. 3. Пример клиент-серверного взаимодействия

В любой облачной платформе предусмотрена возможность удалённого хранения информации на сервере с предоставлением этой информации по требованию пользователя [3]. Данная функция стала следующей частью реализации программы. На рис. 4 показан пример доработанного клиент-серверного приложения и запроса данных от сервера.

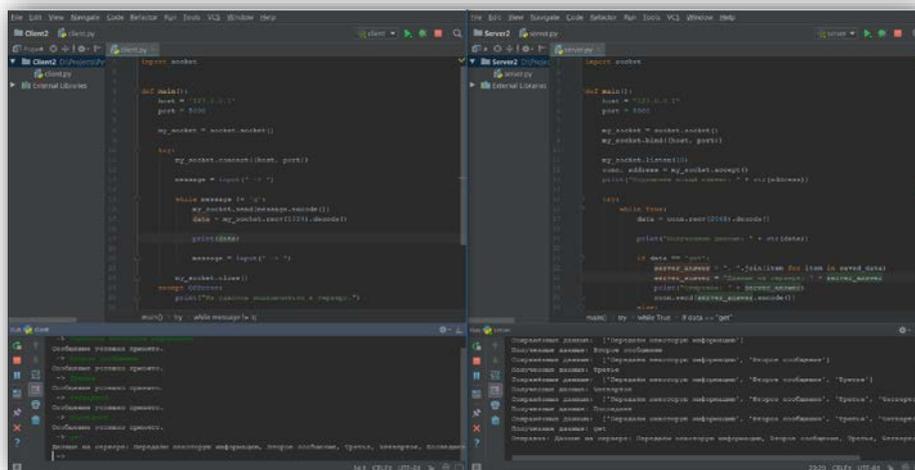


Рис. 4. Клиент-серверное взаимодействие

## Добавление синхронизации с сервером к приложению хеширования

Для реализации графической составляющей была выбрана библиотека Qt, предоставляющая кроссплатформенные решения для построения пользовательских графических интерфейсов. Внешний вид среды Qt Designer показан на рис. 5.

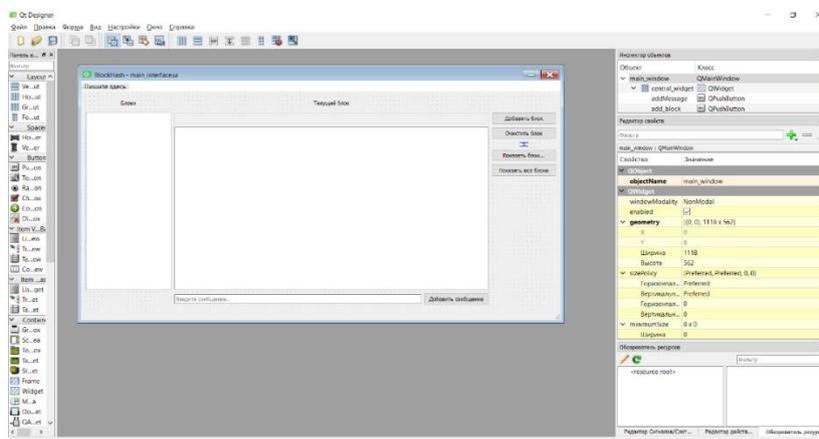


Рис. 5. Среда разработки пользовательского интерфейса

На рис. 6 показан пример реализации клиентской части приложения на основе разработанного пользовательского интерфейса, формирующего на стороне клиента последовательность хеш блоков для отправки на сервер.

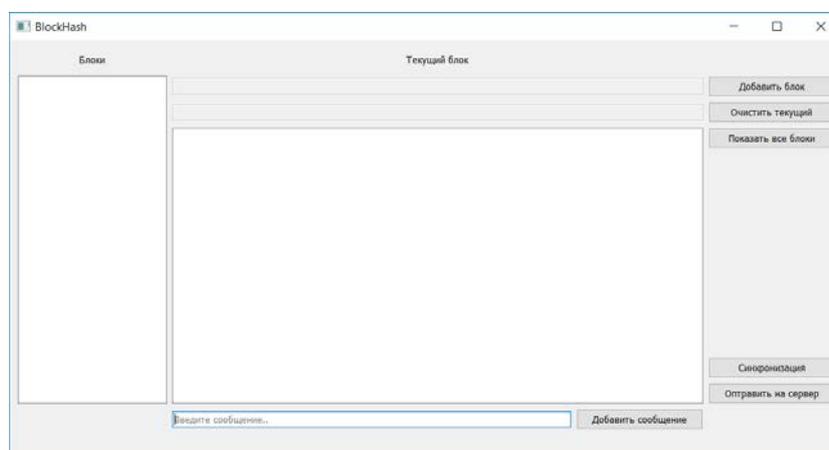


Рис. 6. Внешний вид клиентского приложения для хеширования блоков данных

Интерфейс приложения позволяет пользователю добавлять новые данные (сообщения) в блоки, редактировать данные блоки, добавлять их к общей последовательности. При этом, редактирование данных в уже сформированной последовательности, очевидно, приведёт к нарушению всей цепочки, так как блок, в котором произошло изменение, получит новое значение хеш-функции, а следующий будет хранить старое. Даже если вернуть старые данные, хеш-значение уже не будет прежним, в этом случае защиту неизменности данных возьмёт на себя именно «временная мет-

ка». Синхронизируя последовательность на клиентской части нескольких клиентов с последовательностью на сервере, можно эффективно выявлять попытки подмены данных. На рис. 7 показан пример формирования последовательности из шести блоков.

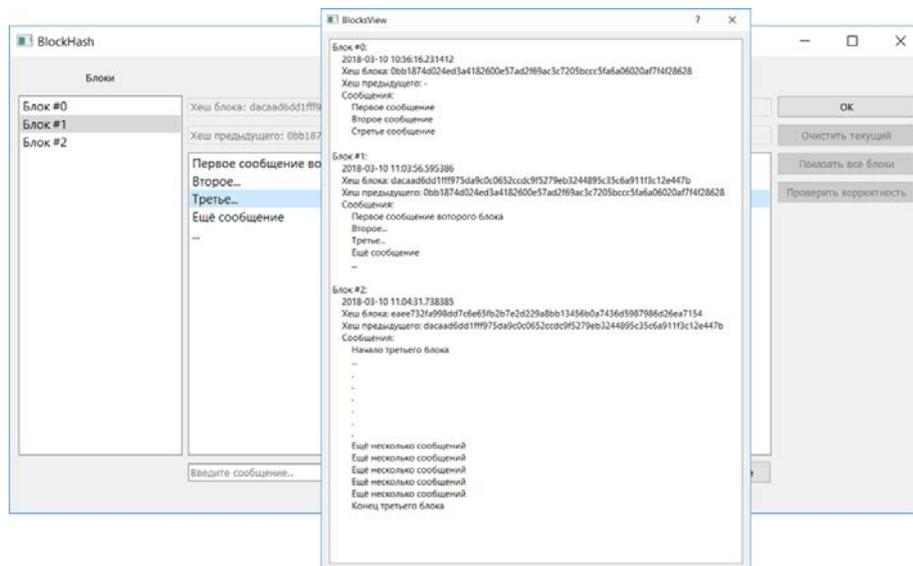


Рис. 7. Пример формирования последовательности из шести блоков

Синхронизация с сервером – это возможность любого клиентского приложения «сверить» его последовательность с той, что храниться на сервере, и восстановить её целостность в случае нарушения. При условии целостности цепочки клиентское приложение позволяет отправлять на сервер сформированную часть последовательности, которая будет продолжением общей последовательности, хранящейся удалённо

#### Список использованных источников

1. Чудеса хеширования. URL: <https://www.kaspersky.ru/blog/the-wonders-of-hashing/3633>
2. Шаньгин В. Ф. Защита информации в компьютерных системах и сетях. М.: ДМК Пресс, 2012. 592 с.
3. Олифер В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / Н. Олифер. 5-е изд. СПб.: Питер, 2016. 992 с.

УДК 621.375.8

В. А. Мацан, А. Д. Тихонович (студенты, СПбГУТ)

## ЭФФЕКТ РАМАНОВСКОГО РАССЕЙЯНИЯ В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

*Для увеличения дальности передачи информации в современных волоконно-оптических линиях связи используются оптические усилители. В работе проведено моделирование оптического усилителя на основе вынужденного комбинационного (рамановского) рассеяния в специальных оптических волокнах для компенсации хроматической дисперсии. Исследование усилителя показало, что его коэффициент усиления возрастает с увеличением уровня накачки и с увеличением уровня усиливаемого сигнала.*

*волоконно-оптическая система передачи, оптический линейный тракт, нелинейные явления в оптических волокнах, вынужденное комбинационное рассеяние, вынужденное рамановское рассеяние, оптический усилитель, коэффициент усиления, оптическая накачка, усиленное спонтанное излучение, волокно для компенсации хроматической дисперсии.*

В оптических волокнах (ОВ) существует спонтанное рамановское или комбинационное рассеяние. Этот нелинейный эффект приводит к тому, что небольшая часть мощности проходящего по ОВ излучения преобразуется в излучение с более низкой частотой. В квантовой механике этот процесс описывается как рассеяние фотона на молекуле, которая поглощает часть энергии фотона (определяемую одной из собственных частот ее колебаний  $\nu_i$ ), а частота фотона  $\nu$  уменьшается до величины  $\nu_s = \nu - \nu_i$  (стоксова частота).

Наряду со спонтанным комбинационным рассеянием существует его аналог – стимулированное или вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР). Это явление также заключается в исчезновении фотона возбуждающего излучения и испускании фотона стоксовой частоты, но вероятность этого процесса пропорциональна интенсивности возбуждающего и рассеянного излучения.

Если в ОВ вводится только интенсивное излучение с частотой  $\nu_p$  (накачка), сначала имеет место спонтанное комбинационное рассеяние с частотой  $\nu_s$ . Затем рассеянное излучение начинает действовать как стимулирующее и возникает вынужденное комбинационное рассеяние, которое приводит к усилению рассеянного излучения. Если в рассеивающей среде взаимодействуют интенсивное излучение накачки с частотой  $\nu_p$  и излучение сигнала с частотой  $\nu_s$ , излучение сигнала будет стимулирующим и начнет усиливаться за счет вынужденного комбинационного рассеяния.

Этот эффект лежит в основе работы рамановских оптических усилителей (ОУ).

На рис. 1 представлены структурные схемы рамановских ОУ. Схема содержит лазерный источник излучения накачки, мультиплексор WDM, объединяющий излучение сигнала и накачки в ОВ, в котором происходит их взаимодействие, а также полосовой оптический фильтр.

Работа рамановского ОУ с одним источником попутной или встречной накачки может быть описана следующей системой дифференциальных уравнений, определяющих изменение мощностей сигнала  $P_s$ , накачки  $P_p$  и усиленного спонтанного излучения (УСИ)  $P_n$  при распространении по волокну на расстояние  $dz$  [1, 2]:

$$\frac{dP_s}{dz} = \frac{g_r}{S_p} P_p P_s - \alpha_s P_s, \quad (1)$$

$$\pm \frac{dP_p}{dz} = -\frac{\nu_p}{\nu_s} \frac{g_r}{S_s} P_p (P_s + P_n) - \alpha_p P_p, \quad (2)$$

$$P_n = 2 \cdot h \cdot \nu_s \cdot \Delta\nu \cdot \left( \frac{P_s}{P_{s0}} - 1 \right) \cdot F_n, \quad (3)$$

где  $g_r$  – усилительная способность ОВ, м/Вт;  $\nu_s, \nu_p$  – частоты сигнала и накачки, Гц;  $\alpha_s, \alpha_p$  – коэффициенты затухания ОВ для сигнала и накачки, 1/м;  $S_s$  и  $S_p$  – эффективные площади поперечного сечения сердцевины ОВ для излучения сигнала и накачки, м<sup>2</sup>;  $h = 6.63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постоянная Планка;  $\Delta\nu$  – ширина полосы пропускания оптического фильтра, Гц;  $P_{s0}$  – мощность сигнала в начале ОВ (при  $z = 0$ ), Вт;  $z$  – расстояние вдоль волокна, м;  $F_n$  – шум-фактор, дБ. В выражении (2) «+» соответствует накачке в попутном направлении, «-» – во встречном.

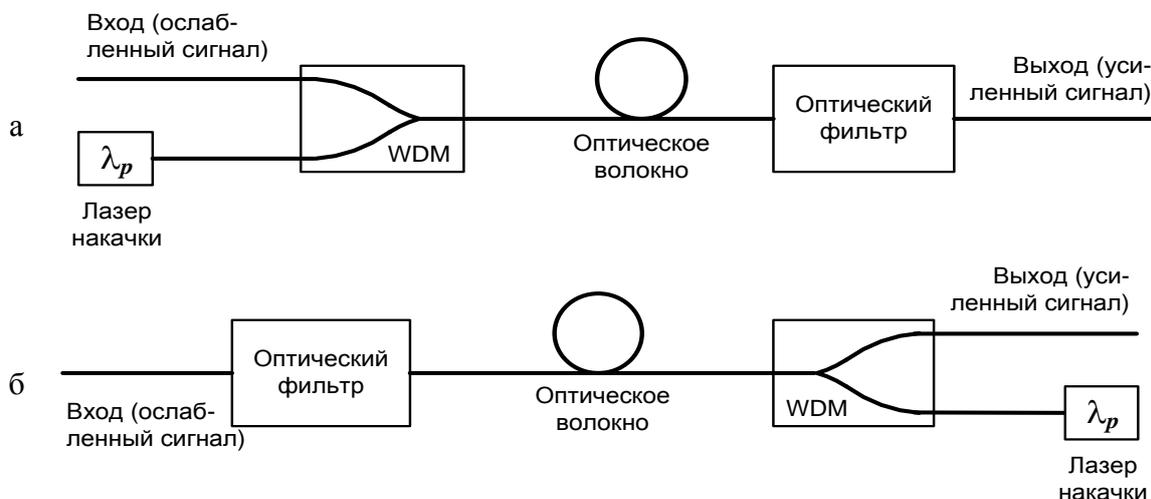


Рис. 1. Структурная схема рамановского оптического усилителя с попутной (а) и встречной (б) накачкой

Для ОУ можно определить коэффициент усиления:

$$G = 10 \lg \frac{P_{sl}}{P_{s0}}, \quad (5)$$

где  $P_{sl}$  – мощность сигнала на выходе ОУ.

Система уравнений (1)–(3) не имеет аналитического решения, но может быть решена численным методом.

На рис. 2 представлены графики зависимости усилительной способности стандартного ОВ (SF) и специального ОВ для компенсации дисперсии (DCF) от разности частот накачки и сигнала [3]. Из графиков видно, что усилительная способность специального ОВ примерно в 3 раза выше, чем стандартного. Поэтому в работе исследуются рамановские ОУ, построенные на этом ОВ.

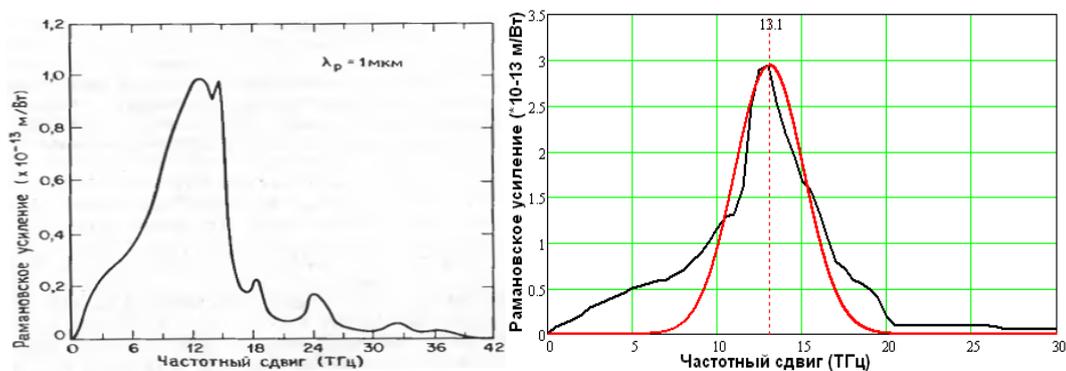


Рис. 2. Усилительная способность стандартного ОВ (а) и специального ОВ для компенсации дисперсии (б)

В [4] приведено приближенное выражение для порогового значения мощности накачки  $P_{pt}$  (при которой примерно половина мощности накачки преобразуется в сигнал более низкой частоты):

$$P_{pt} \approx \frac{16S_{eff}}{g_r L_{eff}}, \quad (6)$$

где  $S_{eff}$  – эффективная площадь сердцевины волокна,  $L_{eff}$  – эффективная длина волокна, на которой происходит взаимодействие сигнала и накачки. При типичных значениях  $L_{eff} = 20$  км,  $S_{eff} = 50$  мкм<sup>2</sup> получаем  $P_{pt} = 600$  мВт. Таким образом, для достижения усиления необходима значительная мощность накачки.

На рис. 3 и 4 представлены результаты исследования зависимости коэффициентов усиления рамановских ОУ, построенных на ОВ DCF различной длины, от уровня сигнала  $y_{s0}$  на входе. Расчеты проводились по выражениям (1)–(3). Из представленных графиков видно, что коэффициент

усиления максимален при малых значениях сигнала на входе и уменьшается при его увеличении.

Из рис. 3 видно, что максимальное значение коэффициента усиления различно для ОУ с разной длиной ОБ DCF. При мощности накачки 500 мВт самый большой коэффициент усиления наблюдался при длине ОБ DCF 10 км, самый маленький – при длине ОБ DCF 20 км. При мощности накачки 1 000 мВт самый большой коэффициент усиления наблюдался при длине ОБ DCF 15 км, самый маленький – при длине ОБ DCF 10 км. При мощности накачки 1 500 мВт наибольший коэффициент усиления наблюдался при длинах ОБ DCF 15 и 20 км, самый маленький – при длине ОБ DCF 10 км.

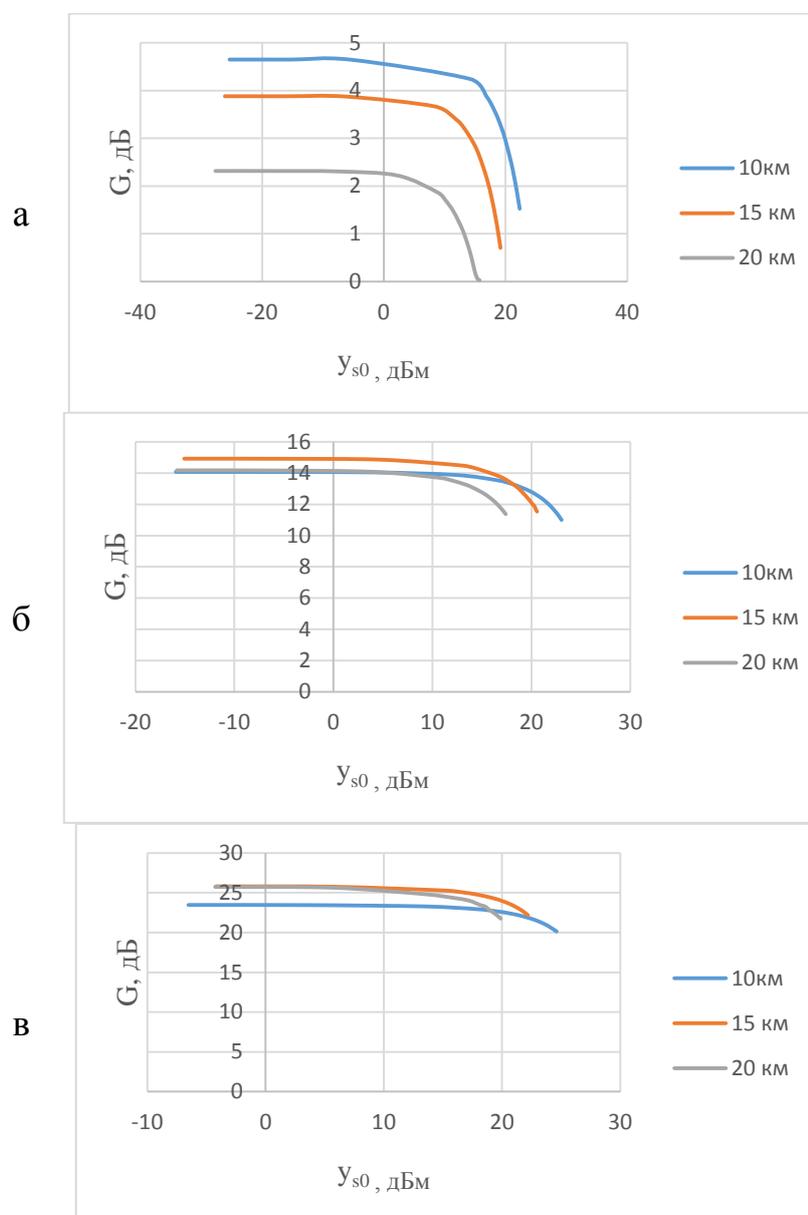


Рис. 3. Коэффициенты усиления рамановских ОУ, построенных на ОБ DCF различной длины, при мощности накачки 500 мВт (а), 1 000 мВт (б) и 1 500 мВт (в)

Таким образом, для каждого значения мощности накачки существует оптимальная длина волокна в усилителе, обеспечивающая максимальный коэффициент усиления. Сопоставление коэффициентов усиления ОУ при различных мощностях накачки (рис. 4) позволило установить, что при мощностях накачки 1 500 и 1 000 мВт наибольший коэффициент усиления обеспечивает ОУ с длиной ОВ DCF 15 км, а при мощности накачки 500 мВт – 10 км.

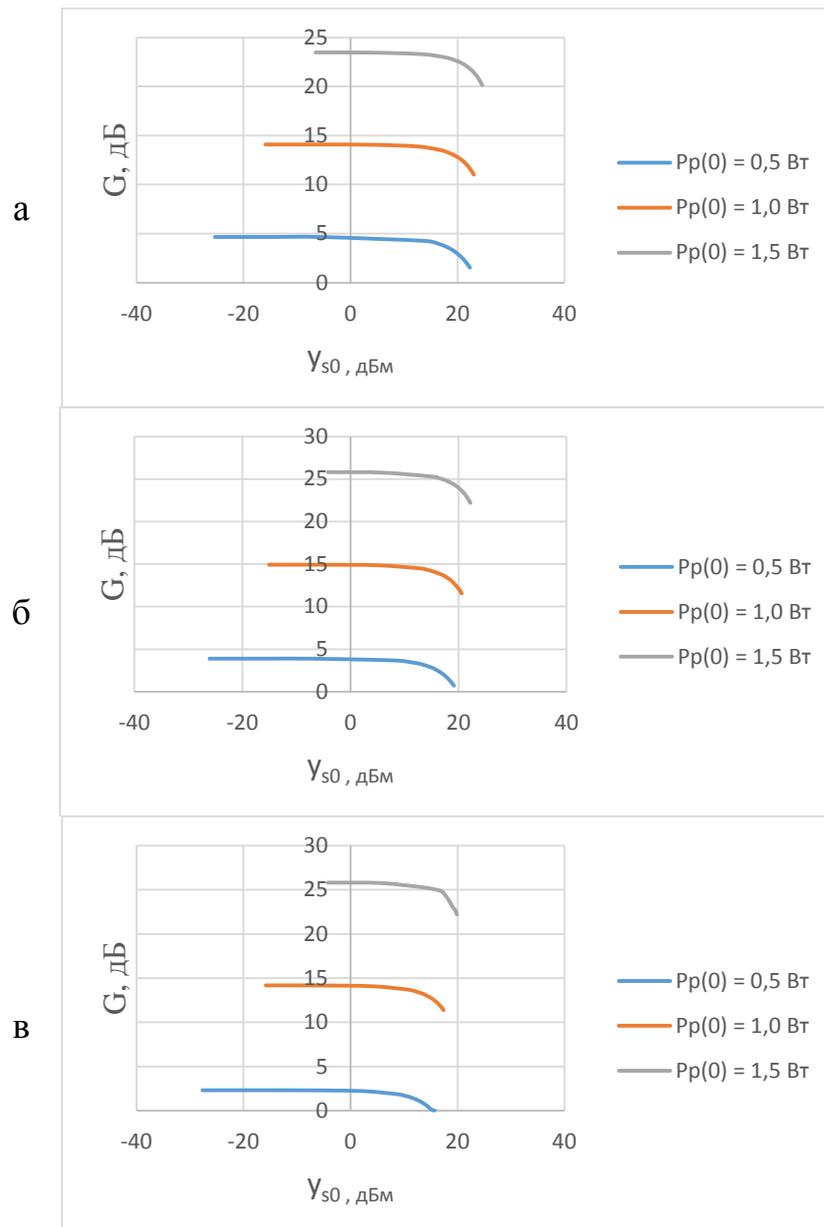


Рис. 4. Коэффициенты усиления рамановских ОУ при различной мощности накачки, построенных на ОВ DCF длиной: *а* – 10 км, *б* – 15 км, *в* – 20 км

На рис. 5 представлены результаты исследования зависимости коэффициента усиления рамановского ОУ от длины ОВ DCF. Расчеты проведены при мощности сигнала на входе ОУ, равной 1 мкВт. По данным графиче-

кам можно определить оптимальное значение длины ОВ DCF, обеспечивающее максимальное усиление при выбранной мощности накачки.

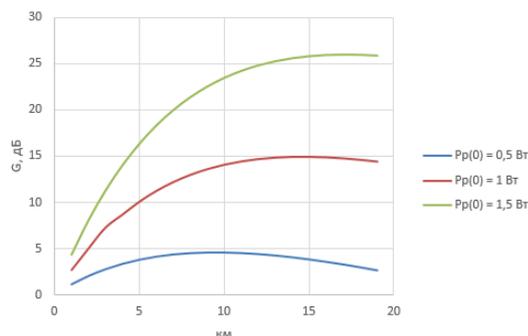


Рис. 5. Зависимости коэффициента усиления рамановского ОУ при различной мощности накачки от длины ОВ DCF

преимуществом использования ОВ DCF в рамановском ОУ является возможность одновременной компенсации затухания и хроматической дисперсии.

4. Рамановские ОУ работают при относительно больших уровнях накачки.

5. Коэффициент усиления ОУ максимален при малом входном сигнале.

6. Коэффициент усиления ОУ возрастает с увеличением мощности накачки.

7. Для каждого значения мощности накачки существует оптимальная длина ОВ в ОУ, обеспечивающая максимальный коэффициент усиления.

#### Список использованных источников

1. Былина М. С., Глаголев С. Ф. Использование оптических усилителей в линейных трактах ВОЛС // Фотон-Экспресс. 2007. № 7.
2. Былина М. С., Глаголев С. Ф. Использование рамановских усилителей для реконструкции ВОЛП // Фотон-Экспресс. 2014. № 6.
3. Андреев В. А., Дашков М. В. Рамановские усилители на волоконно-оптических линиях передачи. М.: Ириас, 2008. 219 с.
4. Headley C., Agrawal G. A. Raman Amplification in Fiber Optical Communication Systems. Elsevier Academic Press, 2005.

*Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом Былиной М. С., СПбГУТ.*

УДК 004.732+004.738

Д. П. Морозов, М. В. Павшева (студенты, СПбГУТ)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ В RIVERBED MODELER ACADEMIC EDITION

*Организация корпоративных сетей компаний, предприятий, государственных учреждений является задачей, требующей грамотного планирования, и имеет множество подходов для её построения. Исследование принципов организации и работы таких сетей путем дискретно-событийного моделирования является актуальным и в настоящее время. В работе применяется среда визуализации процесса моделирования Riverbed Modeler Academic Edition.*

*топологии сетей, LAN, WAN, FDDI, ATM, Token Ring, модель, имитация, имитационное моделирование.*

В работе исследование выполняется на основе локальных сетей, связанных между собой с помощью глобальной компьютерной сети (WAN), с помощью моделирования в среде OPNET Modeler. Объектом исследования является построение корпоративной сети на примере моделирования университетского кампуса, состоящего из различного количества клиентов и конфигурации приложений (*Ethernet, FDDI, Token Ring LAN*). Сеть состоит из двух подсетей, находящихся в разных корпусах и связанных между собой сетью WAN (см. рис. 1).

В результате удастся изучить производительность сети при различных уровнях нагрузки. Используя общие модели LAN, оценить влияние увеличения нагрузки трафика на FTP-сервер на производительность сети.

Сеть главного корпуса университета состоит из сетей: научный комитет, администрация, компьютерная лаборатория, гуманитарный факультет. Общее количество рабочих станций составляет 35 единиц. Сеть второго корпуса университета состоит из сетей: физико-технический и инженерный факультет и FTP-сервера. Общее количество рабочих станций составляет 10 единиц.

Соединение двух корпусов осуществляется через 2 высокоскоростные линии (магистральные каналы) с асинхронным способом передачи данных. Магистраль – совокупность физических телекоммуникационных каналов между распределительными пунктами внутри здания и между зданиями.

Соединение двух локальных сетей физико-технического и инженерного факультетов осуществляется на основе технологии распределенного интерфейса передачи данных по оптоволокну (FDDI), где скорость передачи равна 100 Мбит/сек. Пакеты маршрутизируются по принципу «первый пришел – первым обслужить».

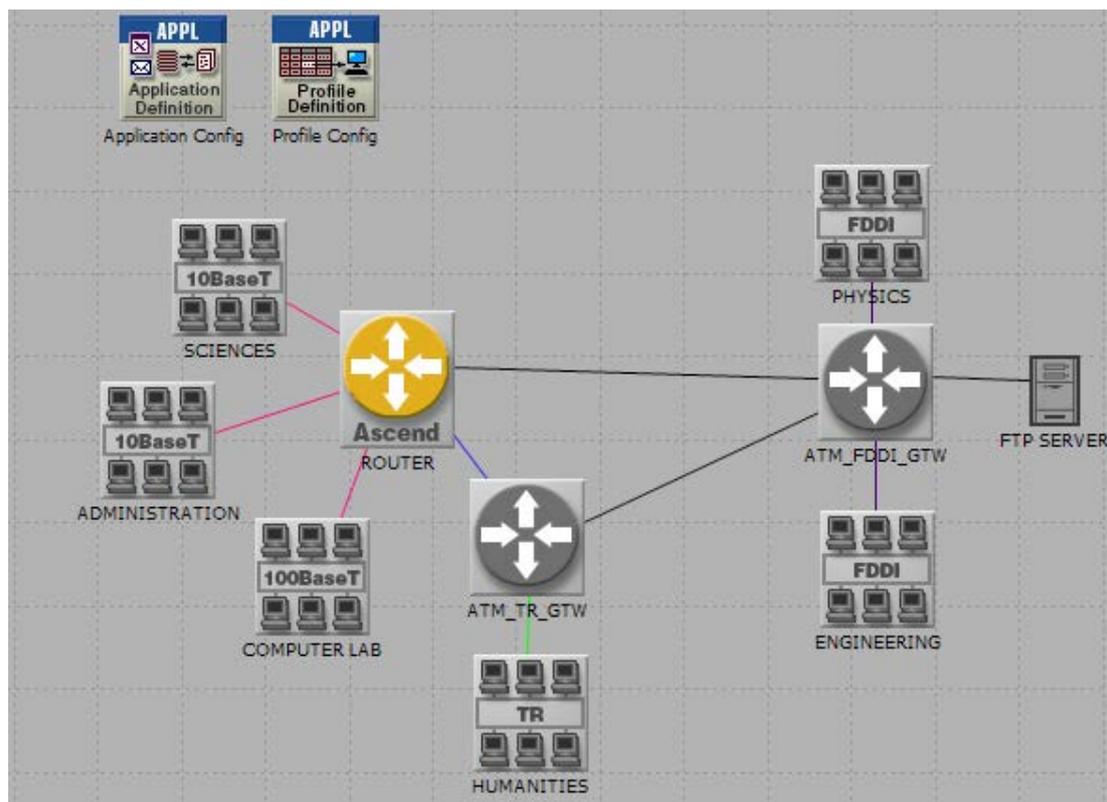


Рис. 1. Модель университетской сети

LAN-серверы поддерживают все приложения, кроме FTP. FTP-сервер располагается на отдельно отведенном сервере.

Технология FDDI (*Fiber Distributed Data Interface* – распределенный интерфейс передачи данных по оптоволокну) – это первая технология локальных сетей, в которой в качестве среды передачи данных стал применяться волоконно-оптический кабель [4]. Технология FDDI во многом основывается на технологии Token Ring, развивая и совершенствуя ее основные идеи [1].

FTP-сервер соединен по ATM линии. Всем приложениям, в том числе мультимедиа, Internet и др., требуется широкополосный доступ в сеть с рабочих станций. Современные технологии обеспечивают высокую скорость доступа для рабочих станций, но только ATM (*Asynchronous transfer mode* – асинхронный способ передачи данных) обеспечивает эффективную связь между локальными и WAN-сетями [3]. Так как передача данных через WAN-сеть осуществляется без изменения формата ячеек. Высокопроизводительные приложения типа ЛВС клиент-сервер (FTP-сервер) требуют высокой скорости передачи в активном состоянии и практически не используют сеть в остальное время. При этом система находится в активном состоянии (обмен данными) достаточно малое время.

Соединение локальных сетей главного корпуса научный комитет, администрация осуществляется через 10BaseT-канал, компьютерная лабора-

тория через 100BaseT-канал. Связь всех локальных сетей главного корпуса осуществляется с помощью IP-коммутатора Ascend GRF 1600.

Все рабочие станции гуманитарного факультета объединены в маркерное кольцо участка локальной сети.

Взаимодействие локальной сети гуманитарного факультета с факультетами главной подсети и второстепенной подсети (корпусами) осуществляется через шлюз, где скорость передачи по Token Ring равна 4 Мбит/сек.

Token Ring (маркерное кольцо участка локальной сети (LAN)) – это протокол связи для локальных сетей [2]. Он использует специальный трехбайтовый кадр под названием "маркер", который перемещается вокруг логического "кольца" рабочих станций или серверов. Передача маркера – это метод доступа к каналу, обеспечивая справедливый доступ для всех станций, и исключения столкновений конкурирующих методов доступа. Технология представлена IBM в 1984 году, а затем стандартизирована с протоколом IEEE 802.5 [5].

## Заключение

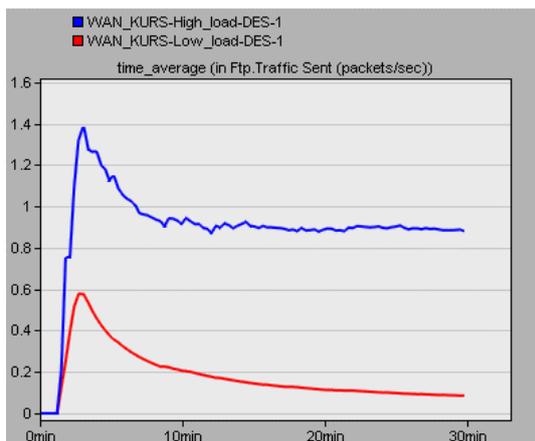


Рис. 2. Сравнение отправленного трафика

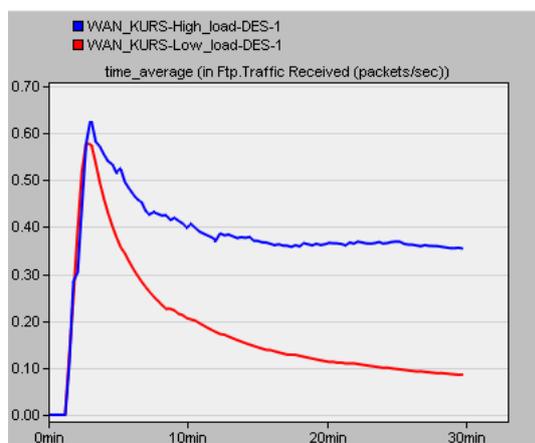


Рис. 3. Сравнение полученного трафика

Анализируя полученные при моделировании данные, можно сделать вывод о том, что увеличение нагрузки более чем в два раза на FTP-сервер влечет за собой увеличение задержки на магистральной АТМ-сети при передаче из одной подсети в другую (рис. 4). Увеличение нагрузки достигается путем увеличения трафика, направляемого с рабочих станций (рис. 2) и ответного (отправленного) (рис. 3) на FTP-сервер.

При изменении конфигурации генерации размера отправляемых на FTP-сервер файлов с заданного статического значения, равного 50 000, на нормальный закон распределения значений случайной величины в диапазоне от 50 000 до 25 000 000 время обработки задачи FTP-сервером увеличилось в среднем в 10 раз (рис. 5).

В целом, можно сделать вывод, что эффективность применения программного комплекса Riverbed Modeler Academic Edition подтверждается

существенным снижением временных затрат и полученными релевантными результатами, и среда может быть использована для дальнейшего исследования сетей.

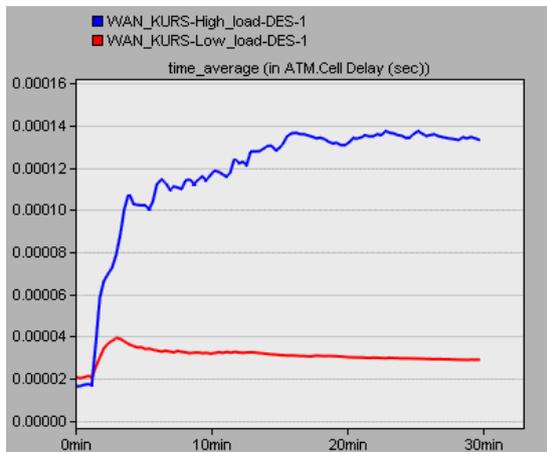


Рис. 4. Сравнение задержки при передаче из конца в конец по ATM

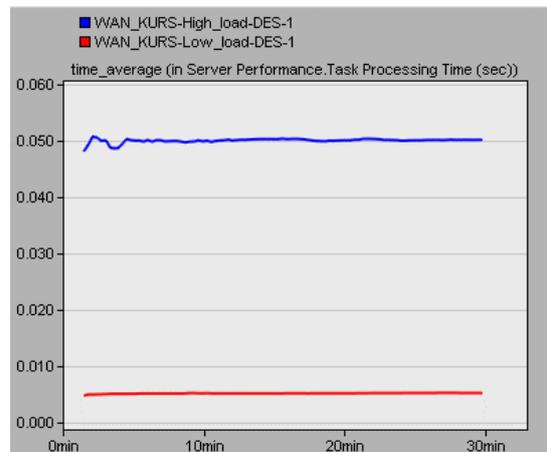


Рис. 5. Сравнение времени обработки задачи

#### Список использованных источников

1. Иллюстрированный самоучитель по локальным сетям. Глава 5. Стандартные локальные сети. URL: <http://adminbook.ru/index.php?men1=6/5/0>
2. История создания Token Ring. URL: <http://studopedia.org/9-51521>
3. Технология ATM [Электронный ресурс]. URL: [http://network.xsp.ru/5\\_9.php](http://network.xsp.ru/5_9.php)
4. Основы технологии FDDI. URL: [http://citforum.ru/nets/protocols2/2\\_08\\_02.shtml](http://citforum.ru/nets/protocols2/2_08_02.shtml)
5. Token Ring. Материал из Национальной библиотеки им. Н. Э. Баумана. URL: [https://ru.bmstu.wiki/Token\\_Ring](https://ru.bmstu.wiki/Token_Ring)

*Статья представлена научным руководителем, старшим преподавателем Петровой О. Б., СПбГУТ.*

**УДК 004.942:[004.312.24+621.395.4]**

**Б. К. Резников** (студент, СПбГУТ)

## МОДЕЛЬ ПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ НА ПЛИС CYCLONE V

*Статья посвящена моделированию приемного устройства МСП, а именно каналовыделяющего оборудования на ПЛИС. Представлен один из способов выделения канала из группового сигнала цифровой системы передачи информации.*

демультиплексор, каналообразующее оборудование, цифровая система передачи, программируемая логическая интегральная схема, демультиплексирование цифровых потоков.

Многоканальная система передачи – совокупность технических средств, обеспечивающая одновременную передачу сообщений от  $N$  источников к  $N$  получателям по одной цепи связи (одному стволу).

МСП состоит из передающей части (ПДУ), группового тракта передачи и приемной части (ПрУ) (рис. 1) [1, 3].

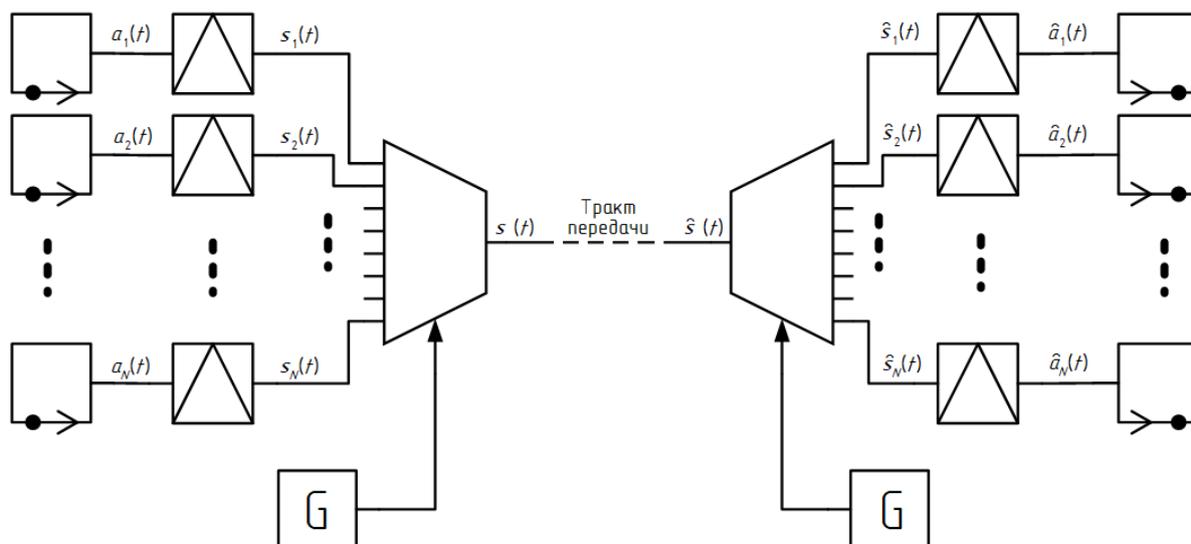


Рис. 1. Обобщенная структурная схема МСП

### Временное разделение каналов

В моделируемом устройстве (ПрУ МСП), как и в ПДУ, будет использоваться метод передачи с ВРК и цифровой передачей группового сигнала – каналные сигналы будут передаваться в разные промежутки времени в цифровом двоичном виде. ВРК в моделируемой системе будет обеспечиваться последовательной коммутацией каналных сигналов выходную линию передачи – мультиплексирование. В качестве устройства демультиплексирования будет использоваться каскадное соединение одного первичного демультиплексора и ряда сдвиговых регистров (рис. 2).

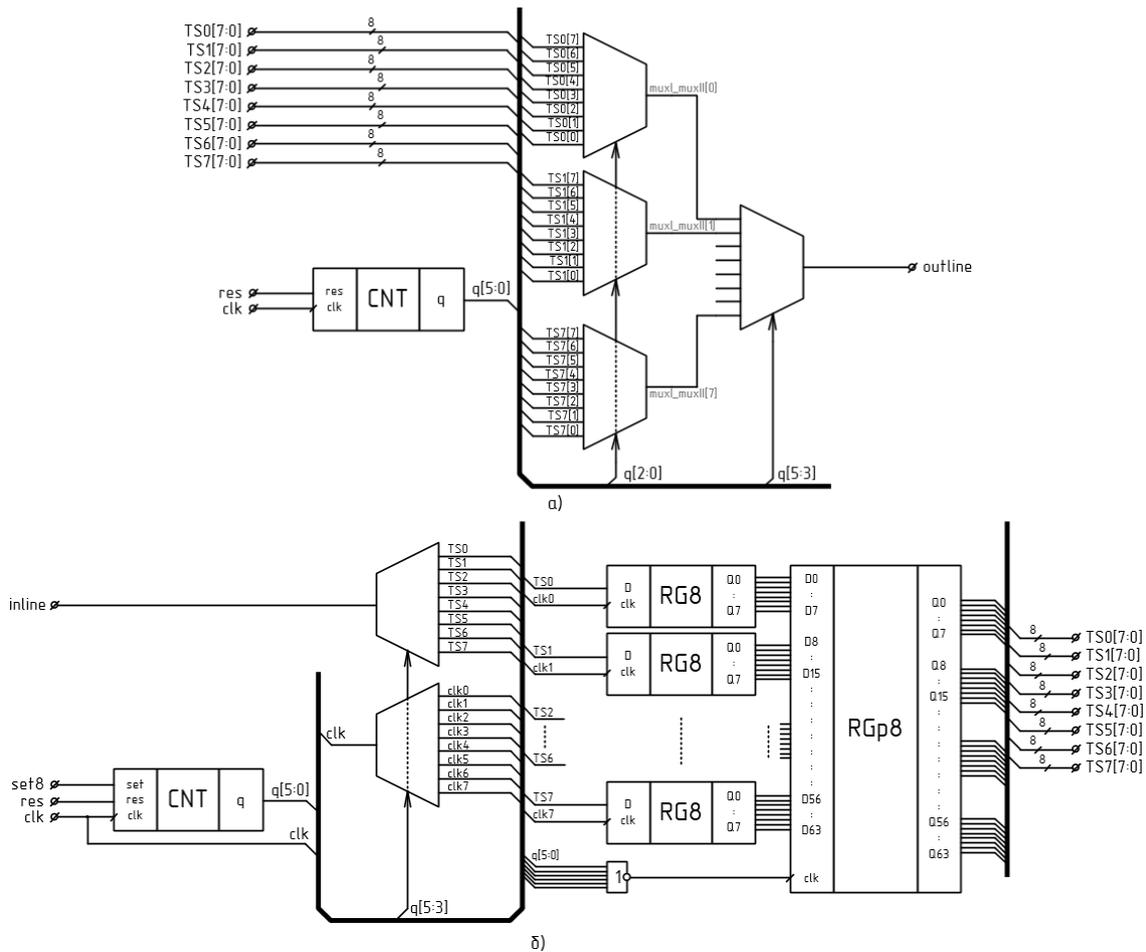


Рис. 2. Передающее (а) и приемное (б) устройства

На рис. 3 показаны временные диаграммы работы ПдУ и ПрУ моделируемой МСП. Видно, что на приемной стороне происходит запаздывание сигнала на один цикл передачи.

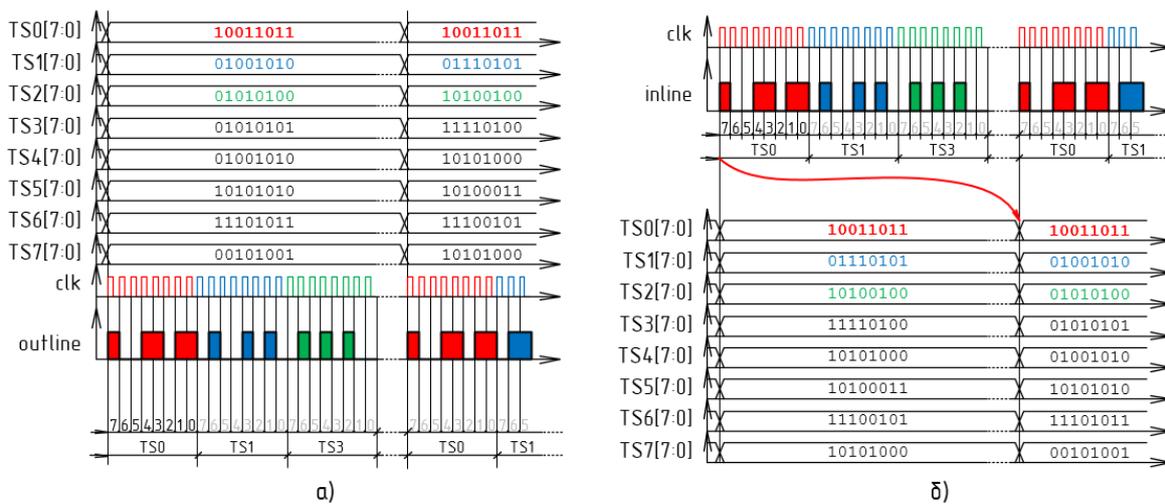


Рис. 3. Временные диаграммы работы передающего (а) и приемного (б) устройств

Сигнал, поступивший с линии, попадает на первичный демультиплексор, где разделяется на восемь линий, соединяющих выходные контакты мультиплексора со входными контактами сдвиговых 8-разрядных регистров. Таким образом обеспечивается разделение потока на каналные интервалы. После прохождения сигнала через первичный демультиплексор сигнал необходимо преобразовать в параллельный вид. Для этого используются сдвиговые регистры и 64-разрядный регистр-защелка, фиксирующий каждый из битов цикла один раз в цикл.

### **Тактирование в схеме. Генераторное оборудование**

В качестве генераторного оборудования (ГО), формирующего разрезающие импульсы, используется инкрементирующий счетчик, который формирует адреса для мультиплексоров. На адресные входы демультиплексора поступают 3–5 разряды выхода счетчика.

В проектируемом устройстве используется схема расщепления синхроимпульсов, выполненная в виде демультиплексора, аналогичного первичному. Его адресация осуществляется также, как и у первичного. Выходные контакты демультиплексора соединены с входами синхронизации сдвиговых регистров, что обеспечивает подачу сигналов синхронизации только на один из регистров.

Подача синхросигнала на регистр-защелку осуществляется в момент нулевого значения на выходе счетчика. Добиться этого можно, подав выходные сигналы счетчика на элемент 8-ИЛИ-НЕ, соединенный с входом синхронизации регистра-защелки.

Счетчик помимо входа синхросигнала имеет вход установки «8» `set100` и вход сброса `res`. Вход установки нужен для вхождения системы в режим синхронизма после получения сигнала синхронизации, передающегося в нулевом канальном интервале `TS0`.

### **Программирование устройства на ПЛИС**

Моделируемое устройство было разработано в среде программирования Quartus II 15.0. Данная среда позволяет запрограммировать устройство в ПЛИС с помощью соответствующего функционала. В качестве программируемого устройства была использована отладочная плата DE1-SoC с ПЛИС Cyclone V компании Altera (Intel FPGA).

### **Выводы**

Модель устройства представляется возможным использовать в качестве одного из элементов модели МСП на ПЛИС при разработке задания на курсовое проектирование в курсе изучения дисциплины «Вычислительная и микропроцессорная техника» для студентов, обучающихся по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

профилей «Многоканальные телекоммуникационные системы», «Оптические системы и сети связи», «Сети связи и системы коммутации», а также в рамках дисциплины «Использование вычислительной и микропроцессорной техники в оптико-электронном приборостроении» направления «Фотоника и оптоинформатика».

#### Список использованных источников

1. Матюхин А. Ю., Курицын С. А. Многоканальные системы передачи: учеб. пособие. СПб.: СПбГУТ, 2013. 400 с.
2. Неёлова О. Л. Базовые цифровые устройства телекоммуникационных систем: учебное пособие. СПб.: СПбГУТ, 2006. 40 с.
3. Резников Б. К. Модель передающего устройства многоканальной системы передачи на ПЛИС Cyclone V // 71-я региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Студенческая весна – 2017»: сб. науч. ст. в 2-х т. / Под ред. К. В. Дукельского. Т. 1. СПб.: СПбГУТ, 2017. С. 192–196.

*Статья представлена научным руководителем, старшим преподавателем Неёловой О. Л., СПбГУТ.*

**УДК 681.7.064.43**

**Б. К. Резников** (студент, СПбГУТ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ФИЛЬТРОВ

*В работе предложена методика анализа спектральных характеристик оптических фильтров, конструкция которых представляет собой многослойную структуру. Методика основана на представлении элементов структуры в виде матриц передачи и рассеяния. Приведены примеры расчета интерференционных фильтров.*

*фильтры оптические интерференционные, фильтрация излучения, слоистые среды, многослойные структуры.*

### Введение

Объектом теоретического и экспериментального исследования являются оптические интерференционные фильтры. Целью работы является определение методики расчета интерференционных оптических фильтров.

Интерференционные фильтры широко используются в волоконно-оптических системах передачи (ВОСП). На их основе создаются мультиплексоры спектрального уплотнения, они используются в ВОСП с усилителями для выравнивания характеристики усиления, подавления остаточного излучения накачки, выделения сигнала на фоне шумов.

Интерференционный оптический фильтр представляет собой структуру, состоящую из тонких слоев оптических материалов (обычно кристаллов), каждый из которых обладает своими толщиной и показателем преломления (ПП). Работа такого фильтра основана на явлении интерференции. Варьируя материалы слоев, можно получить фильтры, работающие в различных диапазонах оптического излучения от ультрафиолетового (170 нм) до инфракрасного (18 мкм).

### Матричный метод расчета многослойной структуры

Рассмотрим многослойную структуру (рис. 1), состоящую из  $N$  слоев с ПП  $n_k$  и толщинами  $d_k$  ( $k = 1, 2 \dots N$ ) и ограниченную с одной стороны окружающей средой с ПП  $n_e$ , а с другой – подложкой с ПП  $n_s$ . При падении плоской волны на такую структуру на каждой границе двух соседних слоев происходит ее отражение и преломление. Амплитуды напряженностей электрического поля образующихся отраженных и прошедших волн можно рассчитать по известным формулам Френеля [1].

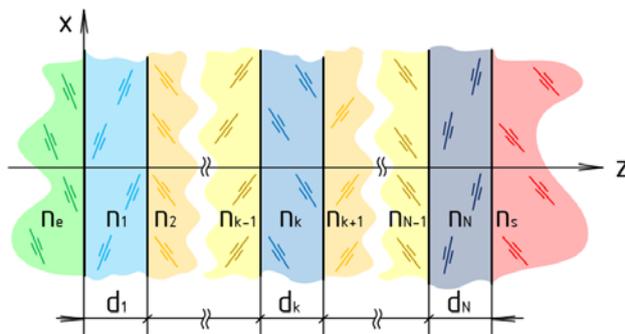


Рис. 1. Поперечное сечение многослойной структуры

Пусть плоская волна падает на многослойную структуру нормально со стороны среды с показателем преломления  $n_e$ . Будем полагать, что в каждой точке структуры существует только две волны – прямая  $\xi_t$ , представляющая собой результат интерференции всех волн, сонаправленных с падающей волной, и обратная  $\xi_r$ , представляющая собой результат интерференции всех волн, направленных противоположно падающей волне [2]. В этом случае описание волн сводится к определению амплитуд напряженностей электрического поля.

Под отраженной от структуры волной будем понимать обратную волну в среде с показателем преломления  $n_e$  на поверхности  $z = 0$ . Под прошедшей структуру волной будем понимать прямую волну в среде с показателем преломления  $n_s$  на поверхности  $z = \sum d_k$ . Рассчитав амплитуды напряженностей электрического поля отраженной  $E_r$  и прошедшей  $E_t$  волн, можно определить амплитудные характеристики (АЧХ) отражения  $A_r$  и пропускания  $A_t$  структуры:

$$A_r(\lambda) = \left| \frac{E_r(\lambda)}{E_i(\lambda)} \right| = |r|, \quad A_t(\lambda) = \left| \frac{E_t(\lambda)}{E_i(\lambda)} \right| = |t|, \quad (1)$$

где  $E_i$  – амплитуда напряженности электрического поля падающей волны,  $r$  и  $t$  – амплитудные коэффициенты отражения и пропускания структуры соответственно,  $\lambda$  – длина волны падающего излучения.

В рамках матричного метода связь между амплитудами напряженностей электрического поля в прямой  $E_t$  и обратной  $E_r$  волнах в сечениях  $z = z_1$  и  $z = z_2$  может быть представлена в виде

$$\begin{bmatrix} E_t(z_2) \\ E_r(z_2) \end{bmatrix} = \mathbb{M} \times \begin{bmatrix} E_t(z_1) \\ E_r(z_1) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $\mathbb{M}$  – матрица передачи. Для описания рассматриваемой структуры введем 2 типа матриц передачи:

1. матрицу слоя  $\mathbf{M}_k$  для связи амплитуд напряженностей электрического поля на границах каждого слоя  $k$  в среде с ПП  $n_k$ ;

2. матрицу границы  $\mathbf{M}_{k k+1}$  для связи амплитуд напряженностей электрического поля на границе  $k$  и  $k+1$  слоев в средах с ПП  $n_k$  и  $n_{k+1}$ .

Представляя многослойную структуру в виде последовательности слоев и границ [1], можно определить матрицу передачи всей структуры, связывающую амплитуды напряженностей электрического поля в прямой и обратной волнах на ее крайних границах:

$$\mathbb{M} = \mathbf{M}_N \mathbf{M}_{N N-1} \mathbf{M}_{N-1} \cdot \dots \cdot \mathbf{M}_{k k+1} \mathbf{M}_k \mathbf{M}_{k-1 k} \cdot \dots \cdot \mathbf{M}_2 \mathbf{M}_{12} \mathbf{M}_1 \quad (3)$$

Для матрицы слоя  $\mathbf{M}_k$  справедливо известное соотношение:

$$\mathbf{M}_k = \begin{bmatrix} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} n_k d_k\right) & 0 \\ 0 & \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} n_k d_k\right) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Для определения коэффициентов матрицы  $\mathbf{M}_{k k+1}$  определим сначала коэффициенты матрицы рассеяния для границы  $k$  и  $k+1$  слоев  $\mathbf{S}_{k k+1}$  [3]:

$$\begin{bmatrix} E_{tk+1} \\ E_{rk} \end{bmatrix} = \mathbf{S}_{k k+1} \begin{bmatrix} E_{tk} \\ E_{rk+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{kk+1} & r_{k+1 k} \\ r_{kk+1} & t_{k+1 k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{tk} \\ E_{rk+1} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

где  $t_{kk+1}$  и  $t_{k+1 k}$  – амплитудные коэффициенты пропускания для волн, падающих из среды  $k$  в среду  $k+1$  и из среды  $k+1$  в среду  $k$ ,  $r_{kk+1}$  и  $r_{k+1 k}$  – амплитудные коэффициенты отражения для волн, падающих из среды  $k$  в среду  $k+1$  и из среды  $k+1$  в среду  $k$ . Из (4) видно, что элементы матрицы рассеяния можно рассчитать по известным формулам Френеля.

Переход от волновой матрицы к матрице рассеяния и обратно осуществляется с помощью формального преобразования [3]

$$\mathbb{M} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{t_{21}} \begin{bmatrix} t_{12}t_{21} - r_{12}r_{21} & r_{12} \\ -r_{21} & 1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$\mathbb{S} = \begin{bmatrix} t_{12} & r_{21} \\ r_{12} & t_{21} \end{bmatrix} = \frac{1}{m_{22}} \begin{bmatrix} m_{11}m_{22} - m_{12}m_{21} & m_{12} \\ -m_{21} & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Таким образом, определяется следующая методика расчета спектральных характеристик многослойной структуры с заданными показателями преломления и толщинами:

1. Многослойная структура условно делится на однородные слои.
2. Для каждой границы двух соседних слоев с использованием формул Френеля определяются амплитудные коэффициенты пропускания и отражения, строится матрица рассеяния, из которой путем преобразования (6) определяется соответствующая матрица передачи.
3. Для каждого однородного слоя определяется матрица передачи в соответствии с выражением (4).
4. Матрица передачи многослойной структуры определяется по формуле (3).
5. Матрица рассеяния многослойной структуры определяется путем преобразования (7).
6. С использованием коэффициентов матрицы рассеяния многослойной структуры рассчитываются амплитуды напряженностей электрического поля в отраженной от структуры и прошедшей структуру волнах по формуле (5) и амплитудные коэффициенты отражения и пропускания структуры.
7. Определяются амплитудные характеристики отражения и пропускания структуры по формуле (1).

### Расчет спектральных характеристик многослойной периодической структуры в проходящем свете

В качестве примера рассмотрим процесс расчета спектральных характеристик многослойной периодической структуры (структуры, электромагнитные свойства которой имеют периодический характер), находящейся в воздухе ( $n_e = n_s = 1$ ). Свет падает на структуру нормально.

Пусть период структуры содержит два слоя с параметрами (рис. 2):  $n_1 = 1,74$  – показатель преломления среды 1;  $d_1 = 220$  нм – толщина среды 1;  $n_2 = 1,76$  – показатель преломления среды 2;  $d_2 = 220$  нм – толщина среды 2.

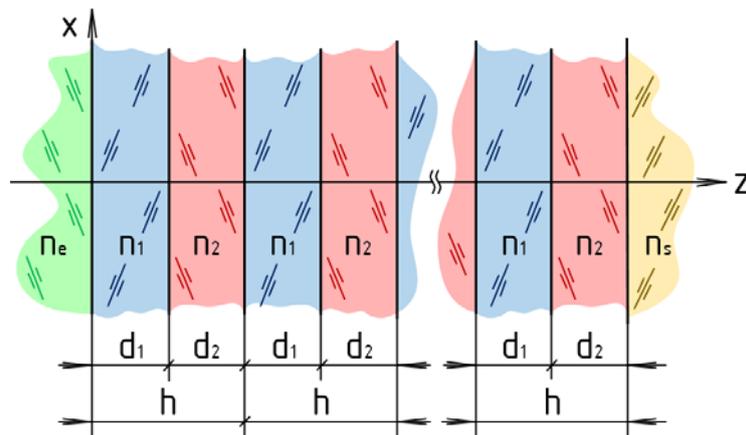


Рис. 2. Поперечное сечение многослойной периодической структуры

Определим матрицу передачи для периода [4], который включает в себя среду 1, границу между средами 1-2, среду 2 и границу между средами 2-1:

$$M_p(\lambda_0) = M_{21} \cdot M_2(\lambda_0) \cdot M_{12} \cdot M_1(\lambda_0).$$

Тогда результирующая матрица передачи структуры будет иметь вид:

$$M_{es}(\lambda_0) = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} = M_{2s} M_2(\lambda_0) M_{12} M_1(\lambda_0) \left( M_p(\lambda_0) \right)^{k-1} M_{e1}.$$

Выполнив вычисления определенные п. 5–7 представленной выше методики, получим амплитудные характеристики периодической структуры. На рис. 3 представлена амплитудная характеристика пропускания для периодических структур с разным числом слоев.

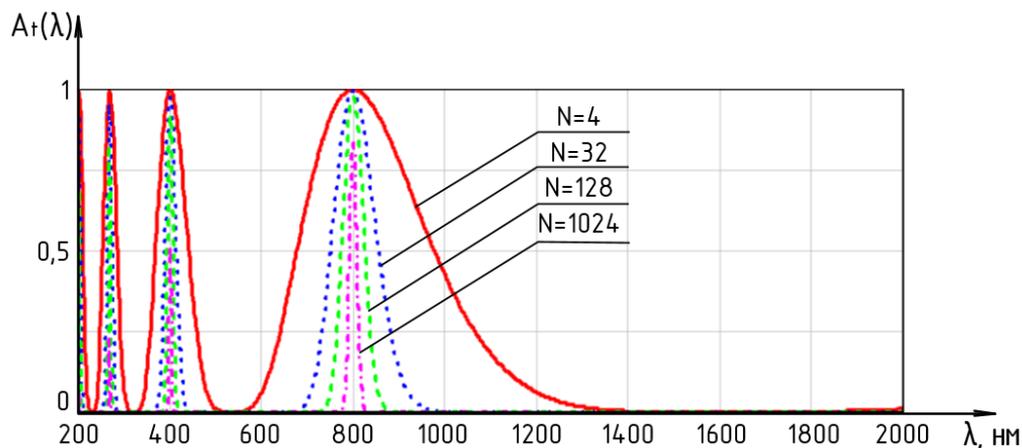


Рис. 3. Амплитудные спектральные характеристики пропускания многослойных периодических структур с разным количеством слоев.

Из рис. 3 видно, что при увеличении количества слоев в многослойной структуре наблюдается сужение полос пропускания и расширение полос задерживания.

## Заключение

Предложенная в работе методика расчета может быть использована разработчиками для предварительного моделирования интерференционных фильтров.

## Список использованных источников

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 713 с.
2. Джеррард А., Берч Дж. М. Введение в матричную оптику. М.: Мир, 1978. 341 с.
3. Салех Б., Тейх М. Оптика и фотоника. Принципы и применения. Долгопрудный : Интеллект, 2012. Т. 1. 760 с.
4. Султанов А. Х. Синтез оптических отражательных фильтров на основе тонкопленочных структур // Вестник УГАТУ. Радиотехника и связь. Уфа : УГАТУ, 2009. № 1 (34) : Т. 13. С. 206–213.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Былиной М. С., СПбГУТ.*

**УДК 671.7.068/528.526.6**

**Б. К. Резников** (студент, СПбГУТ)

## КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

*Статья посвящена рассмотрению конструкции и расчету длины оптического волокна, используемого в конструкции волоконно-оптического гироскопа, в основе работы которого лежит эффект Саньяка. Приведен пример расчета длины волокна в зависимости от требуемой точности распознавания угла поворота гироскопа.*

*гироскоп волоконно-оптический, волокно оптическое, эффект Саньяка, датчик угла поворота.*

## Введение

Привлекательность волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) на основе кольца из оптического волокна состоит в отсутствии в данной системе каких-либо подвижных деталей. В основе работы ВОГ лежит эффект Саньяка. Гироскоп выполняет функции детектора угловой скорости

в инерциальном пространстве, являясь при этом абсолютным тахометром внутри инерциальной навигационной системы.

В отличие от механических гироскопов, волоконно-оптические имеют структуры статического типа, которая обладает рядом достоинств: отсутствие подвижных деталей, устойчивость к ускорению, простота конструкции, быстрота запуска, высокая чувствительность, низкая потребляемая мощность, высокая надежность [2].

### Эффект Саньяка

Схема ВОГ представлена на рис. 1. Принцип действия ВОГ основан на эффекте Саньяка. Благодаря сплиттеру (делителю) свет распространяется по круговому пути в двух противоположных направлениях. Если данная система находится в состоянии покоя, то оба оптических пути имеют одинаковую длину. При интерференции этих двух волн нет фазового сдвига, интерференционный член имеет максимальное значение. В случае вращения системы с угловой скоростью  $\Omega$  между волнами возникает разность фаз, зависящая от этой угловой скорости. Это явление называется эффектом Саньяка [3].

Разность времени распространения излучения в двух направлениях может быть рассчитана по формуле:

$$\Delta t = t_{cw} - t_{ccw} = \frac{L + \frac{L}{2\pi}\Omega t_{cw}}{c} - \frac{L - \frac{L}{2\pi}\Omega t_{ccw}}{c} = \frac{\Omega L^2}{\pi c^2},$$

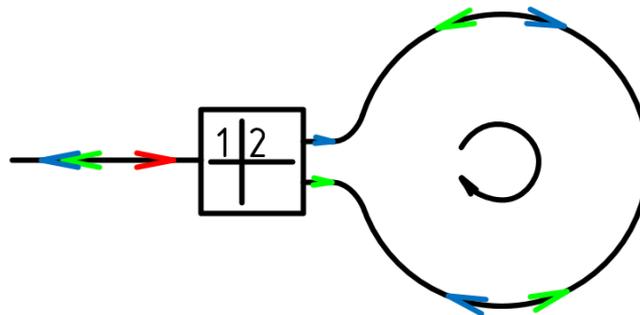


Рис. 1. Эффект Саньяка

где  $L$  – оптическая длина пути,  $c$  – скорость света,  $t_{cw}$  – время распространения излучения по часовой стрелке,  $t_{ccw}$  – время распространения против часовой стрелки [2].

При этом разность оптических длин путей составит

$$\Delta L = L_{cw} - L_{ccw} = \frac{\Omega L^2}{\pi c}.$$

## Конструкция

ВОГ представляет собой катушку оптического одномодового волокна радиуса  $R$ , закрепленную в корпусе. В корпусе ВОГ также размещаются источник излучения, светоделители и фотоприемное устройство (рис. 2). На корпусе устройства имеются контакты, к которым подводится электрическое питание, подаваемое на источник излучения и фотоприемное устройство. Электрический сигнал с фотоприемника отправляется на схему обработки, которая может располагаться вне корпуса ВОГ. Обрабатываемым параметром является интенсивность излучения волны, полученной в результате интерференции волн, прошедших пути по часовой стрелке и против часовой.

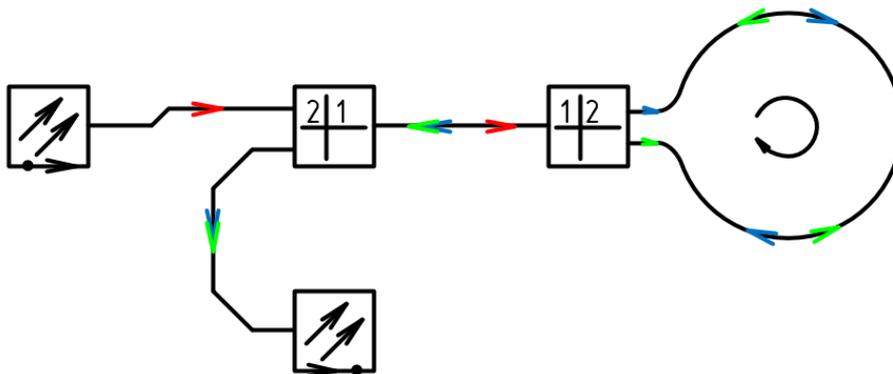


Рис. 2. Схема ВОГ

## Пример расчета ВОГ

В качестве исходных параметров выберем следующие параметры проектируемого ВОГ:

$\Delta\varphi = \pi/2$  – разность фаз интерферирующих волн,

$\Omega = 10^{-1}$  рад/с – угловая скорость, которую необходимо распознать,

$R = 10$  см =  $10^{-1}$  м – радиус катушки,

$\lambda = 1\,550$  нм =  $1,55 \cdot 10^{-6}$  м – длина волны излучения,

$v = 2 \cdot 10^8$  м/с – скорость света в оптическом волокне.

Интенсивность излучения, наблюдаемая на фотоприемном устройстве, зависит от разности фаз интерферирующих волн [1]:

$$I \propto (1 + \cos(\Delta\varphi)).$$

Разность фаз, возникающая при интерференции, равна

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi\Omega LR}{\lambda v}.$$

В соответствии с этим, длина оптического волокна находится по формуле

$$l = \frac{\lambda v \cdot \Delta\varphi}{4\pi\Omega R}.$$

Для рассматриваемого примера, длина волокна составит 3 875 м.

### Заключение

В работе была представлена методика расчета длины оптического волокна, которое будет намотано на заданную катушку в зависимости от требуемой точности и параметров волокна и источника излучения.

### Список использованных источников

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 713 с.
2. Окоси Т. Р. Волоконно-оптические датчики / Т. Окоси, К. Окамото, М. Оцу, Х. Никисара, К. Кюма, К. Хататэ; под ред. Т. Окоси: пер. с япон. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. 256 с.
3. Удд. Э. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников; под ред Э. Удда: пер. с англ. И. Ю. Шкадиной. М.: Техносфера, 2008. 520 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
старшим преподавателем СПбГУТ Сергеевым А. Н.*

**УДК 004.62:[621.391.63/621.371.3]+004.31**

**Б. К. Резников** (студент, СПбГУТ)

### **УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ ПО АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ ПЛИС CYCLONE V**

*Статья посвящена рассмотрению способа управления передачей данных по атмосферному оптическому каналу связи при помощи программируемой логической интегральной схемы. Рассматривается способ синхронизации приемного и передающего устройств многоканальной атмосферно-оптической системы передачи информации. Программирование устройств производится на языке Verilog.*

*линия связи атмосферно-оптическая, программируемая логическая интегральная схема, передача данных по линии связи, синхронизация.*

## Введение

Атмосферно-оптическая система передачи информации (АОСПИ) представляет собой систему связи, трактом передачи [1] в которой выступает атмосферное пространство, а передача осуществляется на длинах волн оптического диапазона. В данной работе исследуются цифровые части передатчика и приемника такой системы связи, а также способ синхронизации их между собой. Схема АОСПИ представлена на рис. 1.

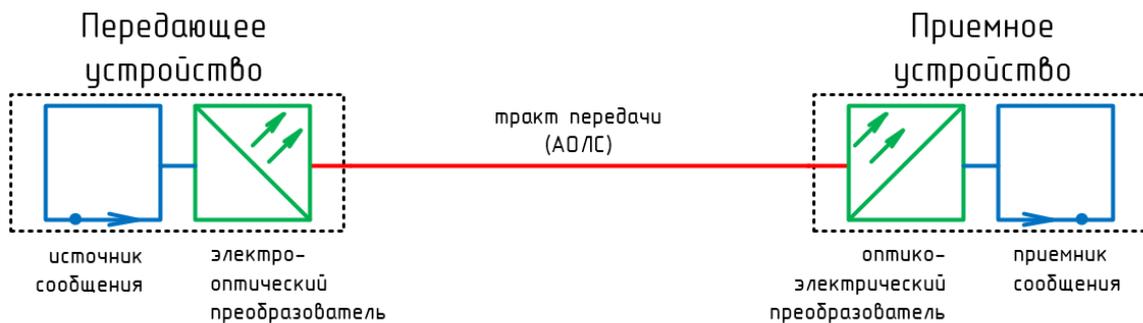


Рис. 1. Схема АОСПИ

## Опознаватель синхросигнала

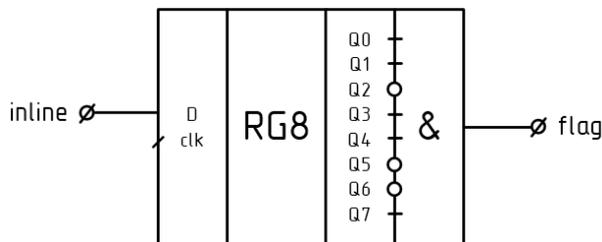


Рис. 2. Опознаватель синхросигнала

При проектировании многоканальной системы передачи (МСП) [3] было обусловлено, что в нулевом канальном TS0 интервале будет передаваться постоянный сигнал синхронизации, представляющий собой последовательность «10011011». Проектируя устройство синхронизации встает необходимость построить модуль, выходным контактом которого будет являться так называемый флаг синхронизации. Данный модуль (рис. 2) – опознаватель синхросигнала – представляет собой сдвиговый регистр [2] с последовательно подключенным элементом 8И. Таким образом, при приходе с линии данной последовательности, на выходном контакте flag опознавателя появится сигнал.

Устройство синхронизации. В качестве устройства синхронизации используется синхронный цифровой конечный автомат (рис. 3), имеющий четыре состояния:

ASYNC – состояние отсутствия синхронизма. При получении синхросигнала автомат перейдет в состояние Search SYNC;

Search SYNC – состояние поиска синхросигнала. При получении трех подряд верных синхросигналов автомат перейдет в состояние SYNC;

SYNC – состояние синхронизма. Если синхросигнал будет отсутствовать, то автомат перейдет в состояние Search ASYNC;

Search ASYNC – состояние поиска сбоя синхронизма. В случае, если трижды окажется, что синхросигнал отсутствует, автомат перейдет в состояние ASYNC.

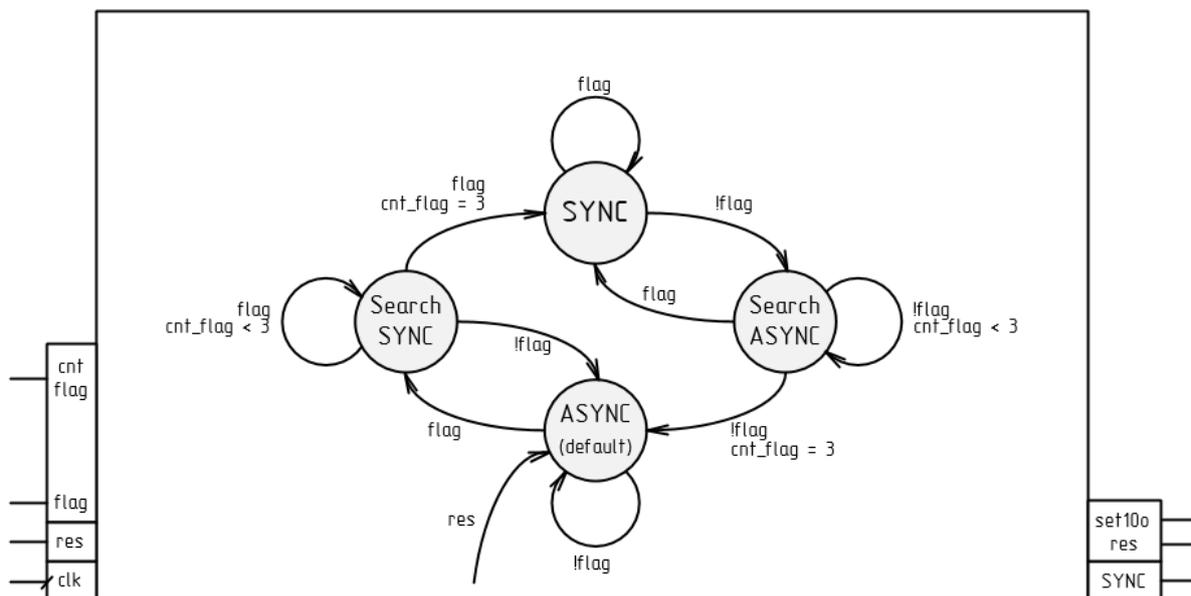


Рис. 3. Оpoznатель синхросигнала

В процессе передачи может возникнуть ситуация, когда в полезной информации встретится последовательность, равная синхросигналу. В этом случае система не распознает ее как синхросигнал, поскольку ей производится проверка на три подряд идущих синхросигнала. Вероятность такой ситуации мала. Аналогично для однократного сбоя: если в процессе передачи исказится один из битов последовательности синхросигнала, система не выйдет из состояния синхронизма.

Выходными сигналами проектируемого устройства являются сигналы сброса счетчика, который выступает в качестве генераторного оборудования в схеме приемного устройства. Как только устройство синхронизации распознает три подряд идущих верных синхросигнала, оно сбросит счетчик и система войдет в состояния синхронизма. Структурная схема спроектированной системы представлена на рис. 4. Оpoznатель синхросигнала и конечный автомат объединены в устройство синхронизации SYNC.

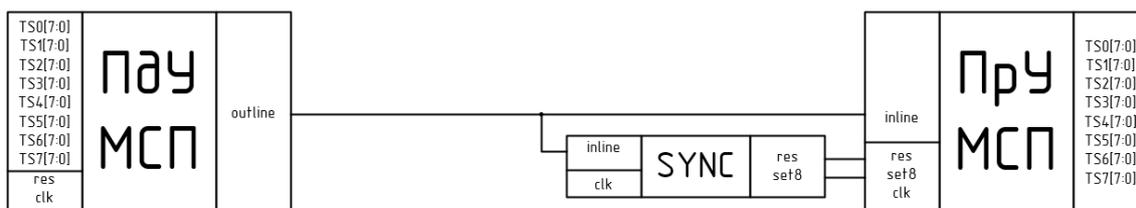


Рис. 4. Проектируемая система связи

## Программирование устройства на ПЛИС

Моделируемое устройство было разработано в среде программирования Quartus II 15.0. Данная среда позволяет запрограммировать устройство в ПЛИС с помощью соответствующего функционала. В качестве программируемого устройства была использована отладочная плата DE1-SoC с ПЛИС Cyclone V компании Altera (Intel FPGA).

## Выводы

Модель устройства представляется возможным использовать в качестве одного из элементов модели МСП на ПЛИС при разработке задания на курсовое проектирование в курсе изучения дисциплины «Вычислительная и микропроцессорная техника» для студентов, обучающихся по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» профилей «Многоканальные телекоммуникационные системы», «Оптические системы и сети связи», «Сети связи и системы коммутации», а также в рамках дисциплины «Использование вычислительной и микропроцессорной техники в оптико-электронном приборостроении» направления «Фотоника и оптоинформатика». Спроектированы цифровые части 7-канальной атмосферно-оптической системы передачи информации.

## Список использованных источников

1. Матюхин А. Ю., Курицын С. А. Многоканальные системы передачи: учеб. пособие. СПб.: СПбГУТ, 2013. 400 с.
2. Неёлова О. Л. Базовые цифровые устройства телекоммуникационных систем: учебное пособие. СПб.: СПбГУТ, 2006. 40 с.
3. Резников Б. К. Модель передающего устройства многоканальной системы передачи на ПЛИС Cyclone V // 71-я региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Студенческая весна – 2017»: сб. науч. ст. в 2-х т. / Под ред. К. В. Дукельского. Т. 1. СПб.: СПбГУТ, 2017. С. 192–196.

*Статья представлена научным руководителем,  
старшим преподавателем Неёловой О. Л., СПбГУТ.*

УДК 681.7.068

И. М. Сандаков, С. К. Ли (студенты, СПбГУТ)

## ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-МОДОВОЙ ДИСПЕРСИИ В ОДНОМODOVЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ И МЕТОДЫ ЕЕ КОМПЕНСАЦИИ

*В статье рассматриваются причины возникновения поляризационной модовой дисперсии (ПМД). С увеличением скорости передачи в современных волоконно-оптических системах связи (ВОСС) до 40–100 Гбит/с основной причиной, ограничивающей скорость и дальность связи, является ПМД. В статье проведен сравнительный анализ различных методов измерения ПМД в ВОСС, а также методов компенсации поляризационно-модовой дисперсии. Приведены конструкции и параметры динамических поляризационных контроллеров (Dynamic polarization controller – DPC). Рассмотрены возможности их использования для автоматической компенсации ПМД.*

*поляризационно-модовая дисперсия (ПМД), одномодовое оптическое волокно, двулучепреломление, компенсация PMD, динамический поляризационный контроллер.*

Стремительное увеличение скорости передачи в волоконно-оптических системах связи (ВОСС) до 40–100 Гбит/с в последнее десятилетие привело к тому, что поляризационные эффекты в ВОЛС, еще недавно считавшиеся незначительными, стали играть роль основного фактора, сдерживающего дальнейшее увеличение скорости и дальности передачи информации [1].

Для поддержания работоспособности ВОСС со скоростями, превышающими 2,5 Гбит/с (OC-48, STM-16), в одномодовом оптическом волокне (ОВ) следует регулярно измерять поляризационно-модовую дисперсию (ПМД). Это касается не только старых трасс, но и новых, потому что даже недавно проложенное ОВ может иметь высокое значение ПМД из-за воздействия внешних условий. Следует четко осознавать, что ПМД вызвана двойным лучепреломлением, источниками которого являются как неоднородности самого ОВ, так и внешние воздействия на него.

Причины возникновения двулучепреломления можно разделить на статические и динамические [2]. На рис. 1 показаны статистические источники двулучепреломления. Они разделяются на два класса – внутренние и внешние. Внутренние источники возникают в основном при изготовлении ОВ в процессе его вытяжки из заготовки и наложения защитно-упрочняющего покрытия. Внешние источники возникают в процессе укладки ОВ в модули оптического кабеля (ОК) и при строительномонтажных работах.

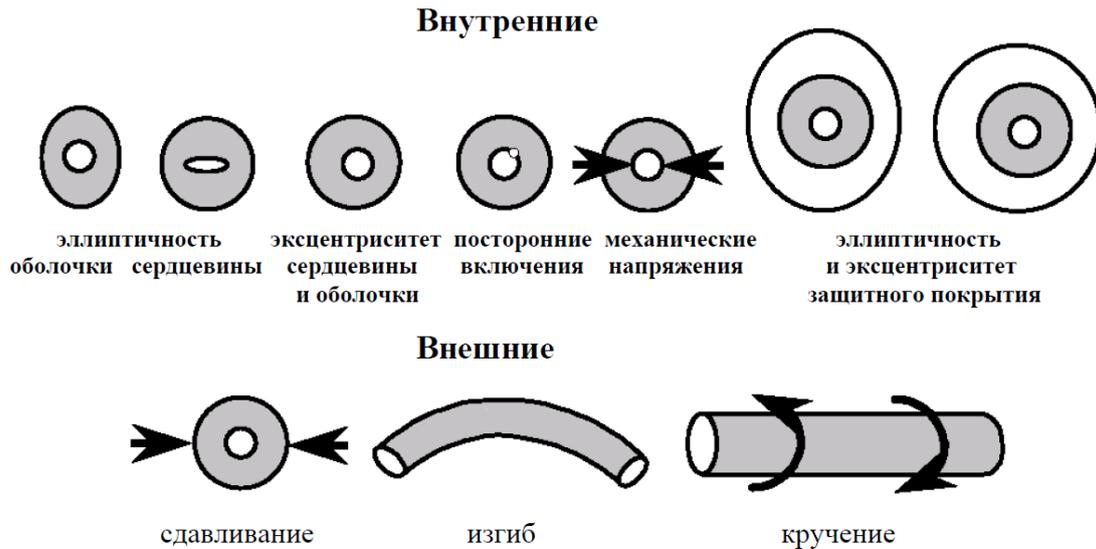


Рис. 1. Статические источники двулучепреломления в оптическом волокне

В отличие от статических источников двулучепреломления, динамические представляют собой изменения во времени температуры окружающей среды, вибрации от проходящего вдоль трассы ОК, механические воздействия морских волн на подводные кабели.

Это означает, что ПМД изменяется не только с расстоянием, но и со временем из-за изменения состояния окружающей среды. Именно поэтому следует регулярно измерять значение ПМД действующей ВОСС в процессе ее эксплуатации.

Как уже было сказано ранее, ПМД влияет на качество связи. В процессе распространения по ОВ импульс постепенно расширяется из-за ПМД и на каком-то расстоянии от начала ОВ его уширение начинает превышать допустимое. Это расстояние и есть длина регенерационного участка, ограниченная ПМД  $L_{rs\_pmd}$ .

На допустимое уширение импульса, вызываемое ПМД, накладываются более жесткие условия по сравнению с другими видами дисперсии. Это уширение не должно превышать 0.1 тактового интервала [3].

Также ПМД ограничивает максимальную скорость передачи и максимальное расстояние, на которое можно передавать сигнал без его регенерации. Максимальная скорость  $C_{max}$  (бит/с) связана с коэффициентом  $D_{PMD}$  соотношением:

$$C_{max} = \frac{\varepsilon}{D_{PMD} \cdot \sqrt{L}} \quad (1)$$

где параметр  $\varepsilon$  (доля битового интервала) выбирается в зависимости от того, какой коэффициент ошибок BER является приемлемым (при  $BER = 10^{-12}$   $\varepsilon$  принимается равным 0.1). В табл. приведены значения мак-

симальной протяженности оптической линии связи при разных скоростях цифровой передачи в зависимости от величины ПМД, определенные по выражению:

$$L_{\max} = \left( \frac{\varepsilon}{D_{PMD} \cdot C} \right)^2. \quad (4)$$

ТАБЛИЦА. Значения максимальной протяженности оптической линии связи

Скорость передачи, Гбит/с	Максимально допустимая длина участка регенерации, км			
	при коэффициенте ПМД, пс/км <sup>0.5</sup>			
	1.0	0.5	0.25	0.125
2.5	25	400	6 400	102 400
10.0	6.25	100	1 600	25 600
40.0	1.563	25	400	6 400
160.0	0.391	6.25	100	1 630

Для обеспечения высокого качества связи в ВОСС в процессе эксплуатации необходимо периодически контролировать и измерять ПМД. В настоящее время в соответствии со стандартом ГОСТ Р МЭК 60793-1-48-2014 [4] существуют три метода измерения ПМД.

Метод А предполагает измерение зависимости изменения мощности на выходе ОВ от длины волны источника для одного или нескольких состояний поляризации с помощью неподвижного анализатора.

Измеренную зависимость анализируют одним из трех способов:

- подсчет количества точек экстремумов (максимумов и минимумов) используют для получения  $PMD_{AVG}$ ;
- преобразование Фурье (ФТ) измеренной функции используют для получения  $PMD_{AVG}$ ;
- косинусное преобразование Фурье используют для получения  $PMD_{RMS}$ .

Метод В предполагает использование поляриметра (эллипсометра) для определения:

- параметров Стокса (SPE),
- определение матрицы Джонса (JME),
- определение состояния поляризации на сфере Пуанкаре.

Метод С. Использование интерферометра (INTY) для традиционного (TINTY) или общего (GINTY) анализа.

Итак, из-за действия ПМД между ортогональными волнами возникает небольшая временная задержка и состояние поляризации тоже меняется. Для компенсации ПМД [5] необходимо учесть эту временную задержку между двумя ортогонально поляризованными волнами и различие в их амплитудах.

Для компенсации ПМД используют динамические поляризационные контроллеры (*Dynamic polarization controller* – DPC). Они позволяют преобразовать одно состояние поляризации в другое. В состав DPC входят устройства для преобразования состояния поляризации, устройства задержки составляющих сигнала и устройства контроля текущего состояния поляризации выходящего из DPC. Функцию преобразования состояния поляризации и задержки составляющих сигнала выполняет фазовые пластинки, потому что при прохождении плоскополяризованного света через некоторые анизотропные кристаллы, плоскость поляризации поворачивается.

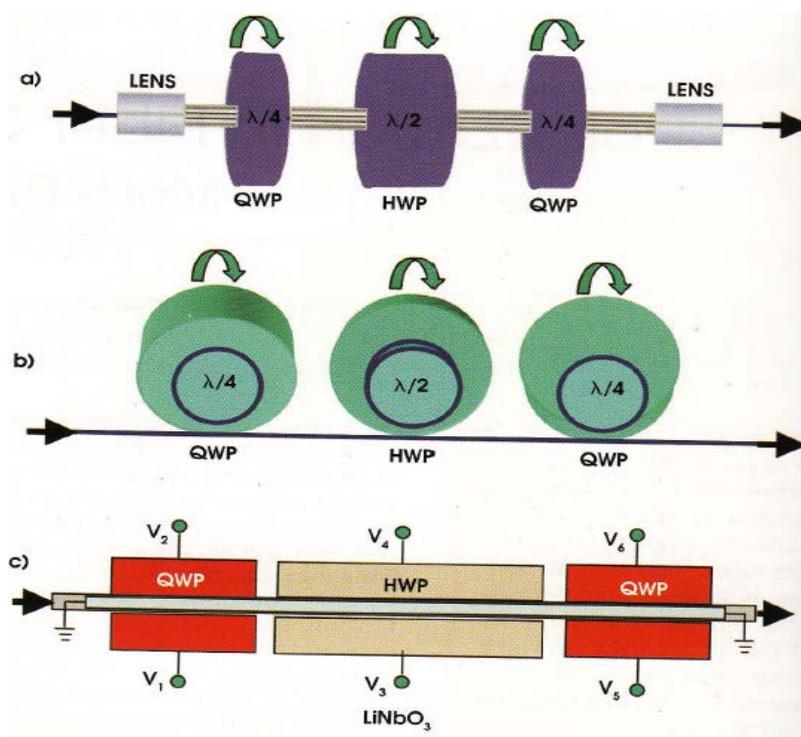


Рис. 2. Три типа DPC: а) фазовый; б) волоконный; в) электронный

Находят применение три типа DPC, которые показаны на рис. 2. Схема самого простого из них показан на рис. 2а.

Принцип действия фазового контролера состоит в том, что первая четвертьволновая пластинка создаёт между ортогонально поляризованных мод разность фаз равной четверть длины волны и преобразует произвольную входную поляризацию в линейную. Полуволновая пластинка создаёт разность фаз равной половине длине волны и поворачивает линейную поляризацию на некоторый угол, который необходим второй четвертьволновой пластинке для получения требуемого состояния поляризации на выходе DPC.

На рис. 2б показан волоконный DPC. Волоконные кольца, которые входят в его состав имеют фиксированные задержки, а их повороты приводят к механическим напряжениям и изменениям двулучепреломления. Изменяя диаметры колец и число витков, можно управлять задержкой.

На рис. 2с приведен DPC имеющий самое высокое быстродействие. Здесь двулучепреломление и фазовые сдвиги между ортогонально поляризованными лучами формируется под действием электрического напряжения.

Учитывая особую важность для высокоскоростных ВОСС значения ПМД, его необходимо контролировать, как в процессе изготовления ОВ и ОК, так и в процессе строительства при входном контроле строительных длин. Входной контроль строительных длин позволит избежать резкого увеличения ПМД полностью смонтированной линии из-за отдельного кабельного участка. После прокладки кабеля многие параметры, в том числе и ПМД, могут по ряду причин испытывать отклонения от паспортных данных. Это требует проведения измерения ПМД после проведения строительно-монтажных работ и после выполнения ремонтных работ. В процессе эксплуатации также следует проводить профилактические измерения ПМД в линейных трактах ВОСС.

#### Список использованных источников

1. Гладышевский М. А., Щербаткин Д. Д. Поляризационная модовая дисперсия в оптическом волокне // *Lightwave*. 2005. № 1. С. 48–51.
2. Френсис Оде ПМД, ее источники и измерение в полевых условиях // *Lightwave*. 2004. № 2. С. 38–40.
3. Песков С. Н., Барг А. И., Колпаков И. А. Нелинейные искажения в волоконно-оптических кабелях. Часть 1: Эффекты, связанные с рассеянием света // *Теле-Спутник*. 2005. № 10. С. 76–80.
4. ГОСТ Р МЭК 60793-1-48-2014. Волокна оптические. Часть 1–48. Методы измерений и проведения испытаний. Поляризационная модовая дисперсия. IEC 60793-1-48: 2007.
5. Листвин А. В., Листвин В. Н., Швырков Д. В. Оптические волокна для линий связи. М.: ЛЕСАРарт, 2003. 288 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Глаголевым С. Ф., СПбГУТ.*

УДК 004.056.57

М. С. Сурмина (студентка, СПбГУТ)

А. В. Красов (кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ВРЕДНОСНОЙ АКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ БОТНЕТ-СЕТЕЙ

*В данной статье изучена история возникновения, цели и архитектура построения ботнет-сетей. Изучены методы заражения конечных устройств, способы защиты от заражения, механизмы разрушения ботнет-сетей.*

*ботнет-сеть, сетевая стеганография, скрытые каналы, DDoS.*

На сегодняшний день ботнет-сети широко распространены по всему миру. Сегодня они поставляются, как услуга. Ботнет-сеть нужна для DDoS-атаки, которая заказывается через полноценный веб-сервис. На таких сервисах можно встретить тарифы, которые могут включать сложные правительственные цели, различные источники атак (видеокамеры, сервера и т. п.), различные сценарии атаки [1] (табл.).

В данной статье речь заходит об IRC – протокол прикладного уровня для обмена сообщениями в режиме реального времени. Разработан в основном для группового общения, также позволяет общаться через личные сообщения и обмениваться данными, в том числе файлами. Для управления каналами IRC были созданы специальные боты, т. к. администрирование каналов могло занимать много время.

ТАБЛИЦА. Топ-10 худших стран с ботнетами на 31 декабря 2017 года

№	Страна	Кол-во ботов
1	Индия	1 976 502
2	Китай	1 701 210
3	Иран	814 991
4	Вьетнам	719 956
5	РФ	532 106
6	Таиланд	521 084
7	Турция	516 305
8	Бразилия	466 111
9	Индонезия	369 709
10	Мексика	340 976

Со временем боты стали использоваться с целью нанесения вреда. Использование ботов помогало скрыть инициатора атаки, т. к. ущерб был

нанесен ботом, а не напрямую атакующим. С течением времени стали одновременно использовать группу ботов с различных устройств, объединяемых в ботнет. Для атаки крупных целей требовались большие сети ботов. Поэтому злоумышленники начали использовать троянские программы и другие скрытые методы, чтобы увеличить число зараженных компьютеров в сети.

Современные боты представляют собой различные гибриды угроз, интегрированных в систему управления и контроля. Они могут распространяться как черви, скрываться от операционной системы как большинство вирусов, а также включают в себя различные методы атак. Другая серьезная проблема заключается в том, что в создании современных ботов принимают участие сразу несколько человек. Таким образом, появляется несколько различных вариантов одного и того же бота, что затрудняет их распознавание антивирусными программами.

Итак, ботнет-сеть, которая состоит из некоторого количества конечных устройств, на которых установлен и запущен бот – автономное программное обеспечение. Используется чаще всего для отправки спама, брутфорсинга, DDoS-атак. Боты не являются вирусами, но они могут состоять из них вместе с программами для удаленного доступа и инструментами для скрытия от ОС. В качестве архитектуры используются 2 модели: клиент-серверная (рис. 1) и децентрализованная (рис. 2). Первые ботнеты использовали клиент-серверную модель потому, что с ее помощью легче управлять хостами в сети.

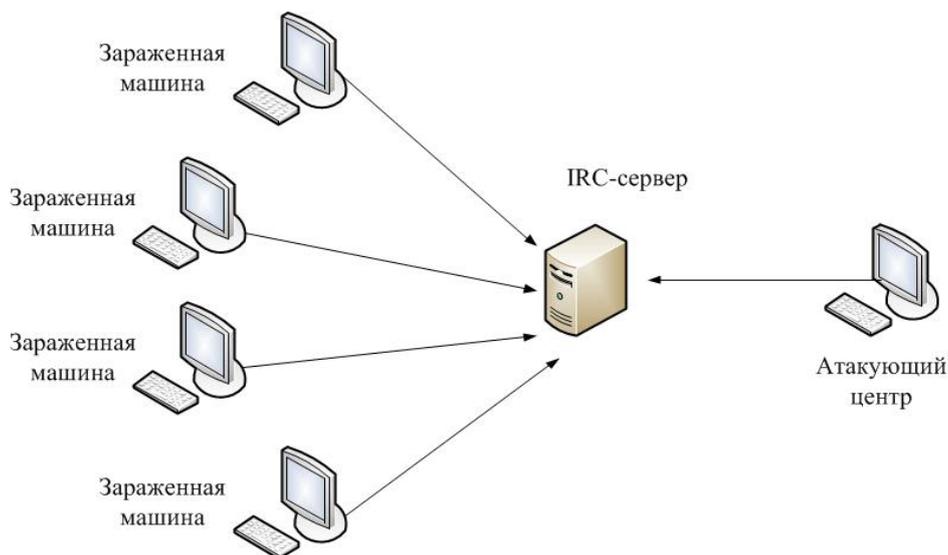


Рис. 1. Клиент-серверная модель ботнет

В централизованной сети боты подключаются к одному или нескольким серверам, а затем ждут управляющих команд от сервера. Управляющий компьютер посылает команды на серверы, а те в свою очередь отправ-

ляют их клиентам. Клиенты выполняют команды и посылают на сервер сообщение о результатах.

Такая модель имеет один существенный недостаток. В случае отказа сервера управляющий компьютер теряет связь со своими ботами и не сможет ими управлять.



Рис. 2. Децентрализованная модель ботнет

Сегодня число одноранговых бот-сетей растёт всё больше. К примеру, в ботнет-сети "Peer-to-Peer" нет централизованного сервера, а боты подключены друг к другу и действуют одновременно как сервер и как клиент. Задачей бота является: найти другой заражённый компьютер. Логика поиска заражённого компьютера такова: бот проверяет случайные IP-адреса до тех пор, пока не свяжется с другим заражённым устройством. Найденный новый бот так же отправляет информацию о своей версии программного обеспечения и список известных ему ботов. Если одна из версий ПО ниже, чем другая, то последует передача файла для обновления на более новую версию ПО. Так и получается, что каждый бот пополняет свой список заражённых машин и обновляет ПО до более свежей версии.

Одноранговые бот-сети устойчивы к динамическому оттоку узлов своей сети, то есть боты могут быстро присоединяться к сети и выходить из неё. К тому же, связь между узлами не будет нарушена в случае потери или выхода из строя нескольких ботов. В противовес централизованным сетям, ботнеты "Peer-to-Peer" представляются более надёжными и сложными для полного обнаружения. Получение управление происходит посредством установки бота. Эта установка невидимая для пользователя, обычно происходит, используя:

1. Вирусы;
2. Эксплоит-киты;
3. Фишинг;
4. Непосредственный доступ к компьютеру (редко);
5. Брутфорсинг пароля к администраторскому серверу (в ЛВС).

Наиболее частым и опасным за последнее время сталexploit-кит Angler. Angler помогает распространять такое ПО, как Cryptowall,

AlphaCrypt, Necurs, и Bedep [2]. Потенциальная жертва перенаправляется на фишинговый сайт. В это время Angler в фоновом режиме начинает обфускацию вредоносных скриптов. Также на этом сайте есть несколько зашифрованных строк, содержащих URL разных эксплойтов (*Flash, Silverlight, Internet Explorer*), включенных в атаку.

Второй слой обфускации используют и другие эксплойт-киты, чтобы затруднить детектирование. Кроме того, что Angler имеет способность распознавать антивирусное ПО, он умеет также определять, когда исследователь пытается выполнить его код в песочнице или на виртуальных машинах, а также через прокси-отладчик Fiddler, популярный среди аудиторов информационной безопасности [3]. Все эти механизмы самозащиты сильно затрудняют анализ Angler исследователями.

Обнаружить ботнет можно, используя:

- мониторинг трафика (активный IRC-трафик, высокий исходящий SMTP);
- детектирование скрытых каналов (SSH-туннели, HTTP-туннели и др.);
- проверку соединений с серверами, замеченными, как узел ботнета;
- отслеживание одинаковых DNS-запросов;
- мониторинг нагрузки процессора.

Для обхода систем обнаружения вторжений полезная нагрузка Angler шифруется для передачи по сети жертвы и расшифровывается шелл-кодом на последней стадии передачи. Такая полезная нагрузка, как Bedep, сама по себе опасности не представляет, но используется для загрузки других вредоносных программ.

#### Список использованных источников

1. The World's Worst Botnet Countries. URL: <https://www.spamhaus.org/statistics/botnet-cc/>
2. Анализ Angler – самого продвинутого эксплойт-пака. URL: <https://threatpost.ru/analiz-angler-samogo-prodvinutogo-eksplajt-paka/6096/>
3. Штеренберг С. И., Раськевич А. А., Чекалов А. А. Метод дизассемблирования вирусов, использующих руткит-технологии, для анализа статистики его внедрения в технологию адаптивной защиты // Перспективы науки. 2015. № 6 (69). С. 114–119.
4. Душин С. Е., Красов А. В., Литвинов Ю. В. Моделирование систем и комплексов. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. 178 с.
5. Красов А.В., Ушаков И.А. Подготовка специалистов в области информационной безопасности в Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича // Инновации. 2013. № 7 (177). С. 92–97.

УДК 004.05

Я. А. Федосов (студент, СПбГУТ)

## СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МУЗЫКАЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ

*Современные средства обучения уже давно не могут обойтись без инфокоммуникационных технологий. И музыкальное образование не осталось в стороне. Спектр возможностей, которые дают новые системы широк: тренировка слуха, создание новых композиций, повторение пройденного материала. Однако данная область еще только встает на путь применения инноваций. В статье будут проанализированы уже существующие системы и варианты их дальнейшего развития.*

*современные инфокоммуникационные технологии, приложение, музыкальное образование, музыкальное приложение.*

Сфера интереса человека не может обойтись без музыкальных пристрастий. Классические музыкальные школы предполагают обучение с раннего возраста. Тогда как увлечение музыкой взрослого человека сводится к небольшим курсам дублирующие образование. В результате чего человек быстрее теряет интерес, не достигая цели. С другой стороны, современные инфокоммуникационные технологии, на данный момент, уже способны интегрироваться в любые сферы человеческой деятельности. Желаящие, у которых нет достаточного образования и времени, чтобы профессионально заниматься музыкальным творчеством, но есть желание играть, экспериментировать со звуками, сочинять, отдавать свое свободное время музицированию, могут воспользоваться музыкальными приложениями. Ряд современных обучающих программ музыки, рассчитан на то, что их пользователи не владеют профессиональным музыкальным образованием [1]. Данные технологии открывают новые возможности для творческого эксперимента, расширения музыкального кругозора, художественного тезауруса обучаемых, и это делает обучение владению ими особенно актуальным.

Из современных инфокоммуникационных технологий выходит такое понятие как музыкально-компьютерные технологии (МКТ).

К сожалению, на данный момент существует большой разрыв между современными МКТ и структурой классического обучения, так как используются в основном старые методы и образовательная программа. Что бы решить эту проблему необходимо осуществить поиск педагогических технологий, которые позволят изменить учебный процесс, сделать его высокотехнологичным, соответствующим современным условиям. Уже сегодня необходимо совершенствоваться в обучении, создавать комплексы

программ, в которых компьютерные технологии будут выполнять свои вспомогательные и организующие функции.

Использование современных МКТ в музыкальном образовании на данный момент проблематично. Данный процесс характеризуется множеством противоречий, основными из которых являются:

- разрыв между концептуальными инновациями в сферах общей педагогики, ориентированной на широкое использование новых информационных образовательных технологий, и традиционной музыкальной педагогией;

- разрыв между возможностями МКТ и их реальной востребованностью в системе музыкального образования;

- традиционная ориентация на узкопрофессиональное назначение преподавателя музыки и демократизация учебно-воспитательного процесса в целом, интеграция различных областей знаний.

- наблюдающиеся тенденции развития музыкально-компьютерных технологий в общем и профессиональном музыкальном образовании, возможности их применения, широкая востребованность, разнообразные сферы приложения позволяют говорить о появлении нового образовательного феномена – образовательная творческая среда. Основными ее компонентами являются:

- музыкальная электронно-вычислительная машина как основной элемент аппаратно-инструментальной базы новой образовательной творческой среды и программное обеспечение музыкально-компьютерного образовательного комплекса;

- методическая система и ее методологическая основа, позволяющие адекватно использовать МКТ на всех этапах и во всех направлениях музыкально-образовательного процесса, психолого-педагогические аспекты их применения (особо подчеркнем, что МКТ – динамично развивающаяся образовательная среда, требующая постоянной разработки новых учебных программ и курсов, адаптированных к современным социальным запросам и соответствующих уровню развития данных технологий);

- социально-культурный фактор интеллектуального и эмоционального развития личности [1].

Благодаря современным инфокоммуникационным и музыкально-компьютерным технологиям развиваются приложения, ориентированные на пользователей, которые профессионально не связаны с музыкальным образованием. Среди них немало людей с техническими профессиями: инженеров, специалистов в области информатики, акустики, звукозаписи, компьютерных технологий.

С целью выявления основных моментов, связанных с удобством пользовательского интерфейса и качественного контента, необходимо провести анализ мобильных музыкальных приложений.

Перед началом анализа, следует определить какую именно помощь оказывает, то или иное приложение и как его сможет использовать юзер, будь он начинающим гитаристом или же гитаристом со стажем.

Наибольшее внимание уделено дизайну, взаимодействию приложения с пользователем и функциональности. Важность каждого пункта расписаны чуть ниже.

Правильный и интуитивно понятный интерфейс – важный критерий в оценивании приложения. Зачастую новичкам сложно ориентироваться в приложении, так как им не понятен интерфейс и расстановка нужных им объектов и как до них добраться. Вся необходимая информация должна сразу бросаться в глаза, иначе у пользователя отпадает дальнейшее желание взаимодействовать с приложением. Главная задача интерфейса приложения – это показать всё необходимое, а потом уже дополнительные материалы. Люди, скачавшие данные приложения желают обучиться игре на гитаре самостоятельно, для этого нужно создать интуитивно понятный интерфейс абсолютно всем гитаристам, как начинающим, так и профессиональным.

Функциональность – это тот критерий, который подразумевает, что обеспечивается исключительно высокая функциональность при работе с приложением и в нем предусмотрены необходимые уровни прав доступа.

Современные приложения имеют интуитивно понятный интерфейс пользователю. Большинство из них поддерживают как альбомную, так и книжную ориентацию экрана. В обеих ориентациях экрана поддерживаются равные функциональные возможности и действия. Допустимы незначительные изменения в содержимом и режимах представления. Присутствуют уроки как для начинающих музыкантов, так и для дополнения или повторения, уже знающим. Имеются наборы различных полезных инструментов, а именно: полифонический тюнер, обыкновенный тюнер, метроном. У аккордов есть звуковое сопровождение, для того, чтобы пользователь мог слышать, как должны звучать определённые звуки, когда пользователь производит снятие звуков со струн, которые находятся над розеткой гитары.

Существуют приложения, где все взаимодействия грифа гитары и руки человека показаны в 3D. С помощью этого приложения пользователь может рассмотреть позиции руки и пальцев со всех ракурсов, как должен выглядеть аккорд, который ему необходимо взять (зажать пальцами) и сыграть. По приложению можно смотреть, в какой позиции должна находиться левая или правая (зависит все от того, левша или правша пользователь) рука, для зажимания пальцами нужные аккорды на грифе гитары. Имеются кнопки смены позиции пальцев, то есть рассмотрение другого аккорда, при нажатии на них пользователь может заметить, как переставились пальцы на грифе гитары – поменяли позицию. Анимация сделана очень качественно и достаточно медленно, чтобы, использующий прило-

жение, увидел движение смены позиции. В приложении оказано сами аккорды в виде табулатуры и в нотной грамоте, в размерности целой ноты. В приложении можно менять строй гитары, а также создавать свои произведения используя приведенный набор аккордов. Можно менять скорость воспроизведения аккордов, для того, чтобы пользователь мог услышать звучание конкретной ноты, для лучшего понимания.

Подводя итоги, стало известно, что у всех перечисленных мобильных приложений есть как положительные стороны, так и отрицательные. Опираясь на полученные знания есть возможность продумать варианты дальнейшего развития.

Исходя из структуры популярных музыкальных мобильных приложений, а именно, их достоинств и недостатков, можно сформировать определённые критерии для приложения, предоставляющие возможность создать новое уникальное приложение, которое удовлетворит потребности современных пользователей.

Возможные пути развития у приложений:

- интуитивно понятный пользовательский интерфейс с собственным графическим дизайном и удобной панелью навигации;
- наличие необходимых базовых инструментов: метроном, тюнер;
- расширенная библиотека аккордов;
- базовые уроки с интерактивными рисунками и анимацией;
- корректные расстановки аккордов в произведениях (песнях);
- музыкальное сопровождение всех аккордов и регулирование скорости проигрывания;
- возможность открытия табулатуры на странице с произведениями, без перехода на сторонние ресурсы или страницы;
- тесты на знание звучания нот на гитаре и фортепьяно;
- проверка музыкального слуха;
- полифонический тюнер и восприятия приложением полифонии для дальнейшей проверки сыгранных аккордов/нот.

Все вышеперечисленное в той или иной степени реализуется в каждом подобном приложении, что показывает применимость инфокоммуникационных технологий в данной области. В свою очередь, благодаря новым технологиям музыкальное образование выходит на новый виток развития. С помощью компьютеризированных инструментов, удастся приобщить широкие массы к продуктивному музыкальному творчеству. Благодаря этому цель музыкального воспитания, определяемая с психологических позиций как формирование музыкальности, и реализуется на значительно более высоком уровне: в юном поколении появится значительно больше подлинных любителей музыки; в музыкальных учреждениях учитель может использовать электронный цифровой инструментарий, с помощью которого возможно проводить уроки музыки; а те люди, у которых раньше,

в силу множества причин, не было возможности классического музыкального образования, получили возможность реализовать свою мечту.

#### Список использованных источников

1. Горбунова И. Б. Феномен музыкально-компьютерных технологий как новая образовательная творческая среда // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. 2004. N 9. С. 123–137. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fenomen-muzykalno-kompyuternyh-tehnologiy-kak-novaya-obrazovatel'naya-tvorcheskaya-sreda>.

*Статья представлена научным руководителем,  
старшим преподавателем Козловой О. А., СПбГУТ.*

#### УДК 681.5

**В. В. Фицов** (старший преподаватель, СПбГУТ)

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ DPI НА ОСНОВЕ КЛАССИФИКАЦИИ НОРРОСА

*В данной статье рассмотрена математическая модель, основанная на классификации Норроса. Описываемая модель применяется к сетевой конфигурации DPI. Представлены основные известные формулы данной модели.*

*DPI, математическая модель, классификация Норроса.*

#### Введение

Система глубокой инспекции пакетов (DPI, *Deep Packet Inspection*) рекомендована к использованию на сетях связи Роскомнадзором. Но даже без рекомендации DPI позволяет получить полноценный контроль потоками данных пользовательских приложений. Такой контроль позволяет соблюдать необходимые параметры качества обслуживания (QoS). Проблема внедрения систем DPI заключается в высокой стоимости их аппаратной части. Для расчета числа аппаратных ресурсов DPI можно применить имитационные или математические модели.

Сервера системы глубокой инспекции пакетов составляют сеть массового обслуживания (СеМО). К ним относятся аппаратный фильтр (*Hardware Filter*, HF) совместно с Bypass как одна СМО (система массового обслуживания) в рамках СеМО. А также Front-End (FE), PCRF (*Policy and Charging Rules Function*) и Back-End (BE). FE проводит глубокую инспекцию пакетов потока, с сигнатурным, статистическим и поведенческим ана-

лизом. В данной статье ограничимся построением математической модели для HF с Bypass (СМО1).

Основной сложностью построения математической модели СМО1 является входящий поток заявок. На систему DPI поступает агрегированный сетевой трафик, обладающий самоподобностью. На данный момент отсутствуют универсальные методы расчета для СМО с несколькими устройствами обрабатывающими такой трафик. В данной статье сделана попытка применить модель Норроса [1] для математического описания СМО1.

### Существующие математические модели пакетного трафика

Достаточно близкие к реальности результаты для IP-трафика (т. е. самоподобного потока заявок с длительным последствием (тяжелым хвостом)) можно получить, применяя законы распределения Парето или Вейбулла для описания входящего потока заявок. Однако наилучший результат получается при использовании фрактального брауновского движения для описания такого трафика [1]. Свойства входящего потока заявок определяются параметром Херста согласно табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Тип трафика в зависимости от значения параметра Херста

Значение параметра Херста, H	Описание трафика
$0 < H < 0,5$	зигзагообразное брауновское движение (невозобновляемый процесс, несамоподобный)
$H = 0,5$	хаотичное движение (марковский поток, SRD (shortrangedependence))
$0,5 < H < 1$	возобновляемые процесс (самоподобный процесс)

Классические математические модели из теории телетрафика предполагают наличие входящего потока заявок распределенного по пуассоновскому закону. Например, модель M/M/V/□, с пуассоновским поступлением заявок, экспоненциальным обслуживанием, несколькими приборами и бесконечной очередью. Такая модель не годится для описания СМО1 (HF с Bypass). А если учитывать современную возможность процессоров обрабатывать одновременно несколько заявок, или одну заявку несколькими устройствами, то более точным будет применение модели M/M/V/□ с бесконечной очередью и с равномерной взаимопомощью, описанной в трудах Вентцеля [2], но не целиком.

Существуют модели G/M/1 и G/G/1 – однако они позволяют рассчитать параметры системы только для одного устройства (СМО1). Такой подход не позволяет сбалансировать сетевую архитектуру DPI для равномерной загрузки всех ее серверов. Т. к. производительность дорогостоящего FE будет ограничена одним сервером HF. А суммирование результатов таких расчетов для нескольких HF не даст точного результата.

Альтернативой классическому подходу для расчета системы с входящим потоком IP-трафика является подход, основанный на модели Иикка Норроса (*Iikka Norros*) разработанный в 1990-х годах в Bellcore. Норрос использовал опыт Бенуа Мандельброта и Джона Уинслоу Ван Несса, которые в 1960-х годах для определения ценообразования на финансовых рынках применили фрактальное брауновское движение (*Fractal Brownian Motion*, FBM). Модель Норроса для IP-трафика дает результаты лучше, чем распределения Парето и Вейбулла [1]. А так же решает проблему невозможности расчета параметров СМО для нескольких устройств. Помимо фрактального брауновского движения (FBM), применяются модели с фрактальным движением Леви (FLM, *Fractal Levy Motion*) или мультифрактальное брауновское движение (MFBM).

### Модель Норросас описанием трафика фрактальным брауновским движением

В классической модели отношение интенсивности потока заявок к интенсивности обработки заявок в СМО определяется как  $A = \frac{\lambda}{\mu}$ , а в модели Норроса как  $A = \frac{m}{c}$ , где  $m$  – средняя величина поступающего трафика, а  $c$  – пропускная способность системы. Для устойчивости системы  $A < 1$ . Свободное место для обслуживания в системе  $1 - A = \frac{c-m}{c}$ .

FBM подразумевает под собой Гауссовский самоподобный процесс  $H$ -ssiBt(H), где  $E(B1(H)) = 1$ ,  $H$  – параметр Херста для самоподобного процесса ( $0 < H < 1$ ).

Для  $H = 1$ :

$$Bt(H) = t \times X1,$$

а для  $H = 0,5$ :

$$\gamma(s, t) = E(Bs(H), Bt(H)) = \begin{cases} \min(|s|, |t|), & s \times t \geq 0 \\ 0, & s \times t < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Для наглядности сравним описание процесса в уравнениях Колмогорова (2) и уравнениях FBM (3).

$$E(|Xt1 - Xt2|^\delta) \leq c \times |t1 - t2|^\nu, \quad t1, t2 \in R \quad (2)$$

$$E(|Bt2(H) - Bt1(H)|^\delta) = E(|X1|^\delta) \times |t2 - t1|^{H \times \delta} \quad (3)$$

Теорема Адлера (Adler) показывает:

$$|Bt2(H) - Bt1(H)| \leq A \times |t2 - t1|^{H-\delta}, \quad (4)$$

где  $\delta > 0$ ,  $A > 0$ ,  $0 < t_1, t_2 < 1$ ,  $|t_1 - t_2| < h$ ,  $h > 0$ , в [1] так же указана формула для получения  $Bt(H)$ .

Вероятность ожидания в очереди:

$$P(Xt > x) \sim e^{-k \times x^\beta}, \tag{5}$$

где  $\beta \leq 1$  и  $H > 0,5$  – подходит под распределение Вейбулла.

$$C \sim e^{-k \times x^{2-2 \times H}}. \tag{6}$$

При нескольких источниках получаем:

$$P(X(t)^i) = e^{-k \times \gamma}, \tag{7}$$

для  $H = 0,5$  (SRD, *Short Range Dependence*),

$$P(X(t)^i) \leq e^{-k^{2-2 \times H} \times \gamma}, \tag{8}$$

для  $H > 0,5$  (LRD, *Long Range Dependence*).

Трафик, полученный за время  $t$ :

$$At = m \times t + \sqrt{a \times m} \times Bt(H), \tag{9}$$

где  $t$  любое, и  $0,5 < H < 1$ .

Параметр « $a$ » – является характерным моментом для FBM распределения, и задает моменты, форму дополнительного распределения (хвоста), асимптотическое поведения [1]. Он представлен в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Значения характерного момента FBM

Значение $a$	Описание FBM.	Функция распределения
$a = 2$	Нормальное распределение (Гауссовское), м.о. = 0 (математическое ожидание), разброс значений = $2c$ .	$\Phi g(t) = e^{-c \times t^2}$
$a < 2$	Не симметричное распределение	-
$a = 1$	Распределение Коши (Cauchy distribution), $c$ – задает масштаб и второй момент $c = \frac{\sigma^2}{2}$ , $\beta$ – разброс значений случайных величин.	$\Phi g(t) = e^{-c \times t \times (1 + i \times \beta \times \frac{2}{\pi} \times \text{sign}(t) \times \log(t))}$

Чем меньше пропускная способность системы, тем больше возникает последствие (LRD (long range dependence)). Число заявок в системе:

$$Xt = \sup(At - As - C(t - s)), \quad (10)$$

при  $C > m$ , где  $At$  – поступающий трафик,  $As$  – трафик в очереди,  $C(t-s)$  – процесс обслуживания трафика,  $\sup$  (или максимум) при высоком  $t$ . Теорема Биркхоффа (Birkhoff):  $Xt$  – стационарный, т. к.  $At$  – стационарный.

Для LRD ( $H > 0,5$ ) число заявок в системе:

$$x = f^{-1}(P(Xt > x))^{\frac{H}{1-H}} \times (a)^{\frac{1}{2(1-H)}} \times (C)^{\frac{2 \times H - 1}{2(1-H)}} \times \frac{A^{\frac{1}{2(H-1)}}}{(1-A)^{\frac{H}{1-H}}}, \quad (11)$$

при  $H \rightarrow 1$ , будет равняться  $1-A$ .

$$C = m + f^{-1}(P(Xt > x)) \times a^{\frac{1}{2 \times H}} \times x^{\frac{1-H}{H}} \times m^{\frac{1}{2 \times H}}. \quad (12)$$

Из (11) видно, что число заявок в системе возрастает, при уменьшении скорости обслуживания, при увеличении загрузки системы  $A$ , при увеличении самоподобности ( $H$ ). Однако исследования, упомянутые в [1] показали, что бывают случаи при высоких значениях скорости обслуживания и низкой загрузке ( $A$ ), при которых очередь меньше, при более высоком уровне самоподобия ( $H$ ). Исходя из (11) получается, что сервера с низкой скоростью обслуживания более чувствительны к LRD трафику. Вероятность ожидания по теореме:

$$P(Xt > x) \geq \Phi^c\left(\frac{t^H \times (C-m)^H \times x^{1-H}}{\varphi(H) \times \sqrt{a \times m}}\right), \quad (13)$$

где  $\Phi^c$  – дополнительная стандартная функция распределения гаусса  $N(0,1)$  формула которой дана в [1], а

$$\varphi(H) = H^H \times (1 - H)^{1-H} \quad (14)$$

$$P(Xt > x) \sim \exp\left(-\frac{(C-m)^{2 \times H}}{2 \times \varphi(H)^2 \times a \times m} \times x^{2-2 \times H}\right) \quad (15)$$

### Применение математической модели Норроса к сетевой архитектуре DPI для расчета СМО1

Для определения вероятности ожидания  $P(Xt > x)$ , более чем  $x$  секунд, согласно (15) необходимо определить следующие исходные данные представленные в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. Значения исходных переменных

Имя	Переменная	Величина	Комментарий
C	Пропускная способность системы, потоков в секунду	11 000 10 100 10 010	Система работает в режиме перегрузки: $A=0,909; 0,99; 0,999$ .
m	Средняя величина поступающего трафика, потоков в секунду	10 000	-
H	Параметр Херста( $0 < H < 1$ )	0,8	Для самоподобного трафика $> 0,5$
$\varphi(H)$	Коэффициент	0,6063	$\varphi(H) = H^H \times (1 - H)^{1-H}$
a	Характерный момент FBM распределения	1	Соответствует распределению Коши ( <i>Cauchydistribution</i> )
x	Число заявок в системе, потоков	100	-
V	Число обслуживающих устройств	2	-

Формула (15) представляет собой экспоненциальную функцию, значения которой должны быть ограничены от 0 до 1, т. к. описывают вероятность ожидания заявки в СМО1. Тогда аргумент функции должен быть  $< 0$ . При аргументах от  $-4,4$  до  $-0,1$  вероятность составит от 1 до 90,5 %. При  $C = 11\ 000$ , вероятность ожидания при указанных в табл.3 исходных данных стремится к нулю. При  $C = 10\ 100$ , вероятность ожидания 25,7 %, а при  $C = 10\ 010$ , вероятность составит 96,6 %.

Если позволить себе подставить вероятность ожидания в классические формулы телетрафика, то получаем формулу расчета длины очереди *Loh*:

$$Loh = \left( \frac{A}{V-A} \right) \times P(Xt > x). \quad (17)$$

Для  $A = 0,909$  и  $P = 0$ , очередь почти отсутствует. Для  $A = 0,99$  и  $P = 0,257$ , в очереди окажется более 25 потоков. Для  $A = 0,999$  и  $P = 0,966$ , – более 96 потоков. Число заявок в системе *Lsys*:  $Lsys = Loh + x$ , при имеющихся параметрах на 100 потоков больше числа заявок в очереди. Адаптировав формулу Литтла к модели Норрса получаем:  $Tsys = \frac{Lsys}{m}$ . Тогда время обслуживания составит 126 мс при  $A = 0,99$ , и 197 мс при  $A = 0,999$ .

## Заключение

Согласно результатам имитационного моделирования в [3] агрегированный самоподобный трафик с тяжелым хвостом, после обработки СМО, становится экспоненциальным. Исходя из таких данных можно применить классическую модель  $M/M/V/\square$  для FE (СМО2), что значительно упрощает задачу. Т. к. нагрузка на сервера СМО3(PCRF) и СМО4 (*Back-End*) значи-

тельно меньше, на начальном этапе их расчетом можно пренебречь. Решив проблему построения математической модели СМО1, становится возможным разработать качественную математическую модель для основных серверов сетевой архитектуры DPI.

#### **Список использованных источников**

1. Christian Grimm, Georg Schluchtermann IP Traffic Theory and Performance // Springer, 2008. 497 p.
2. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Задачи и упражнения по теории вероятностей. М.: Академия, 2003. 443 с.
3. Зайцев В. С. Анализ свойств суммарного потока заявок на входе системы массового обслуживания // АПИНО-2018.

*Статья представлена доктором технических наук,  
профессором Гольдштейном Б. С., СПбГУТ.*

УДК 004.7:004.422.8

Д. О. Вахрушев (студент, СПбГУТ)

## АНАЛИЗ ОПЫТА ПРОДВИЖЕНИЯ INTERNET-РЕСУРСОВ

*Представлены основания для актуализации продвижения Internet-ресурсов. Определена концепция продвижения Internet-ресурсов. Выделен базис технологических средств для создания системы продвижения Internet-ресурсов. Описаны ключевые формализации технологических средств. Приведена типовая схема сочетания выбранных технологических средств. Анонсирован опыт продвижения Internet-ресурсов.*

*Internet-ресурсы, технологические средства, базис, сочетания, продвижение.*

Экономика знаний характеризуется интенсивным использованием Internet-ресурсов в профессиональной и социальной деятельности, обусловленным объективной необходимостью внедрения технологических достижений в сетевую инфраструктуру для обеспечения конкурентного превосходства и личностной состоятельности.

Internet-ресурсы позиционируются на научно-технологическом уровне, признаваемом решающим для реализации долгосрочного плана экономического роста в информационном обществе.

Internet-ресурсы становятся необходимыми артефактами в инновационных организационно-экономических формах управления объектами и процессами профессиональной и социальной деятельности, расширяющих доступ к внедрению эффективных технологий для повышения качества жизни [1, 2].

Непрерывное возрастание количества компаний, работающих в сети Internet, высокий уровень конкуренции во многих отраслях профессиональной деятельности, стремительное развитие Internet-технологий и расширение масштабов электронной коммерции обуславливают актуальность формирования смешанно-сетевой системы продвижения Internet-ресурсов для малого и среднего бизнеса. При этом объектом исследования становятся методы продвижения Internet-ресурсов, а предметом исследования выступает качество функционирования систем продвижения Internet-ресурсов.

В представленных условиях развития информационного общества среди известных артефактов выделяются Internet-ресурсы, требующие специальных технологических решений для их продвижения. В первую очередь, к ним относятся: сайты, страницы в социальных сетях, страницы на досках объявлений, страницы на сайтах лидерах мнения, страницы на видео-хостингах, порталы.

В основу предлагаемой технократической концепции продвижения Internet-ресурсов закладываются следующие принципы:

- организация и методы продвижения Internet-ресурсов должны обуславливаться появлением новых креативных направлений в отраслях;
- функционал Internet-ресурсов должен постоянно изменяться;
- изменение функционала Internet-ресурсов должно синхронизироваться с обновлением и совершенствованием гипертехнологий;
- функционал Internet-ресурсов должен быть готовым для вывода на рынок технологий, которых ранее не существовало;
- средства Internet-ресурсов должны поддерживать децентрализованное управление процессами профессиональной деятельности;
- при продвижении Internet-ресурсов должна учитываться их значимость в успешном доведении соответствующей профессиональной деятельности до практически важного результата;
- продвижение Internet-ресурсов должно способствовать развитию моделей, методов и средств управления знаниями.

В настоящее время к основным методам продвижения ресурсов относятся: метод SEO (*Search Engine Optimization*), метод SMM (*Social Media Marketing*), контекстная реклама, баннерная/медийная реклама, E-mail рассылка, таргетированная реклама.

Для реализации представленной концепции потребуются разработки новых формализаций. В целях сквозного связывания предусматривается разработка следующих групп формализаций:

- формализации описаний внешней среды для организационно-экономических форм субъектов профессиональной деятельности;
- формализации процессов построения концептуальных и функциональных моделей продвижения;
- формализации процессов перехода между концептуальными и функциональными моделями продвижения;
- формализации процессов анализа концептуальных моделей продвижения Internet-ресурсов с учетом возможного многообразия организационно-экономических форм субъектов профессиональной деятельности;
- формализации процессов анализа функциональных моделей продвижения Internet-ресурсов в контексте многообразия технологических базисов в организационно-экономических формах субъектов профессиональной деятельности;
- формализации выбора критериев и показателей эффективности профессиональной деятельности в зависимости от характеристик внешней среды;

• формализации определения влияния параметрического пространства моделей и методов продвижения Internet-ресурсов на критерии и показатели эффективности профессиональной деятельности в зависимости от характеристик внешней среды.

В представленной системе центральное место отводится формализации процессов построения функциональных моделей продвижения Internet-ресурсов и формализации выбора критериев и показателей эффективности профессиональной деятельности в зависимости от характеристик внешней среды.

В предлагаемой методике формирования функциональной модели Internet-ресурса предусматривается выполнение следующих этапов:

- выбор группы целей среди множества групп типовых целей;
- выбор цели в группе типовых целей;
- определение каждого возможного состояния Internet-ресурса;
- определение пространства состояний Internet-ресурса;
- описание процесса изменения состояний Internet-ресурса  $\mathbf{P}$  стохастической матрицей переходов

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \dots & p_{1,s-1} & p_{1,s} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \dots & p_{2,s-1} & p_{2,s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{s-1,1} & p_{s-1,2} & \dots & p_{s-1,s-1} & p_{s-1,s} \\ 0 & 0 & & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где  $s$  – номер состояния, соответствующего достижению цели;  $(s \times s)$  – размерность возможного пространства состояний Internet-ресурса;  $p_{i,j}$  – вероятность перехода из состояния  $i$  в состояние  $j$

$$i = 1, 2, \dots, s; j = 1, 2, \dots, s.$$

Согласно подобной модели находится вероятность достижения цели за установленное время  $C$

$$P_C = \sum_{k=1}^C u(k),$$

$$u(k) = p_{1,s}^{(k)} - p_{1,s}^{(k-1)},$$

где  $p_{1,s}^{(k)}$  –  $(1, s)$ -й элемент  $k$ -й степени матрицы  $\mathbf{P}$ .

Предложенная формализация может применяться для определения динамических характеристик любого Internet-ресурса, вне зависимости от его предназначений размеров и целей, представленных в классификации Internet-ресурсов. Она предназначена для контроля качества страниц ресурса и прогноза поведенческих факторов пользователя.

В состав смешанно-сетевой системы продвижения Internet-ресурсов включаются: средства SEO продвижения, средства контекстной рекламы, средства таргетированной рекламы, пользовательский интерфейс, контент для пользователей, служебный контент, средства SMM, ссылки на средства представления контрагентов, средства представления контактной информации, средства представления обратной связи с пользователем, средства представления товаров услуг и работ, средства формирования профиля пользователя при работе в сфере ресурса, средства оценивания динамических характеристик Internet-ресурса.

Апробация смешанно-сетевой системы продвижения Internet-ресурсов проводилась на ресурсах компаний «Актуальный Дизайн», «Балтийский Берег» и «Мебельная компания».

На рис. приведены сравнительные характеристики посещаемости и переходов пользователей за 2016 и 2017 года.

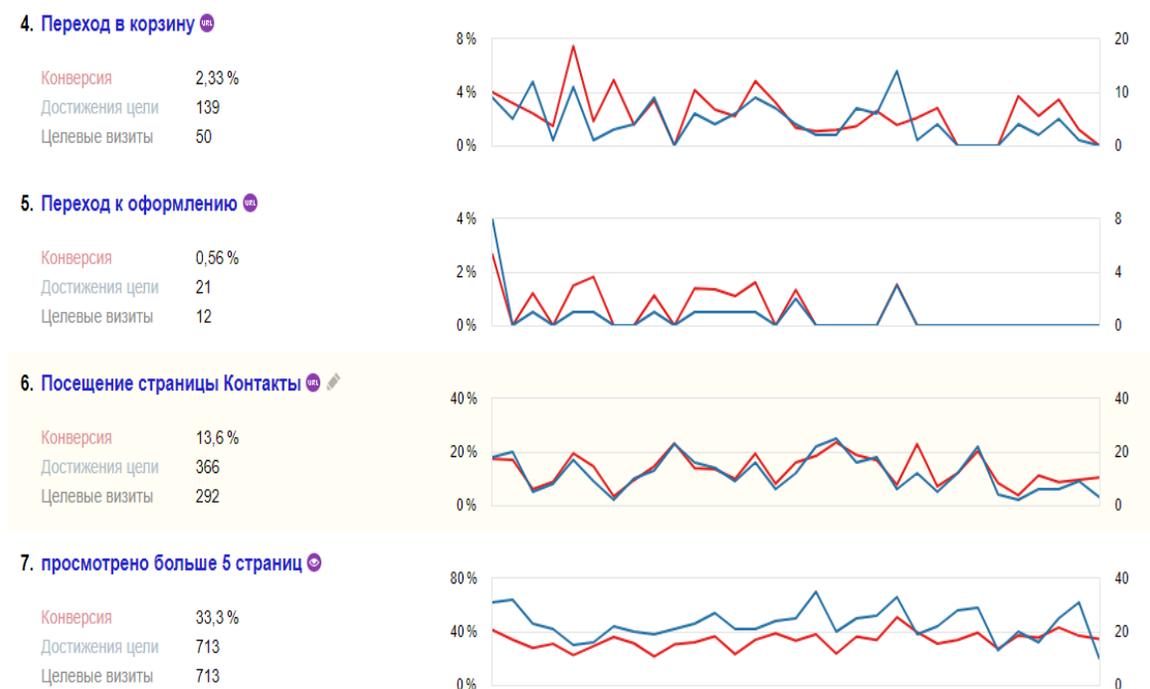


Рисунок. Статистика сценариев для приоритетных конверсионных целей

По результатам анализа представленной статистики можно сделать вывод о том, что разработанная смешанно-сетевая система продвижения Internet-ресурсов для малого и среднего бизнеса приносит результат. Это выражается в статистике сценариев целей сайта: количество пользователей увеличилось на 8 500, трафик из поисковых систем возрос в 2 раза.

#### Список использованных источников

1. Яковлев А., Ткачев В. Раскрутка сайтов. Основы, секреты, трюки. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 352 с.

2. Анализируем сайты конкурентов. URL: <http://seoinsoul.ru/analiziruem-sajty-konkurentov/>

*Статья представлена научным руководителем,  
доктором технических наук, профессором Птицыной Л. К., СПбГУТ.*

**УДК 004.75**

**Г. В. Верхова** (доктор технических наук, профессор, СПбГУТ)

**Я. А. Плетнев** (студент, СПбГУТ)

### **УНИФИЦИРОВАННАЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ ПЛАТФОРМА СЕНСОРНОГО СЛОЯ ДЛЯ ИОТ**

*В работе представлены результаты исследований в области создания концепции программно-аппаратной платформы сенсорного слоя для Промышленного Интернета вещей. Целью создания программно-аппаратной платформы является унификация взаимодействия датчиков физических величин в рамках сенсорного слоя киберфизической системы. Показана возможность использования технологии протокола MQTT для создания инфраструктуры Интернета вещей. Представлен вариант использования технологии для мониторинга любых техногенных объектов, как промышленных, так и бытовых.*

*интернет вещей, датчики, инфраструктура IoT, мониторинг.*

Развитие микроэлектроники и широкое ее применение в промышленности, устройствах и системах контроля и управления многообразными объектами и процессами является в нынешнее время одним из главных направлений научно-технического прогресса.

В настоящее время микропроцессоры во встраиваемых системах используются гораздо реже, уступив место микроконтроллерам, которые представ-

ляют собой законченный микрокомпьютер, расположенный целиком на кристалле кремния. Цифровые и аналоговые порты оснащают связью с внешним миром микроконтроллер, являясь средством ввода-вывода любого типа информации. Актуальность выбранной темы обусловлена тем, что Промышленный Интернет вещей предоставляет возможность лучше анализировать деятельность и активы организаций посредством интеграции датчиков в систему мониторинга. Увеличивается количество датчиков, поэтому требуется разработать унифицированную платформу для подключения к ней датчиков. Целью работы является разработка унифицированной программно-аппаратной платформы для связи сенсорного слоя Промышленного Интернета вещей с информационно-управляющей системой.



Рис. 1. Плата NodeMCU

В рамках данной работы было разработано ПО для унифицированной платформы на базе модуля NodeMCU (рис. 1) с контроллером ESP8266. Полученные результаты могут использоваться в организации мониторинга, контроля, управления в производствах любого уровня, в жилых и некоммерческих помещениях, образовательных организациях и вне помещений. В данной системе контроль различных параметров, управляющие воздействия могут производиться с мобильных устройств через специализированные бесплатно распространяемые приложения для ОС iOS и Android и через веб-интерфейс.

В 2017 году распоряжением Правительства РФ была утверждена программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [1] (далее – Программа), реализация которой осуществляется в соответствии с целями и задачами государственной политики РФ. Указывается, что данные в цифровой форме являются ключевым фактором производства и они обеспечивают экономический рост и повышают конкурентоспособность страны, качество жизни граждан. Данный документ предполагает развитие промышленных сенсоров (увеличение объема их использования) и также промышленного интернета.

Согласно Программе, ко второму кварталу 2019 года будут разработаны проекты стандартов и технических регламентов, регулирующих сферу интернета вещей (индустриального интернета).

Увеличение использования датчиков физических величин также обуславливается вступившим в силу 1 марта 2017 года приказа Министерства здравоохранения РФ № 646н «Об утверждении Правил надлежащей практики хранения и перевозки лекарственных препаратов для медицинского применения», в котором говорится о необходимости ведения учета температуры и влажности как помещения в целом, так и его отдельных зон [2].

Настоящая нормативно-правовая база Российской Федерации изменяется таким образом, что использование большего числа датчиков переходит из зоны привилегий в зону обязанностей каждой организации. Предприятия для сохранения конкурентоспособности будут вынуждены переходить к Индустрии 4.0.

В настоящее время остро стоит проблема стандартизации взаимодействия датчиков различных физических величин. Изменяющаяся правовая система Российской Федерации диктует такие условия, в рамках которых организациям приходится наращивать количество оборудования мониторинга и контроля, начиная с различного рода вычислительных сетей (серверных кластеров) и заканчивая вышеупомянутыми датчиками, а это дополнительные расходы. Однажды вложив порой немалые средства в решение той или иной компании – закупка и установка контроллеров и датчиков – становятся «заложниками» данной структуры. В данном случае создается некая конкурентная монополия, в которой датчики одной фирмы-производителя могут работать только с контроллерами датчиков этой же фирмы.

Переходя от IoT к рынку IoT, можно наблюдать схожую ситуацию. В настоящее время не существует решения данной проблемы. Существующее разнообразие доступных в ценовом отношении рядовому пользователю датчиков, устройств системы «умный дом» и других приборов «(Индустриального) Интернета вещей» (рис. 2) пугает своим количеством. Отсутствие единой «шины» с принципом работы «Plug&Play» во многом ограничивает стремление и желание заказчиков – как отдельных пользователей, так и различных предприятий – в приобретении и установке систем данного класса.



Рис. 2. Индустриальный Интернет вещей

Решением этой проблемы будет создание единой платформы, которая позволяла бы пользователям использовать преимущества как IoT, так и IIoT без больших затрат и высокого порога вхождения.

Предлагается использовать магистрально-модульный принцип построения с возможностью использования принципа работы «Plug&Play».

В данной системе реализованы основные функции мониторинга и контроля показаний датчиков через веб-интерфейс:

- установление связи датчиков с помещением, за которым ведется контроль;
- установление связи помещения с определенным физическим или юридическим лицом, либо группой лиц;
- разграничение прав доступа к добавлению, редактированию, удалению различной информации.

Контроллер обработки и передачи данных, поступающих на его вход с датчиков физических величин, программируется на язык с С-подобным синтаксисом. Система написана на языке программирования С# в рамках технологии ASP.NET.

Аппаратная основа устройства-прототипа приема и последующей передачи данных состоит из платформы NodeMCU с микроконтроллером ESP8266 с поддержкой передачи данных через сети WI-FI.

Внедрение предлагаемых технологий обеспечит быстрое и удобное развертывание системы мониторинга и контроля, возможность использования датчиков различных производителей в единой связке, возможность получения данных в режиме реального времени через удобный веб-интерфейс.

Протокол MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) – лёгкий и простой протокол обмена сообщениями, реализующий модель «публикация/подписка» (*publish/subscribe*) и предназначенный для связи компьютеризированных устройств, подключенных к локальной или глобальной сети, между собой и различными публичными или приватными веб-сервисами. Схема работы протокола MQTT представлена на рис. 3.

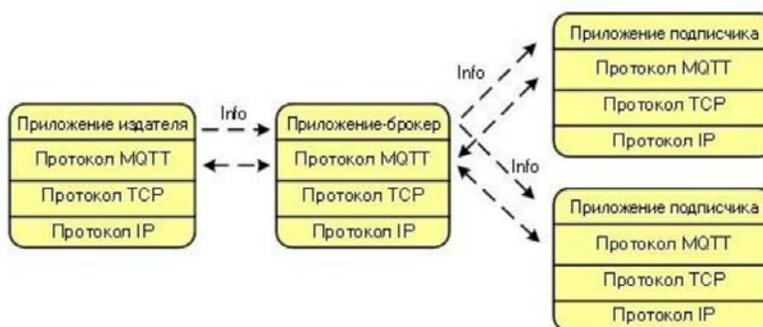


Рис. 3. Схема работы протокола MQTT

С аппаратной части, со стороны издателя, располагается датчик, подключенный к аппаратной платформе NodeMCU. Для написания программного кода и последующей его загрузки в плату использовалась среда разработки Arduino IDE с подключенной библиотекой PubSubClient.h. Эта библиотека предоставляет клиенту не сложный в установке и применении способ обмена сообщениями, публикации и подписки на топики с сервером, поддерживающим протокол MQTT. Пользователь может создать новое подключение с платой NodeMCU (рис. 4). Для этого во вкладке «Управление устройствами», ссылка на которую расположена на главной странице в центре и меню слева, необходимо выбрать пункт «Новое подключение». Пользователь попадет на страницу с необходимыми ключами доступа – логином и паролем (при условии включения подобной функции в настройках приватности), ID соединения. Веб-сервер будет ожидать подключения платы к сети посредством протокола MQTT.

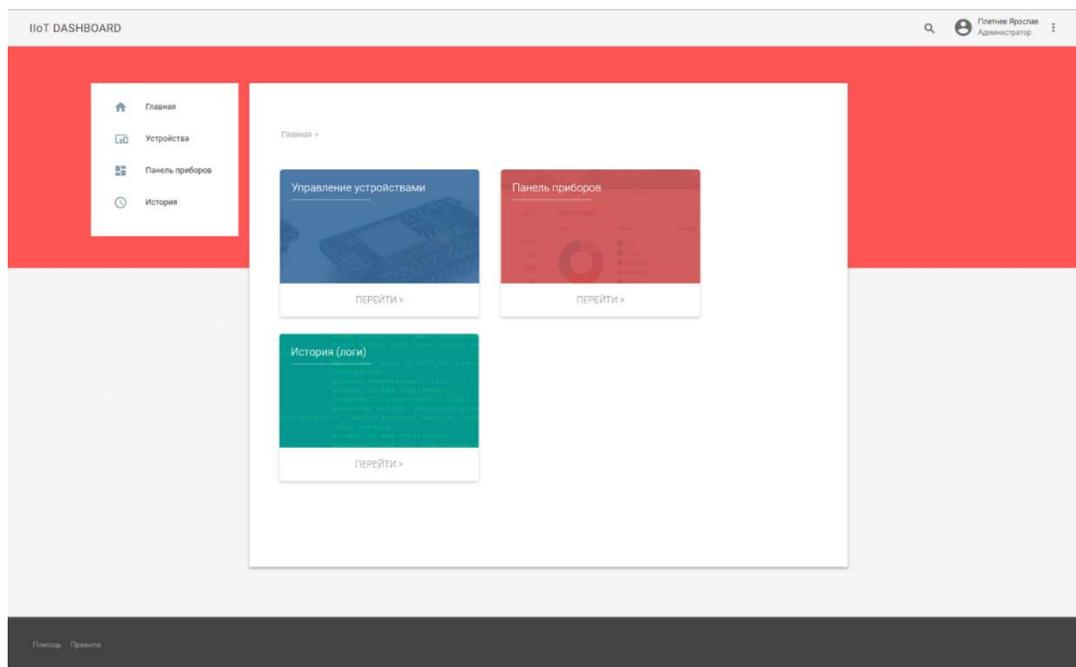


Рис. 4. Интерфейс веб-страницы

#### Список использованных источников

1. Об утверждении программы "Цифровая экономика Российской Федерации": Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 N 1632-р. Собрание законодательства Российской Федерации. 2017. N 32, ст. 5138.

2. Об утверждении Правил надлежащей практики хранения и перевозки лекарственных препаратов для медицинского применения: Приказ Министерства здравоохране-

ния РФ от 31 августа 2016 г. № 646н. Электронные текстовые данные. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71482808/>.

**УДК 65.011.56**

**И. В. Вершинина** (студентка, Университет ИТМО)

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОЦЕНКИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ КОММЕРЧЕСКОЙ И НЕКОММЕРЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИЙ**

*Показана необходимость использования различных метрик оценки ключевых бизнес-процессов коммерческих и некоммерческих компаний образовательного сектора. Предложена система корреляционных коэффициентов для проведения сравнительного анализа эффективности организаций различной экономической природы*

*процессный подход к управлению, бизнес-процесс, метрики бизнес-процессов, сравнительный анализ.*

Процессный подход к управлению лежит в основе всех современных систем управления, как регулярной деятельностью, так и развитием. Известно, что процессный подход к управлению направлен на управление целенаправленным потоком взаимосвязанных видов деятельности, преобразующих входные потоки материальных, информационных, финансовых ресурсов в выходные – конечный продукт, имеющий ценность для потребителя (Стандарт ISO 9001:2000) [1]. Для контроля изменений в результате внедрения процессного подхода к управлению компанией важно на этапе моделирования бизнес-процессов идентифицировать метрики отдельных бизнес-процессов и обеспечить их согласованность с ключевым показателем деятельности всей организации, который, в свою очередь, должен базироваться на основной цели компании [2]. В отличие от коммерческих организаций, где главная цель неизменна и заключается в максимизации прибыли, каждая некоммерческая организация (НКО) самостоятельно определяет цель функционирования, отличную от извлечения прибыли. Как правило, НКО представляют интересы общества, стремясь к достижению общественно полезных благ, таких как благотворительные, образовательные, духовные блага [4]. Понимание того, что цели коммерческой и некоммерческой компании никогда не совпадут, позволяет предположить, что метрики схожих между собой бизнес-процессов для двух типов компаний должны всегда различаться.

Целью исследования является исследование особенностей оценки эффективности организаций различной экономической природы, производящих одинаковое экономическое благо.

В рамках работы были исследованы бизнес-процессы двух Санкт-Петербургских организаций, которые объединяет производимое ими экономическое благо – образовательные услуги. В частности, рассматривались такие организации, как школа английского языка Skyeng, которая функционирует на коммерческой основе, и академическое партнёрство компании Dell EMC, которое является организацией некоммерческой направленности.

Первоначально были определены основные цели функционирования каждой из компаний. Для школы английского языка Skyeng ключевая цель состояла в максимизации прибыли, как и для любой другой коммерческой организации. Для академического партнёрства Dell EMC основная цель носила образовательный характер и заключалась в предоставлении качественных образовательных услуг своим вузам-партнёрам. Отсюда следует, что ключевым показателем деятельности (KPI) для Skyeng является полученная чистая прибыль за год (количественный материальный показатель), а для академического партнёрства Dell EMC – это степень удовлетворённости вузов-партнёров услугами организации (качественный показатель, носит нематериальный характер).

Заметим, что в рассматриваемых организациях есть одинаковый бизнес-процесс, который отвечает за предоставление образовательных услуг клиентам. Входами данного бизнес-процесса являются шаблон анкеты потенциального клиента, веб-портал компании и портфолио компании. К выходам бизнес-процессов следует отнести договор между двумя заинтересованными сторонами на предоставление образовательных услуг и оказанную образовательную услугу. Механизмами являются преподавательский состав, клиент и менеджер по работе с клиентами. Управление основывается на законодательстве РФ, уставе организации и учебной программе. В свою очередь, границы бизнес-процесса определяются иницирующим событием – получена заявка от потенциального клиента и завершающим событием – оказана образовательная услуга клиенту. Таким образом, бизнес-процесс оказания образовательных услуг в двух ранее описанных организациях действительно имеет абсолютно одинаковые элементы, что наглядно можно увидеть на рис., на котором представлена модель рассматриваемого бизнес-процесса верхнего уровня. При построении модели использовалась нотация IDEF0, методологические особенности которой позволяют визуализировать входы, выходы, механизмы и управление моделируемого бизнес-процесса [3].

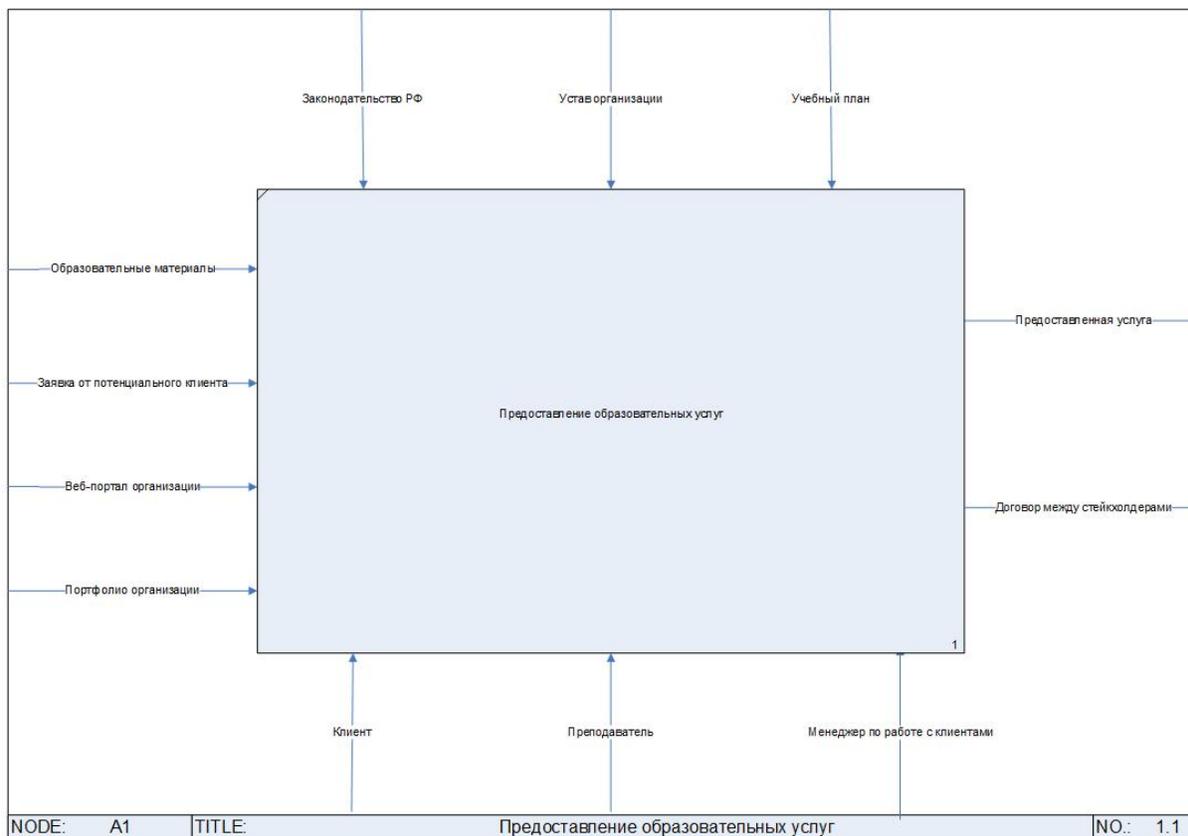


Рисунок. Бизнес-процесс предоставления образовательных услуг в нотации IDEF0

Несмотря на наличие тождественных элементов бизнес-процесса, для Skyeng с учётом основной цели (максимизация прибыли) и KPI компании (чистая прибыль за год) метриками процесса будут являться общая выручка от продажи образовательных услуг в год и переменные издержки на их производство. Полученные выводы базируются на том факте, что прибыль фирмы ( $\pi$ ) равняется разнице между общей выручкой от продажи благ ( $TR$ , *Total Revenue*) и общими издержками на их производство ( $TC$ , *Total Costs*), то есть

$$\pi = TR - TC,$$

где общие издержки на производство благ ( $TC$ ) складывается из суммы переменных издержек ( $VC$ , *Variable Costs*) и постоянных издержек ( $FC$ , *Fixed Costs*), то есть

$$TC = VC + FC.$$

Однако, постоянные издержки, которые не зависят от объёма предоставленных услуг, неизменны в границах данного бизнес-процесса, поэтому по-

стоянные издержки не являются третьей метрикой рассматриваемого бизнес-процесса.

Для бизнес-процесса оказания образовательных услуг академическим партнёрством Dell EMC, учитывая его основную цель (предоставление качественных образовательных услуг своим вузам-партнёрам) и КРІ компании (степень удовлетворённости вузов-партнёров услугами организации), была определена метрика данного бизнес-процесса, которая заключается в соотношении положительных и отрицательных отзывов потребителей услуги за годовой период. Данное соотношение НКО получает в результате проведения анкетирования раз в год всех пользователей услуг организации.

## Выводы

1) В силу принципиальных отличий целевых функций коммерческих и некоммерческих организаций, производящих одинакового экономического блага, для оценки бизнес-процессов необходимо использовать различные метрики, что затрудняет ведение сравнительного анализа эффективности организаций различной экономической природы.

2) Для преодоления данной коллизии при сравнении эффективности организаций рекомендуется использовать корреляционные коэффициенты, разработка которых возможна на основе экспертных оценок и анализа достигнутых результатов в динамической ретроспективе.

## Список использованных источников

1. Международный стандарт ISO 9001:2000 Системы менеджмента качества – требования [Электронный ресурс]. URL: <http://niits.ru/public/2003/069.pdf>.
2. Мадера А.Г. Математическое моделирование и оптимизация бизнес-процессов на основе комплексного критерия «шансы-риски» // Российский журнал менеджмента. 2015. Т. 13. № 4. С. 51–68.
3. Business Process Compliance Tracking Using Key Performance Indicators // International conference on business process management. BPM 2010: business process management workshops. PP.73–84.
4. Мерсиянова И. В. Негосударственные некоммерческие организации: институциональная среда и эффективность деятельности / И. В. Мерсиянова, Л. И. Якобсон. М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2007.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Смородиным Г. Н., Университет ИТМО.*

УДК 004.415.25

**М. Ю. Винокуров** (оператор научной роты,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**Ф. Ю. Шарафутдинов** (командир взвода,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

## **АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОБОРУДОВАНИЯ СЕТИ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРОГРАММНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ЯЗЫКЕ JAVA**

*В настоящее время вооруженные силы активно развивают направление по автоматизации контроля состояния и управления узлами в различных распределенных технических системах. Организация структуры и внутренней иерархии узлов в подобных системах (например, полевой транспортной сети связи) представляет собой сложную задачу построения системы, комплекса систем, и возникает необходимость в реализации отзывчивого графического интерфейса в виде информационной системы для эффективного управления таким комплексом. Предлагается реализация такого графического интерфейса в виде веб-приложения, на базе сервис-ориентированной архитектуры.*

*сервис-ориентированная архитектура, веб-приложение, Vaadin, Spring.*

### **Сервис-ориентированная архитектура**

Сервис-ориентированная архитектура (СОА) – модульный подход к разработке программного обеспечения, основанный на использовании распределённых, слабо связанных заменяемых компонентов, оснащённых стандартизированными интерфейсами для взаимодействия по стандартизированным протоколам. Программные комплексы, разработанные в соответствии с сервис-ориентированной архитектурой, обычно реализуются как набор веб-служб, взаимодействующих по протоколу SOAP, но существуют и другие реализации (например, на базе CORBA, на основе REST). Интерфейсы компонентов в сервис-ориентированной архитектуре инкапсулируют детали реализации (операционную систему, платформу, язык программирования) от остальных компонентов, таким образом обеспечивая комбинирование и многократное использование компонентов для построения сложных распределённых программных комплексов, обеспечивая независимость от используемых платформ и инструментов разработки, способствуя масштабируемости и управляемости создаваемых систем [1].

Сервис-ориентированная архитектура позволит, во-первых, создать систему, эффективно масштабируемую, во-вторых, позволит этой системе эф-

эффективно справлять с большим числом пользовательских запросов за счет распределения нагрузки.

## **Язык программирования Java для создания информационных систем на базе СОО**

Информационная система на базе сервис-ориентированной архитектуры состоит из сервисов, инкапсулирующих детали реализации. Для реализации графического интерфейса и высокоуровневой работы с источниками данных предлагается использовать фреймворки Vaadin и Spring, предназначенные для использования в информационных системах, реализованных с помощью языка программирования Java. Выбор данного языка программирования основывается на его отличительных характеристиках [2]:

1) Технология Java позволяет работать в безопасной вычислительной среде, изолированной виртуальной машине – JVM.

2) Кроссплатформенность.

3) Создание программ, работающих в веб-браузере и имеющих доступ к веб-службам.

4) Объединение приложений или служб с использованием языка Java для создания высокоспециализированных приложений или служб.

5) Создание многофункциональных и эффективных приложений для мобильных телефонов, удаленных процессоров, микроконтроллеров, беспроводных модулей, датчиков, шлюзов, потребительских продуктов.

6) Поддержка лямбд, замыканий, встроенные возможности функционального программирования.

7) Множество вариантов реализации многопоточных программ.

Таким образом, язык Java позволяет реализовывать платформенно-независимые сервисы, реализовывать интерфейсы различных типов и для различных устройств, объединять различные программные интерфейсы, эффективно обрабатывать данные.

## **Фреймворк Vaadin для создания графического интерфейса информационной системы**

Специальное программное обеспечение по контролю состояния и управления оборудованием сети связи подразумевает функциональный графический интерфейс. Предлагается реализовать этот интерфейс в виде веб-приложения, доступного через браузер. Такой интерфейс позволит пользователям обращаться к информационной системе без необходимости установки специфических программных средств, и избавит его от необходимости следить за своевременным обновлением установленного программного комплек-

са. Для реализации графического интерфейса системы предлагается использовать фреймворк Vaadin.

Vaadin – свободно распространяемый фреймворк для создания RIA-веб-приложений, разрабатываемый одноимённой финской компанией. В отличие от библиотек на Javascript и специфических плагинов для браузеров, Vaadin предлагает сервер-ориентированную архитектуру, базирующуюся на Java Enterprise Edition. Использование JEE позволяет выполнять основную часть логики приложения на стороне сервера, тогда как технология AJAX, используемая на стороне браузера, позволяет интерактивно взаимодействовать с пользователем, не отставая от аналогичных десктоп-приложений. Для отображения элементов пользовательского интерфейса и взаимодействия с сервером на стороне клиента Vaadin использует Google Web Toolkit [3]. Архитектура фреймворка Vaadin представлена на рис.

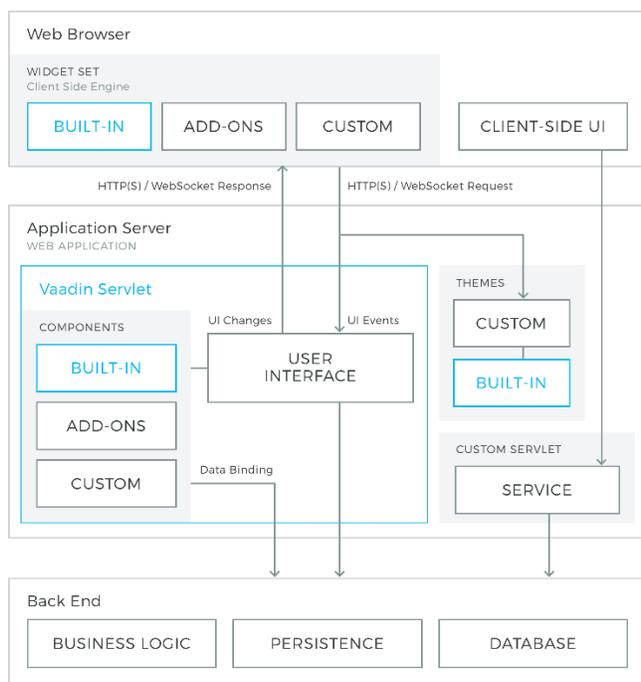


Рисунок. Архитектура фреймворка Vaadin

Использование Java как единственного языка программирования при создании веб-приложений и веб-контента – одна из наиболее значимых функций в Vaadin. Фреймворк использует событийную модель и определенные элементы пользовательского интерфейса, виджеты, что делает её очень близкой к модели разработки настольных приложений на Java с использованием HTML и Javascript. Организация модели данных и виджетов позволяет отображать в браузере большие объёмы данных без значительной загрузки оперативной памяти и без дополнительных действий со стороны разработчика. Использование Google Web Toolkit для отображения страниц с результатами поиска и обработки действий пользователя (наподобие терминального клиента). Так как Google Web Toolkit функционирует только на стороне клиента, Vaadin добавляет дополнительную валидацию данных на стороне сервера: это решает проблемы безопасности, связанные с возможностью подмены данных или кода Javascript. Соответственно, при изменении и повреждении данных, поступающих от браузера, сервер, определив это, не пропускает запросы.

Расширяемость обеспечивается возможностью использования дополнительных виджетов, написанных для GWT, а также кастомизации при помощи CSS. Однако стандартное приложение, создаваемое на Vaadin, не требует программирования именно на GWT и последующей компиляции GWT-компилятором, если только разработчик не добавляет в проект нестандартные виджеты.

### Фреймворк Spring для создания сервисов

Spring Framework (или коротко *Spring*) – универсальный фреймворк с открытым исходным кодом для Java-платформы. Spring может быть рассмотрен как коллекция меньших фреймворков или фреймворков во фреймворке. Большинство этих фреймворков может работать независимо друг от друга, однако они обеспечивают большую функциональность при совместном их использовании. Эти фреймворки делятся на структурные элементы типовых комплексных приложений [4]:

- Inversion of Control-контейнер: конфигурирование компонентов приложений и управление жизненным циклом Java-объектов;
- Фреймворк аспектно-ориентированного программирования: работает с функциональностью, которая не может быть реализована возможностями объектно-ориентированного программирования на Java без потерь;
- Фреймворк доступа к данным: работает с системами управления реляционными базами данных на Java-платформе, используя JDBC- и ORM-средства и обеспечивая решения задач, которые повторяются в большом числе Java-based environments;
- Фреймворк управления транзакциями: координация различных API управления транзакциями и инструментарий настраиваемого управления транзакциями для объектов Java;
- Фреймворк MVC: каркас, основанный на HTTP и сервлетах, предоставляющий множество возможностей для расширения и настройки;
- Фреймворк удалённого доступа: конфигурируемая передача Java-объектов через сеть в стиле RPC, поддерживающая RMI, CORBA, HTTP-based протоколы, включая web-сервисы (SOAP);
- Фреймворк аутентификации и авторизации: конфигурируемый инструментарий процессов аутентификации и авторизации, поддерживающий много популярных и ставших индустриальными стандартами протоколов, инструментов, практик через дочерний проект Spring Security (ранее известный как *Acegi*);

- Фреймворк удалённого управления: конфигурируемое представление и управление Java-объектами для локальной или удалённой конфигурации с помощью JMX;
- Фреймворк работы с сообщениями: конфигурируемая регистрация объектов-слушателей сообщений для прозрачной обработки сообщений из очереди сообщений с помощью JMS, улучшенная отправка сообщений по стандарту JMS API;
- Тестирование: каркас, поддерживающий классы для написания модульных и интеграционных тестов.

Потенциал представленных фреймворков удовлетворяет созданию сложной распределенной системы, а информационная база их сообществ позволяет максимально использовать возможности этих фреймворков.

#### Список использованных источников

1. Сервис-ориентированная архитектура. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Сервис-ориентированная\\_архитектура](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сервис-ориентированная_архитектура).
2. Java. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Java>.
3. Введение в Vaadin. URL: <https://vaadin.com/docs/v8/framework/introduction/intro-overview.html>.
4. Spring Framework. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Spring\\_Framework](https://ru.wikipedia.org/wiki/Spring_Framework).

*Статья представлена научным руководителем,  
доктором технических наук, профессором Паращуком И. Б.,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного.*

**УДК 004.7:004.422.8**

**Ю. А. Голутвина** (студентка, СПбГУТ)

## **ФОРМАЛИЗАЦИИ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

*Описана обобщённая формализация онтологического подхода к организации информационных систем. Раскрыто содержание компонентов обобщённой формализации. Представлены типовые приёмы формирования формализаций онтологического подхода к организации интеллектуальных сервис-ориентированных систем на основе компьютерной парадигмы. Приведены базовые этапы методики построения интеллектуального модуля для автоматизации интеграции сервис-ориентированных средств. Описан пример разработанной онтологии сервисов туристического интернет-агентства.*

*интеллектуальные системы и технологии, онтология, owl-онтология, среда protege 5.0.*

На современном этапе экономики информационного общества при выполнении проектов цифрового развития малого и среднего бизнеса наблюдается обширный объём неструктурированной профессиональной деятельности. В подобных условиях актуализируется расширение технологического обеспечения интеллектуальных информационных систем, в среде которых выполняются ключевые задачи коллективной профессиональной деятельности. Одно из перспективных направлений развития подобных артефактов ассоциируется с интеллектуальными сервис-ориентированными системами. Для интеллектуализации сервис-ориентированных систем предлагаются решения следующих задач: анализ существующих методов интеграции сервис-ориентированных систем; выбор инструментальных средств для построения интеллектуального модуля интеграции сервисов; формирование методики построения интеллектуального модуля для автоматизации интеграции сервис-ориентированных средств; разработка программы для интеллектуальной интеграции сервис-ориентированных средств, обеспечивающей представление преимуществ онтологического подхода к проектированию многокомпонентного программного обеспечения информационных систем на примере малого и среднего туристического бизнеса.

Анализ существующих методов интеграции сервис-ориентированных систем выполняется в контексте функциональных возможностей обширного множества известных технологий, применяемых при сопровождении жизненного цикла интеллектуальных систем и технологий [1, 2]. По результатам анализа предпочтение отдаётся онтологическому подходу к интеллектуальной интеграции сервис-ориентированных средств.

Формальная модель онтологии представляется кортежем:

$$\mathbf{Out} = \langle \mathbf{T}, \mathbf{R}, \mathbf{F} \rangle,$$

где  $\mathbf{T}$  – конечное множество понятий (концептов) предметной области;  $\mathbf{R}$  – конечное множество отношений между понятиями;  $\mathbf{F}$  – конечное множество функций интерпретации, заданных на концептах и/или отношениях.

На основе сравнения парадигм онтологии выбирается компьютерная парадигма для интеллектуализации информационного обмена, поскольку для построения сервис-ориентированных систем преимущественно используются компьютерные технологии и web-сервисы, которые взаимодействуют между собой по протоколу SOAP. Посредством анализа инструментальных средств для построения OWL-онтологий высший приоритет закрепляется за инструментальным средством Protégé версии 5.0.

В разработанной методике для интеллектуальной интеграции сервис-ориентированных систем с помощью онтологического подхода предусматривается выполнение следующих этапов.

Этап 1.

Составление детализированного сценария работы потребителя с сервис-ориентированной системой при помощи UML диаграммы.

Этап 2.

Формирование множества уникальных необходимых операций  $C$

$$|C| = N,$$

где  $N$  – число операций.

Этап 3.

Определение сервисного поля  $P$ , достаточного для выполнения необходимых операций  $C$

$$|P| = \sum_{i=1}^N C_i M_i,$$

где  $M_i$  – число найденных сервисов, выполняющих необходимую операцию.

Этап 4.

При отсутствии существующих сервисов, выполняющих необходимые операции, планирование разработки множества собственных сервисов  $G$ .

Этап 5.

Определение конечного множества класса клиентов-потребителей сервис-ориентированной системы  $Q$

$$|Q| = L,$$

где  $L$  – число клиентов системы.

Этап 6.

Составление архитектуры классов онтологии информационного обмена между сервисами сервис-ориентированной системы на основе описанной формальной модели.

Этап 7.

Добавление индивидов в соответствующие классы. При этом элементы сервисного поля представляют в классы сервисов, элементы клиентского поля – в класс клиентов, а элементы операционного поля – в класс запросов.

## Этап 8.

Связывание элементов сервисного поля в последовательность, основанную на парах сервисов, составленных по предусловиям и постусловиям.

Предусловия описываются с помощью следующих формализаций логики предикатов первого порядка.

При описании используются следующие обозначения « $x$  – есть операция, выполняемая сервисом», « $y$  – есть операция, выполняемая определенным клиентом».

Предусловие для выбора определенного сервиса представляется в виде записи

$$\forall x(\text{Запрос}(x) \rightarrow \text{Сервис}(x)).$$

Если обнаруживается более одного сервиса, соответствующего условиям, то выбор основывается на сравнении остальных свойств сервисов: цена, скорость обработки информации, удобство интеграции сервиса в сервис-ориентированную систему.

Предусловие для выбора определенного клиента представляется в виде записи

$$\forall y(\text{Запрос}(y) \rightarrow \text{Клиент}(y)).$$

Постусловие определяет связь уже сложившейся пары с последующими или сигнализирует об окончании цепи (если постусловие отсутствует). Постусловия описываются с помощью следующих формализаций предикатов первого порядка.

При описании вводятся приводимые обозначения « $x_1$  – есть запрос от сервиса после выполнения операции», « $y_1$  – есть запрос от клиента на выполнение операции».

Предусловие для выбора определенного сервиса определяется записью

$$\exists x_1(\text{Сервис}(x_1) \rightarrow \text{Запрос}(x_1)).$$

Предусловие для выбора определенного сервиса определяется записью

$$\exists y_1(\text{Клиент}(y_1) \rightarrow \text{Запрос}(y_1)).$$

## Этап 9.

Анализ качественных показателей сервис-ориентированной архитектуры на основе построенной онтологии.

На рис. 1 изображена архитектура классов онтологии сервисов туристического интернет-агентства, разработанная с помощью инструментального средства Protégé 5.0.

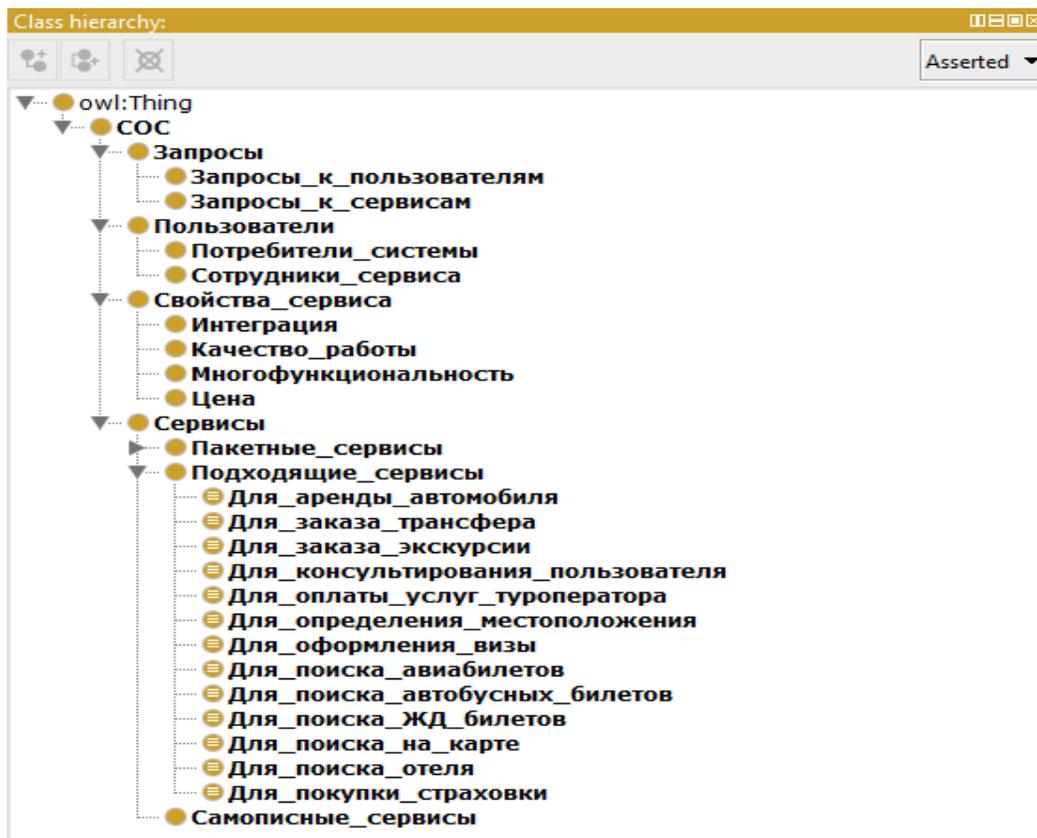


Рис. 1. Архитектура классов онтологии туристического интернет-агентства

Интеграция сервисов осуществляется интеллектуальным модулем, определяющим множество подходящих объектов для сервис-ориентированной системы. Результаты работы модуля показаны на рис. 2.

В соответствии с построенной архитектурой классов разработана программа для интеллектуальной интеграции сервис-ориентированных средств, обеспечивающая представление преимуществ онтологического подхода к проектированию многокомпонентного программного обеспечения информационных систем малого и среднего туристического бизнеса.

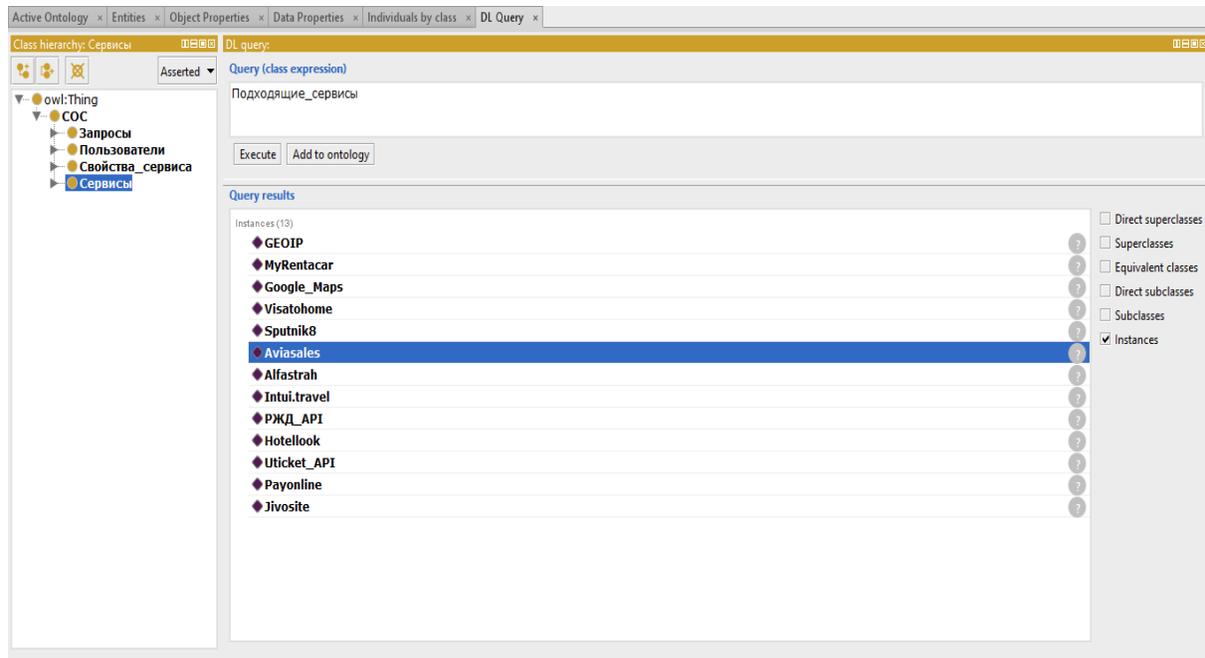


Рис. 2. Результаты работы интеллектуального модуля

### Список использованных источников

1. Птицына Л. К., Добрецов С. В. Интеллектуальные технологии и представление знаний. Планирование действий интеллектуальных агентов в информационных сетях : учеб. пособие. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2006. 172 с.

2. Птицына Л. К., Лебедева А. А. Информационные технологии проектирования интеллектуальных программных агентов для крупномасштабных сетей // Труды Международной научно-методической конференции «Информатизация инженерного образования» – ИНФОРИНО-2014 (Москва, 15–16 апреля 2014 г.). М.: Издательство МЭИ, 2014. С. 265–266.

*Статья представлена научным руководителем,  
доктором технических наук, профессором Птицыной Л. К., СПбГУТ.*

УДК 004.7:004.422.8

Д. С. Гусев (студент, СПбГУТ)

## ФОРМАЛИЗАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

*Рассмотрены современные подходы к формированию искусственного интеллекта мультиагентных систем защиты информации в распределённых инфраструктурах. Выбраны методы формирования искусственного интеллекта мультиагентных систем защиты информации в распределённых инфраструктурах. Приведены математические описания ключевых компонентов рассматриваемого искусственного интеллекта. Описаны типовые приёмы использования искусственного интеллекта мультиагентных систем защиты информации в распределённых инфраструктурах.*

*искусственный интеллект, интеллектуальные технологии, защита информации, распределённая инфраструктура, мультиагентная система.*

С ростом масштабов профессиональной деятельности, погружаемой в информационные инфраструктуры, проявляется острейшая необходимость в обеспечении информационной безопасности с сохранением доступности услуг сетей для непрерывно расширяющейся базы их клиентов и разработке технологий, регламентирующих создание систем информационной безопасности с многообразием профилей качества.

С расширением границ областей применения крупномасштабных информационных инфраструктур и усилением конкурентной борьбы за потребителя наблюдается устойчивое развитие программного обеспечения комплексных систем защиты информации. При этом перспективное направление ассоциируется с интеллектуализацией программного обеспечения комплексных систем защиты информации на основе современных подходов к формированию искусственного интеллекта.

В соответствии с современными представлениями знаний о развитии искусственного интеллекта [1], интеллектуализация программного обеспечения комплексных систем защиты информации может базироваться на когнитивном моделировании, автоматизации процесса проведения рассуждений и использовании рациональных агентов.

Предлагаемые инновации в интеллектуализации программного обеспечения комплексных систем защиты информации опираются на агентные технологии, дополненные подключением модельно-аналитического интеллекта, предусматривающего оценивание и контроль качества защищённости согласно методам, раскрытым в [2, 3, 4]. Согласно выбранным опорным технологи-

ям традиционное функциональное представление комплексной системы защиты информации в виде многоагентной системы описывается кортежем

$$MS = \langle A, E, R, ORG, ACT, COM, EV \rangle,$$

где **A** – множество агентов; **E** – множество сред, находящихся в определённых отношениях и взаимодействующих друг с другом; **R** – отношения между агентами; **ORG** – организация агентов; **ACT** – множество индивидуальных и совместных целевых действий агентов; **COM** – коммуникативные действия агентов; **EV** – эволюция агентов.

Функциональное представление комплексной системы защиты информации с модельно-аналитическим интеллектом представляется описанием

$$MS = \langle A, E, R, ORG, ACT, COM, EV, M_{MAI} \rangle,$$

где  $M_{MAI}$  – множество компонентов модельно-аналитического интеллекта.

На рис. 1 представлена типовая схема распределенного решения задачи формирования модельно-аналитического интеллекта. На схеме отражается процесс декомпозиции системы, обеспечивающий формирование модельно-аналитического интеллекта.

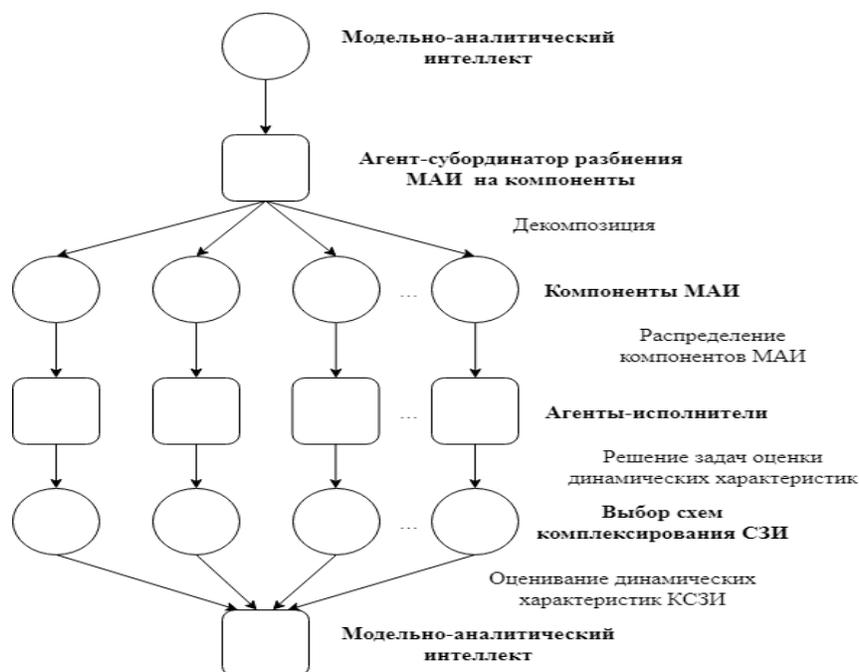


Рис. 1. Схема распределенного решения задачи формирования модельно-аналитического интеллекта

Реализация изложенной концепции может осуществляться на множестве альтернативных архитектур комплексных систем защиты информации с распределённым по мультиагентной системе модельно-аналитическим интеллектом.

Функциональная схема интеллектуального информационного агента с модельно-аналитическим интеллектом приводится на рис. 2.



Рис. 2. Схема информационного агента с модельно-аналитическим интеллектом

Многоагентная система с распределенной субагентной архитектурой расширяется модельно-аналитическим интеллектом в среде планировщика (рис. 3).

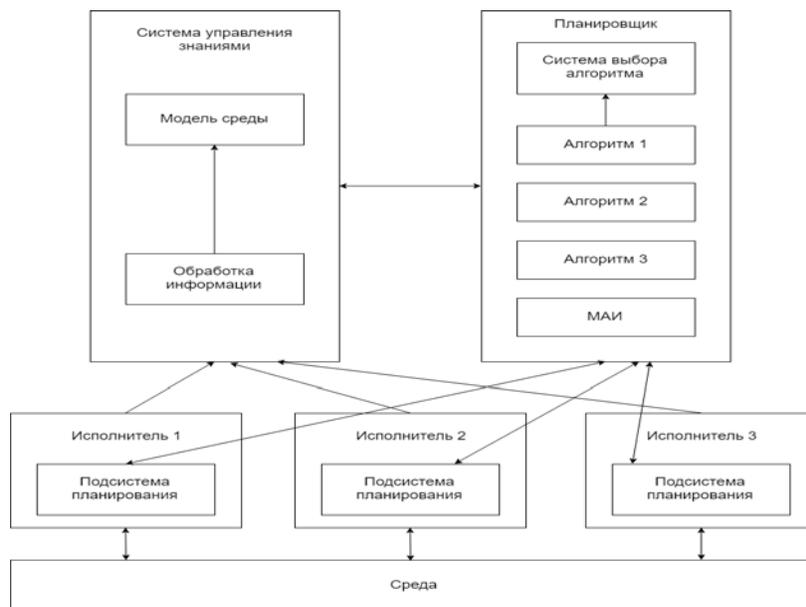


Рис. 3. Многоагентная система с распределенной субагентной архитектурой и модельно-аналитическим интеллектом

Возможной альтернативой по отношению к варианту, рассмотренному на рис. 3, является архитектура многоагентной системы с внешней системой выбора и модельно-аналитическим интеллектом, описанная на рис. 4.

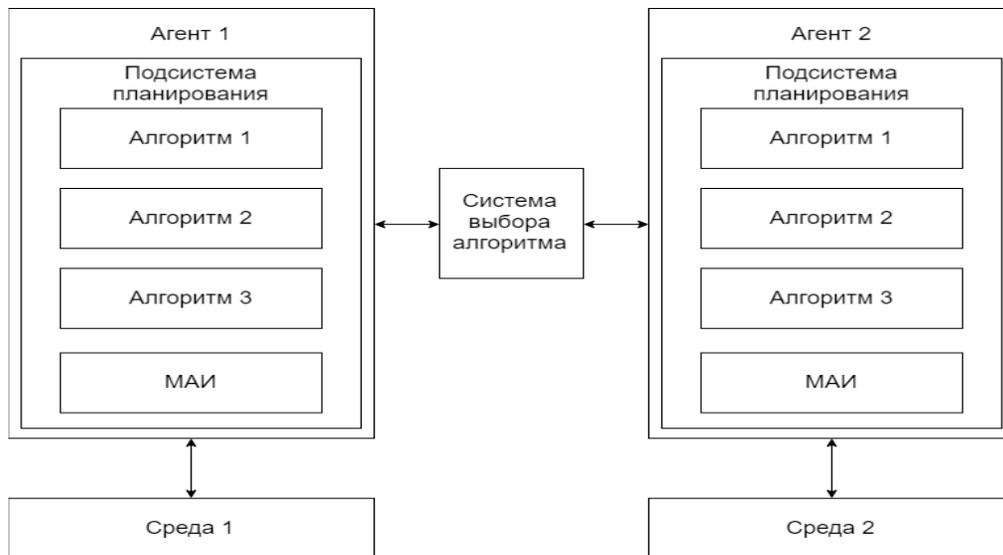


Рис. 4. Архитектура многоагентной системы с внешней системой выбора и модельно-аналитическим интеллектом

Предлагаемые вариации в архитектуре интеллектуальных комплексных систем защиты информации образуют опорный базис для последующего сравнительного анализа качества защищённости объектов от воздействия возможных угроз.

#### Список использованных источников

1. Искусственный интеллект: современный подход: пер. с англ. 2-е изд. М.: Вильямс, 2007. 1408 с.
2. Птицын А. В., Птицына Л. К. Аналитическое моделирование комплексных систем защиты информации. Гамбург. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 293 с.
3. Птицын А. В. Методологический базис агентных технологий для обеспечения информационной защищённости // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 1. С. 50–55.
4. Птицына Л. К., Птицын А. В. Обеспечение информационной безопасности на основе методологического базиса агентных технологий // Вестник Брянского государственного технического университета. 2017. № 2 (55). С. 146–154.

*Статья представлена научным руководителем,  
доктором технических наук, профессором Птицыной Л. К., СПбГУТ.*

**УДК 608.3**

**А. В. Егоров, Д. И. Коньков** (старшие операторы научной роты,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**В. А. Зорин** (кандидат технических наук, доцент,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОДУЛИРОВАНИЯ OFDM-СИГНАЛОВ**

*OFDM (англ. Orthogonal frequency-division multiplexing – ортогональное частотное разделение каналов с мультиплексированием). Это схема модуляции, использующая множество несущих. Канал делится на несколько субканалов. В OFDM высокоскоростной поток данных конвертируется в несколько параллельных битовых потоков меньшей скорости, каждый из которых модулируется своей отдельной несущей. Все это множество несущих передается одновременно.*

*ортогональность, пропускная способность, модуляция.*

В основе формирования данных сигнала лежит фазовый метод, это модуляция с непрерывной фазой и с минимизацией сдвига по частоте. Алгоритм формирования и приема сигналов основан на использовании решетчатой структуры с минимальным сдвигом по частоте и производительного алгоритма спектрального преобразования в базисе быстрого преобразования Фурье [1].

Для формирования OFDM-сигналов используют решетчатую структуру. Она дает возможность принимать данные посимвольно, это и есть основа итеративного приема разряда эффективных помехоустойчивых кодов, для обеспечения достижения в каналах передачи предельных вероятностных характеристик пропускной способности [2].

При использовании технологии OFDM можно организовать стабильную передачу информации по нестационарным каналам с разницей времени распространения по минимальному и максимальному путям, которая обуславливает наличие частотно-селективных замираний сигналов и явлением межсимвольной интерференции, а также используя каналы с аддитивными канальными помехами [3].

Благодаря свойствам OFDM-сигналов их используют во множестве современных цифровых системах связи таких как IEEE 802.11 (WiFi), IEEE 802.16 (WiMax), DVB-SH (Спутниковое телевидение).

Одним из немногих недостатков OFDM-сигналов является большое значение пик-фактора, это приводит к дополнительными интермодуляционным помехам на выходе нелинейного передающего устройства. Так же есть про-

блема большое значение мощности внеполосных излучений с которой борются при помощи использования дополнительной совокупности парциальных сигналов.

OFDM-сигналы – это множество парциальных гармонических сигналов [4]; ортогональность на интервале времени определяется. Для того чтобы сигналы были ортогональны нужно обеспечить выбор частоты для двумерных сигналов.

Фазовая модуляция (*phase-shift keying*, PSK) предполагает изменение фазы несущего сигнала в зависимости от передаваемого символа. Каждому из символов модуляции соответствует одно значение фазы несущего сигнала. Простейшим примером такой модуляции является модуляция BPSK (*binary phase-shift keying*) – двоичная фазовая модуляция. Данный вид модуляции применяется достаточно широко благодаря высокой помехоустойчивости и простоте реализации модулятора и демодулятора. В системе DVB-S2X модуляция BPSK в сочетании с помехоустойчивым кодированием с большой избыточностью применяется для обеспечения помехоустойчивого приёма сигнала при очень малых отношениях сигнал/шум, до  $-9.9$  дБ при скорости помехоустойчивого кодирования  $1/5$ .

При модуляции BPSK каждый символ модуляции соответствует одному биту исходного цифрового потока, то есть скорость передачи символов равна скорости передачи бит:  $Br = Sr$ . Рассмотрим цифровой сигнал  $b(t)$  в виде последовательности импульсов (бит). Сигнал  $b(t)$  на рисунке называется униполярным, в нём информационному логическому нулю соответствует значение сигнала  $b(t) = 0$ , а сигнал  $b_0(t)$  – биполярным, в котором информационному логическому нулю соответствует значение сигнала  $b_0(t) = -1$ .

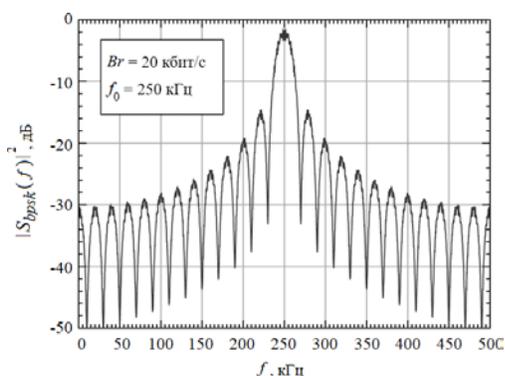


Рис. 1. Спектр сигнала BPSK

Спектр сигнала BPSK представляет собой перенесённый на несущую частоту спектр цифрового биполярного сигнала  $b_0(t)$ . На рис. 1 показан спектр сигнала BPSK при скорости передачи информации  $Br = 20$  кбит/с и несущей частоте  $f_0 = 250$  кГц. Спектр имеет основной лепесток, имеющий ширину, численно равную удвоенной скорости передачи информации  $2 \cdot Br$ , и медленно убывающие боковые лепестки, ширина которых численно равна скорости  $Br$ . Уровень максимального бокового лепестка равен минус 13 дБ.

При модуляции QPSK (*quadrature phase-shift keying*) – квадратурной фазовой модуляции – один символ модуляции несёт в себе два бита исходного информационного потока [2]. При этом символьная скорость равна половине

скорости битового информационного потока:  $Sr = Br/2$ . В отличие от модуляции BPSK, при которой квадратурная компонента  $Q(t)$  всегда равна нулю, в модуляции QPSK как синфазная, так и квадратурная компоненты принимают определённые значения, определяющие передаваемые биты информации.

Созвездие QPSK состоит из четырёх точек, характеризующихся определённым значением фазового угла, расположенных на одной окружности. Исходный цифровой поток разбивается на чётные и нечётные биты, в синфазном канале кодируются чётные биты, в квадратурном – нечётные. Два последовательно идущих бита информации кодируются одновременно синфазным  $I(t)$  и квадратурным  $Q(t)$  компонентами.

Информационный поток  $b_0(t)$  разбивается на пары бит, соответствующих одному символу модуляции и одной сигнальной точке созвездия QPSK. Если чётный бит (начиная с нулевого) равен 1, то  $I(t) > 0$  и наоборот.

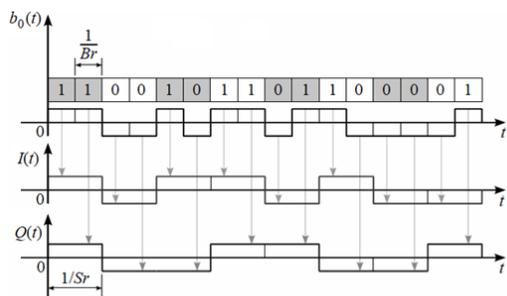


Рис. 2. Временные диаграммы формирования сигналов в синфазном и квадратурном каналах

представляют из себя соответственно действительную и мнимую части комплексной огибающей и являются сигналами квадратурного модулятора (рис. 2).

Аналогично формируется сигнал в квадратурном канале. Процесс формирования синфазной и квадратурной компонент называется мапированием. В зависимости от пары бит потока  $b_0(t)$  на входе устройства мапирования на выходе имеем постоянные на время длительности этой пары бит сигналы  $I(t)$  и  $Q(t)$ , значения которых зависят от передаваемой информации. Синфазная и квадратурная составляющие сигнала

#### Список использованных источников

1. Волков Л. Н., Немировский М. С., Шинаков Ю. С. Системы цифровой радиосвязи. Базовые методы и характеристики. М.: Эко-Трендз. 2005. 392 с.
2. Вишневецкий М. В., Ляхов А. И., Портной С. Л., Шахнович И. В. Широкополосные сети передачи. М.: Техносфера, 2005. 592 с.
3. Ахмед Н., Рао К. Р. Ортогональное преобразование цифровой обработки сигналов. 1980. 248 с.
4. Назаров Л. Е., Зудилин А. С. Алгоритмы компенсации сосредоточенных по спектру помех для сигналов с ортогональным частотным мультиплексированием. 2013. С. 45–51.

**УДК 519.688**

**А. В. Ершов** (начальник НИО-5 НИЦ,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**А. О. Цанян** (старший оператор научной роты,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

## **AUTOCAD СИСТЕМА ДЛЯ РАБОТЫ С ВЕКТОРНОЙ ГРАФИКОЙ**

*Система Autocad представляет из себя программный продукт для выполнения инженерных построений как при работе на плоскости, так и в объёме. С установленными обновлениями она позволяет делать чертежи для всего спектра инженерных задач.*

*autocad, 3d – моделирование, векторная и растровая графика.*

Система AutoCAD разработана американской фирмой Autodesk в начале 80-х годов и была первоначально ориентирована на существовавшие в то время персональные компьютеры (PC XT, PC AT без сопроцессора и т. п.). Уже эти, по нынешним меркам слабые, версии вызвали интерес у конструкторов и чертежников, желавших автоматизировать свой труд хотя бы в части рисования на листе бумаги.

Широкое распространение системы в России началось с десятой версии, которая работала в операционной системе MS DOS, существовала, как в английском, так и русском вариантах (как, впрочем, и в других национальных модификациях). Эта версия была уже достаточно развита, поскольку команды можно было вводить из командной строки или экранных, падающих и графических меню [1].

Одиннадцатая версия прошла сравнительно незаметно. Следующей популярной в России версией стала двенадцатая, которая обладала диалоговыми окнами даже в варианте для MS DOS (вариант для Windows 3.1 и Windows 95 тоже существовал, но не переводился на русский язык). В ней было появившееся еще в 11-й версии "пространство листа", окончательно утвердившее AutoCAD как пространственную графическую систему, в которой, построив трехмерный объект, можно было вывести его виды (проекции) в расположенные на поле листа окна (видовые экраны) в необходимом масштабе.

Тринадцатая версия существовала сразу в двух вариантах (для MS DOS и Windows 95), причем на стадии инсталляции (установки на компьютер) можно было выбрать один вариант системы или установить сразу оба. Четырнадцатая версия, вобрав в себя новшества тринадцатой, была сделана

более компактной и быстрой, чем предыдущая. Она была рассчитана только на операционную систему Windows (*Windows 95* или *Windows NT*), поскольку эта система де-факто уже стала общеиспользуемой и устанавливалась на все новые персональные компьютеры.

В 1999 году началось внедрение 15-й версии, которой, отдавая дань моде, присвоили номер 2000. Эта версия стала очередным шагом вперед, как в простом двумерном рисовании, так и в трехмерном моделировании. Заметные изменения претерпели средства управления выводом на плоттер (графопостроитель) и принтер (устройство печати).

Первые варианты системы содержали в основном инструменты для простого двумерного рисования, которые постепенно, от версии к версии, дополнялись и развивались. В результате AutoCAD стал очень удобным "электронным кульманом". Ниже приведен пример чертежа, сделанного простыми средствами системы.

Большим преимуществом такого средства рисования является возможность формирования электронного архива чертежей. Каждый из созданных в системе AutoCAD чертежей легко редактируется, что позволяет быстро разрабатывать чертежи-аналоги по чертежам-прототипам. Для облегчения процесса выпуска чертежной документации можно разрабатывать "библиотеки стандартных элементов". Эта идея стала хорошим стимулом для создания на базе системы локальных рабочих мест по различным конструкторским, архитектурным и другим направлениям, а также для разработки новых специализированных систем [2].

Десятая версия позволяла выполнить достаточно сложные трехмерные построения в любой плоскости пространства и отобразить их на разных видовых экранах с различных точек зрения. Поэтому она уже была инструментом трехмерного (и тем более двумерного) моделирования.

Двенадцатая версия стала переломной. Она позволила работать с расширенной памятью, ввела диалоговые окна, а через появившийся в 11-й версии механизм пространства листа и видовых экранов дала возможность получать чертеж с проекциями трехмерного объекта или сооружения. В AutoCAD 2000 эта идея получила дальнейшее развитие: по одной модели можно получать несколько листов чертежа.

Таким образом, система AutoCAD 2000 предназначена не только для черчения, но и для формирования трехмерных моделей. Здесь приведем пример, отображающий проекции трехмерного объекта.

Формируйте окружающий вас мир, разрабатывайте проекты и выпускайте документацию с помощью AutoCAD® – лидера в области систем автоматизированного проектирования. У вас есть все возможности ускорить выпуск документации, обмениваться идеями с коллегами,

исследовать проектные идеи в интуитивной 3D среде, а также адаптировать продукт для решения ваших конкретных задач. Пришло время разрабатывать проекты с учетом современных требований.

### **Реализация самых смелых идей**

Для эффективного проектирования необходимо быстрое и наглядное представление Ваших идей. Возможности трехмерного моделирования AutoCAD® позволяют придавать вашим замыслам форму, развивать и визуализировать их [2].

### **Создание произвольных форм**

Теперь вы можете воплощать любые идеи проекта, дав волю творческой мысли. Для создания сложных форм просто перемещайте грани, ребра и вершины.

### **Создание и редактирование 3D моделей тел и поверхностей**

Трехмерные модели создаются точно так же, как двумерные чертежи. Вы легко освоите рабочие инструменты для создания объемных тел и поверхностей, так как большинство инструментов уже знакомы еще по 2D моделированию.

### **Создание фотореалистичных изображений**

В вашем распоряжении более 300 материалов, средства фотометрического освещения и управления изображением.

### **3D навигация**

Используя мышь можно выполнить обход и облет модели. Для поворота и задания ориентации объектов и поверхностей предназначен видовой куб (Autodesk® ViewCube®), а для панорамирования, центрирования и зумирования изображения – штурвал (Autodesk® SteeringWheels®).

### **Выпуск рабочей документации**

Эффективные средства выпуска документации в AutoCAD охватывают все этапы работы над проектом – от первоначальных эскизов до завершающей стадии. Средства автоматизации, управления данными и редактирования сводят к минимуму число повторяющихся задач и экономят время.

## **Снижение затрат времени благодаря параметрическим чертежам**

Параметрические чертежи позволяют значительно сократить время проверки проектов. Существует возможность задания зависимостей между объектами – например, параллельные линии автоматически остаются параллельными, а концентрические окружности всегда имеют общий центр.

## **Работа с таблицами**

При помощи функций AutoCAD можно автоматизировать кропотливые процессы создания и редактирования таблиц. Путем установки соответствующего стиля таблиц одновременно задаются шрифт, цвет, границы и другие свойства [1].

## **Извлечение данных**

Мастер извлечения данных позволяет быстро извлекать данные из объектов чертежей (включая блоки и атрибуты). Затем эти данные можно автоматически выводить в таблицы или внешние файлы.

## **Связь данных Excel с чертежами AutoCAD**

При установлении связи между таблицей Excel и чертежом AutoCAD обеспечивается двунаправленное обновление данных. Это избавляет от необходимости отдельно редактировать таблицы. Вся информация автоматически синхронизируется.

## **Динамические блоки**

Использование готовых элементов существенно экономит время. Динамические блоки избавляют пользователей от необходимости перечерчивать повторяющиеся стандартные компоненты и поддерживать громоздкие библиотеки блоков. В них есть возможность редактирования отдельных объектов, благодаря чему отпадает необходимость в создании нового блока, если форма или размеры слегка изменились.

## **Управление слоями**

Создание и редактирование свойств слоев теперь выполняется быстрее и с меньшим количеством ошибок. Изменения, внесенные в диалоговом окне работы со слоями, сразу же становятся видны на чертеже.

## **Динамические подсказки и меню**

Сосредоточьтесь на работе, а не на инструментах. При динамическом вводе запросы командной строки отображаются возле курсора, так что вы можете запускать команды, просматривать размеры и вводить значения, не отвлекаясь на командную строку. Меню быстрых свойств позволяет просматривать и изменять требуемые свойства объектов, просто наводя на них курсор.

## **Удобный пользовательский интерфейс**

Теперь стало гораздо удобнее работать с несколькими файлами одновременно. Функция быстрого просмотра оперирует не только именами файлов, но и их образцами. Она упрощает поиск и открытие нужного файла на нужной вкладке. В новом браузер-меню вы можете перемещаться по файлам, рассматривать их образцы, получать информацию о размерах файлов и их авторах [4].

## **Быстрый и удобный обмен данными**

Оцените преимущества AutoCAD при обмене важными проектными данными. Этот процесс является эффективным, надежным и безопасным благодаря формату DWG™, широко используемому во всем мире. Воплощение идей обеспечивается средствами визуализации и подготовки графики презентационного качества, а также благодаря мощным возможностям печати на бумаге и создания макетов на 3D принтерах [3].

## **Формат DWG для хранения и обмена файлами**

DWG-технология – это изобретение компании Autodesk для хранения информации и безопасного обмена ей между проектировщиками.

## **Публикация PDF-файлов из AutoCAD**

AutoCAD постоянно обновляется, и процесс обмена проектными данными становится все более удобным. Появляются новые возможности для многократного использования имеющихся наработок. Можно публиковать PDF-файлы непосредственно из чертежей AutoCAD, использовать их в качестве подложки и выполнять привязку к объектам в них.

## **Создание презентационной графики с помощью Autodesk Impression 3**

Добавьте выразительности презентационным материалам проекта, придав им вид изображений, выполненных от руки. Autodesk® Impression

позволяет создавать впечатляющую презентационную графику из файлов DWG и DWF (только для подписчиков Autodesk).

### **Фотореалистичная визуализация 3D моделей**

Скользящий маркер отображает соотношение между временем работы и качеством визуализации.

### **3D печать моделей AutoCAD**

Вы можете не просто визуализировать проекты, а воплощать их в реальность. Физические макеты проектов создаются путем вывода на 3D принтер (собственный или принадлежащий специализированной компании, оказывающей услуги 3D печати).

### **Анимация камеры по технологии ShowMotion**

Технология ShowMotion® обеспечивает навигацию по проекту при помощи средств анимации камеры. Панель управления ShowMotion отображает значки категорий видов, а также сохраненные виды в чертеже.

### **Запись операций**

Новая функция записи действий повышает скорость работы и производительность, автоматизируя часто выполняемые задачи без необходимости привлечения опытных специалистов по САПР. Пользователи могут записывать последовательности действий, добавлять текстовые сообщения и запросы ввода, а затем быстро выбирать и воспроизводить записанные файлы [3].

Разработчики AutoCAD 2011 уделили особое внимание увеличению производительности труда при создании чертежей. Актуальная версия программы включает множество новых возможностей, призванных помочь конструкторам всесторонне анализировать их идеи и увеличивать производительность, как, например, моделирование поверхностей и прозрачности объектов и слоев. AutoCAD 2011 сертифицирована для работы на Windows 7 и поддерживается в том числе операционными системами Windows 7 Home Premium, Professional, Enterprise и Ultimate, а также Windows Vista и Windows XP. Ключевые новшества:

- новые функции моделирования поверхностей позволяют легко создавать гладкие поверхности, а также переходы одного типа покрытия в другое, при этом сохраняются ассоциативные связи между всеми объектами;

- поддержка работы с облаками точек (до 2 млн точек) дает возможность пользователям быстро визуализировать отсканированные объекты прямо в рабочем пространстве модели;
- функция «заданные ограничения» позволяет конструктору задавать необходимые ограничения в процессе создания чертежа;
- дополнения в команде «штриховка», том числе градиентные штриховки, дают возможность использовать в чертежах большее количество цветов и штриховок и повышают эффективность черчения в целом;
- инструменты для экономии времени, ранее предоставляемые только по программе Подписки Autodesk, теперь доступны всем пользователям [4].

#### Список использованных источников

1. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/AutoCAD>
2. URL: <https://forums.autodesk.com/t5/russkiy/ct-p/5056>
3. URL: <https://www.pointcad.ru/product/autocad>
4. URL: <https://www.autodesk.ru/products/autocad>

*Статья представлена научным руководителем,  
доктором технических наук, профессором Паращюком И. Б.,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного.*

#### УДК 004.42

**М. С. Коткина** (студентка, СПбГУТ)

**М. В. Котлова** (старший преподаватель, СПбГУТ)

### **ИНТЕГРАЦИЯ СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ**

*Рассмотрены подходы к построению сервис-ориентированных информационных систем сопровождения бизнес-процессов производственного предприятия. Проведено моделирование основных бизнес-процессов производства при реализации выпускаемой продукции. Рассмотрены технологии разработки сервис-ориентированных информационных систем. Предложена программная реализация сервис-ориентированной информационной системы. Сформирован алгоритм автоматизации тестирования работоспособности разработанной сервис-ориентированной информационной системы.*

сервис-ориентированная архитектура, информационная система, моделирование бизнес-процессов, разработка информационной системы, личный кабинет, уровень доступа.

В результате стремительного развития компании «Царство стекла», которая занимается разработкой и проектированием изделий, 3D визуализацией, изготовлением и монтажом конструкций внутреннего и внешнего интерьера, проявилась объективная необходимость создания информационной системы для сопровождения сопутствующего бизнес-процесса.

Прием заказов, согласование проектов и консультации фиксируются и оформляются вручную, поэтому необходима разработка системы с интеграцией на сайт компании, позволяющая упростить работу сотрудникам организации. Целью подобной системы является осуществление связи между клиентами и компанией.

В ходе проектирования информационной системы выявлены два основных бизнес-процесса компании при реализации выпускаемой продукции, которые могут быть автоматизированы с помощью разрабатываемого веб-приложения, а именно: оформление заказа клиентом через личный кабинет и обработка заказа администратором (рис. 1) [1].

При разработке информационной системы выбраны следующие технологии: HTML, CSS, PHP и JavaScript, хостинг «000Webhost», СУБД-приложение «phpMyAdmin» и протокол SOAP.

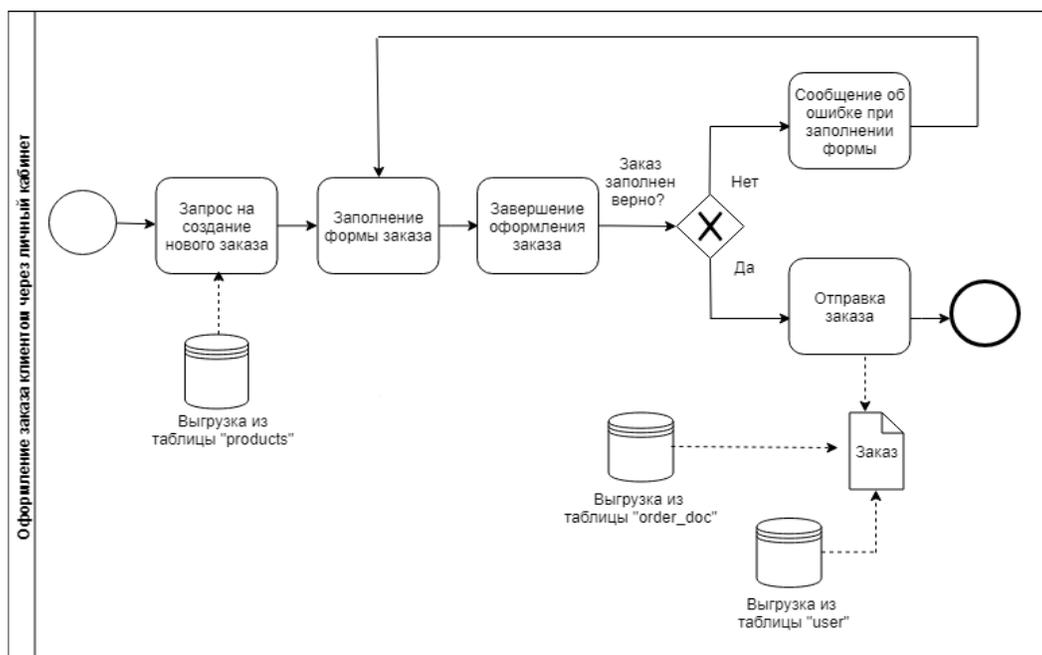


Рис. 1. Диаграмма «Оформление заказа клиентом через личный кабинет»

Рассмотрим функционал информационной системы. При загрузке главной страницы пользователь видит приветствие и фиксированную шапку информационной системы, которая оснащена выпадающим меню и иконкой регистрации пользователя или входа в личный кабинет (рис. 2). Выпадающее меню содержит разделы: «Услуги», «Изделия», «Калькулятор», «О нас» и «Контакты». Данные разделы доступны на всех стадиях работы с веб-приложением, как авторизованным, так и неавторизованным пользователям.

На странице «Контакты» представляется форма обратной связи, которая доступна неавторизованным пользователям для решения вопросов, связанных с оформлением заявки на звонок или ответа на электронное письмо.

Веб-приложение подразумевает пользование личным кабинетом для доступа к расширенному функционалу системы. Для получения доступа реализована форма регистрации пользователя в информационной системе и входа в личный кабинет [2].

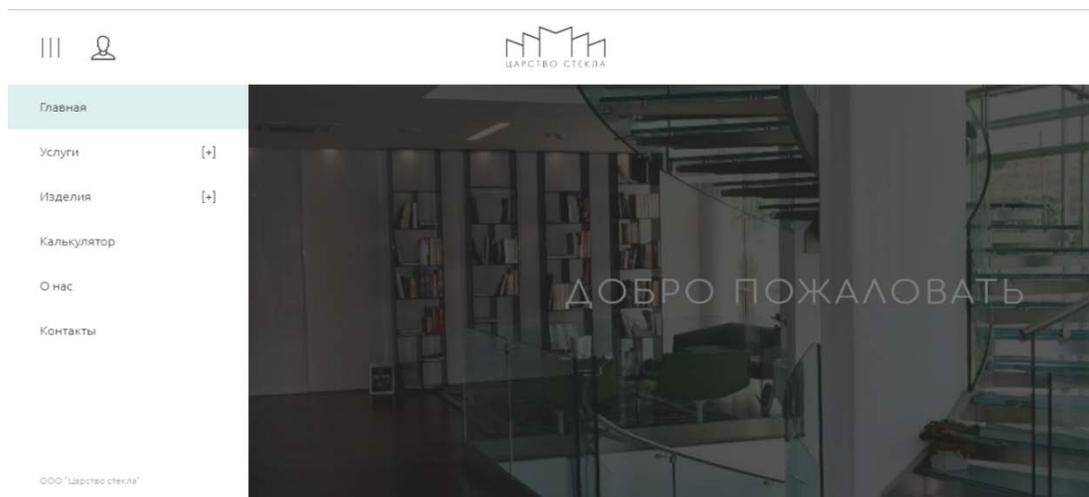


Рис. 2. Стартовая страница информационной системы

Информационная система предоставляет зарегистрированному клиенту возможность оформления заказа, с последующим просмотром полного пакета сопровождающей документации. Возможность отслеживания этапов работы заказа в любое время с любого устройства является одним из признаков надежности и открытости компании (рис. 3). Набор отображаемых полей изменяется динамически в зависимости от выбранного типа изделия. После подтверждения формы происходит генерация и отправка подтверждающей документации на электронный адрес заказчика и компании «Царство стекла» [3].

Ваш заказ

Изделие: Лестница

Тип лестницы: Маршевая

Высота лестницы, см

Ширина лестницы, см

Ширина марша, см

Высота подступенка, см

Материал ступеней:

Металл  Стекло  Дерево  Пластмасса

Материал подступенка:

Металл  Стекло  Дерево  Пластмасса  Без подступенка

Опора для ступеней: Тетивы

Тип ограждения:

Ригели  Ковка  Ажурная ковка  Деревянные столбы

Стекло со стойками  Стекло без стоек  Без ограждения

Отправить заказ

Рис. 3. Оформление нового заказа клиентом

Эксперимент по тестированию системы планировался таким образом, чтобы каждая форма и каждая функция подвергалась ошибочному вводу данных, позволяя проверить работоспособность операций в системе, нацеленных на выявление ошибочной информации и препятствующих сохранению нелегитимных данных в базе данных информационной системы.

В настоящее время сервис-ориентированная информационная система внедрена в деятельность компании, однако необходимо рассмотреть возможность её дальнейшей модернизации. В перспективах развития предлагаемого решения возможно формирование интеллектуальной сервис-ориентированной системы с гарантиями качества выполнения профессиональной деятельности в среде разработки сервис-ориентированных информационных систем.

В контексте программы цифровой экономики актуализируется сквозная связанность технологических решений для сопровождения профессиональной деятельности, поэтому для сервис-ориентированной системы, предложенной для компании ООО «Царство стекла», разработан комплекс технологической поддержки разработки, включающий сопровождение процесса реализации выпускаемой продукции на каждом этапе.

#### Список использованных источников

1. Коткина М. С., Котлова М. В. Проектирование информационной системы для компании «Царство стекла» // 71-я региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Студенческая весна – 2017»: сб. науч. ст. в 2-х т. / Под ред. К.В. Дукельского. Т. 2. СПб.: СПбГУТ, 2017. С. 146–150.

2. Зандстра М. РНР: объекты, шаблоны и методики программирования. 3-е изд. М.: Вильямс, 2010. 560 с.

3. Стандарты для веб-сервисов SOAP, WSDL, UDDI. URL: <http://www.nestor.minsk.by/sr/2007/04/sr70408.html>.

*Статья представлена научным руководителем,  
доктором технических наук, профессором Птицыной Л. К., СПбГУТ.*

**УДК 621.397.13**

**М. В. Котлова** (старший преподаватель кафедры, СПбГУТ)  
**И. С. Кучеренко** (студентка, СПбГУТ)

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ЧАСТНОГО ДОМА НА БАЗЕ ОБОРУДОВАНИЯ D-LINK**

*Информационная система видеонаблюдения в частном доме рассмотрена как часть системы безопасности. Представлены основные программные средства, способствующие автоматизации этапов в процессе планирования системы видеонаблюдения. Предложен план размещения будущей видеосистемы с применением программных средств на базе оборудования D-Link и планировок этажей частного дома*

*информационная система видеонаблюдения, оборудование D-Link, IP-видеонаблюдение, аппаратное обеспечение, программное обеспечение.*

Повышение компьютерной грамотности и внедрение информатизации процессов деятельности ежегодно продвигает человечество к новым открытиям и достижениям в мире современной электроники. Меняются критерии выбора, акцентируется внимание на усовершенствованных и новых технологиях, повышается спрос на обновленное оборудование систем видеонаблюдения. Организация системы видеонаблюдения становится неотъемлемой частью обеспечения безопасности жизни современного человека и принадлежащего ему имущества. Видеосистема частного дома используется в роли дополнительного компонента проектируемой системы информационного обеспечения жилого помещения. С развитием информационных технологий выбор мультимедийных устройств пополняется новыми техническими возможностями.

При проектировании системы видеонаблюдения для частного дома, в первую очередь, необходимо понимание общей картины охраняемой в будущем территории с участками, нуждающимися в обязательном попадании

в поле зрения объектива камеры. После выбора подконтрольных зон охраняемой территории необходимо определить решаемый системой видеонаблюдения круг задач. К основным задачам относятся внутреннее наблюдение, контроль отдельных зон в период отсутствия хозяев дома, наблюдение за ребенком, если детская находится на другом этаже частного дома; наблюдение за территорией, а значит, установка уличных камер с покрытием конкретных участков, антивандальной защитой, кожухами для обеспечения правильной эксплуатации в определенных погодных условиях, инфракрасным датчиком и датчиком движения.

IP-видеонаблюдение является прообразом цифровой видеосистемы, базирующейся на применении самостоятельных сетевых устройств, передача данных по которой осуществляется с использованием общепринятых сетевых протоколов. D-Link входит в число лучших производителей сетевого оборудования российского рынка информационных технологий потребительского класса и устройств для «умного дома» и стала самой упоминаемой компанией по итогам 2016 и 2017 года [1]. Мультимедийная линейка данной компании располагает всем необходимым для создания информационной системы видеонаблюдения оборудованием, от внутренних и внешних IP-камер с сопутствующими и необходимыми аксессуарами до оборудования для организации сети и обеспечения удобного наблюдения и хранения видеoinформации как с программной, так и аппаратной составляющей. Предоставляемое производителем прикладное программное обеспечение для управления и удаленного доступа к создаваемой или уже созданной информационной видеосистеме благоприятно сказывается на освоении и дальнейшей эксплуатации системы пользователем.

В процессе проектирования системы и оценки необходимости перепланировки локальной сети дома с целью создания рационального варианта организации кабельной системы требуется произвести расчеты и наглядно представить схемы размещения устройств системы видеомониторинга.

Профессиональный планировщик D-Link Surveillance Floor является специализированным онлайн-инструментом, предоставляющим возможность создания макетов размещения предполагаемых при дальнейшем использовании IP-камер с учетом заложенных в них характеристик и конструктивных особенностей [2]. Визуализация будущего плана и создание эскиза возможной информационной системы снижает риски приобретения неподходящего по условиям размещения оборудования, позволяет предусмотреть благодаря расширенному функционалу возможность ликвидации слепых зон и выбора лучшей установки каждого устройства. Отчетность данного программного обеспечения представляет собой готовые схемы расположения оборудования в соответствии с внесенной в начале работы планировкой дома с последую-

щим выделением диапазонов попадающего в обзор камеры участка помещения. Указанное программное обеспечение поддерживает сохранение точных данных о высоте и наклоне размещения камеры, введенные в процессе настройки просматриваемых зон, и список использованных сетевых устройств на выбранном пользователем макете (рис. 1).



Рис. 1. Пример проекта 1 этажа частного дома с выбором расположения камер D-Link

клиентам через сеть интернет (рис. 2) [3].

На этапе планирования необходимо учитывать дальнейшее развитие и особенности функционирования системы видеонаблюдения. На следующих этапах потребуются информация о занимаемом видеонаблюдением объеме памяти для выбора устройства хранения данных и необходимости проверки функционирования сети в целом. Данную функцию предоставляет дополнительное программное обеспечение D-Link «Bandwidth & Storage Calculator PRO», доступное

ЧД1 - ЧД1										
Total Camera(s) : 5    Store Day(s) : 14    Total Bandwidth : 51.25Mbps    Total Capacity : 3.89TB										
Name	Model	Scenario	Resolution	FPS	Encoding	Quality	Audio	Bandwidth	Period (per day)	Event
Camera01	DCS-4602EV	Normal Outdoor	1280x720	30	H.264	Excellent	None	13.83Mbps	24h	50%
Camera02	DCS-4602EV	Normal Outdoor	1280x720	30	H.264	Excellent	None	13.83Mbps	24h	50%

Рис. 2. Пример расчета для двух внешних камер

Программный продукт D-ViewCam DCS-100 является универсальным программным обеспечением обслуживания системы видеонаблюдения, позволяющим организовать централизованное управление созданной информационной системой и передачу видеоданных в реальном времени сетевых камер в количестве до 32 штук. Для организации мониторинга подключаемых устройств интегрируемые камеры представляются в виде древовидной структуры. Дополнительный функционал, заложенный производителем во входящие в создаваемую систему устройства, в виде автоматического патрулирования, управления фокусировкой, поворотом и увеличением наблюдаемого изображения обеспечивает рациональное управление системой видеонаблюдения. В ситуациях, в ходе которых не требуется круглосуточное наблюдение, незаменимым помощником станет использование возможности записи видео по расписанию или по срабатыванию датчиков движения или звука, встроенных в сетевые камеры системы (рис. 3).

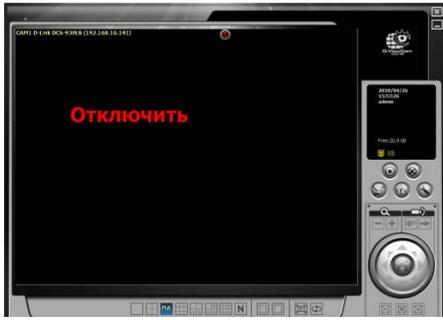


Рис. 3. Процесс подключения к камере DCS-930LB в D-ViewCam

Полезность от создаваемой системы видеонаблюдения была бы переоценена, если бы в процессе ее эксплуатации у администратора системы не было возможности своевременно реагировать на незаконное проникновение на охраняемую территорию. Обеспечение расширенных возможностей защиты и наблюдения реализуется благодаря отправке оповещений после срабатывания детекторов движения, открытия дверей, дыма и иных средств ввода-вывода, встроенных в камеры или подключенных к ним дополнительно. Уведомления будут отправлены либо на электронную почту, либо на мобильное приложение администратора. Получение удаленного доступа к камерам может быть организовано через мобильное приложение, ориентированное на работу с камерами D-Link – D-ViewCam Mobile. Удаленный доступ и администрирование доступно также через сервис Mydlink и сопутствующие приложения mydlink Home, mydlink Lite, mydlink Baby Camera для моделей DCS-700L и DCS-825L и OMNA для камер, поддерживающих работу в составе систем умного дома Apple HomeKit.

В результате применения данных программных средств и изучения модельного ряда оборудования D-Link в проект информационной системы видеонаблюдения для частного дома в качестве аппаратной составляющей выбраны камеры DCS-1201 в количестве двух штук для размещения внутри дома и 3 DCS-4602EV для внешнего расположения, коммутаторы DGS-1210-26 и DGS-1100-24P/ME, видеорегистратор DNR-326.

С применением программного обеспечения получены следующие данные для дальнейшей работы:

- планировки 1 и 2 этажа частного дома с установкой моделей выбранных камер (рис. 4);
- отчет по оцениванию пропускной способности и предполагаемого объема получаемых с камер видеоданных в процессе работы на протяжении двух недель (рис. 5).



Рис. 4. Планировки 1 и 2 этажа частного дома с размещением камер

ЧД1 - ЧД1		Total Camera(s) : 5	Store Day(s) : 14	Total Bandwidth : 51.25Mbps	Total Capacity : 3.89TB				
Name	Model	Scenario	Resolution	FPS	Encoding	Quality	Audio	Bandwidth (per day)	Event
Camera01	DCS-4602EV	Normal Outdoor	1280x720	30	H.264	Excellent	None	13.83Mbps 24h	50%
Camera02	DCS-4602EV	Normal Outdoor	1280x720	30	H.264	Excellent	None	13.83Mbps 24h	50%
Camera03	DCS-4602EV	Normal Outdoor	1280x720	30	H.264	Excellent	None	13.83Mbps 24h	50%
Camera04	DCS-1201	Normal Indoor	1280x720	15	H.264	Excellent	None	4.88Mbps 24h	50%
Camera05	DCS-1201	Normal Indoor	1280x720	15	H.264	Excellent	None	4.88Mbps 24h	50%

Рис. 5. Оценивание пропускной способности и необходимого дискового пространства системы частного дома

### Список использованных источников

1. D-Link. URL: <http://www.dlink.ru/>.
2. Планировщик систем видеонаблюдения Surveillance Floor Planner PRO // Центр проектирования сетей D-Link. URL: <http://dlink.ru/tools/sfp/#access>.
3. Калькулятор Bandwidth & Storage Calculator PRO (BSC) // Центр проектирования сетей D-Link. URL: <http://dlink.ru/tools/bsc/#access>.

*Статья представлена научным руководителем,  
доктором технических наук, профессором Птицыной Л. К., СПбГУТ.*

УДК 004.82

**М. В. Котлова** (старший преподаватель, СПбГУТ)

**З. В. Таймазова** (студентка, СПбГУТ)

## **АНАЛИЗ СИСТЕМ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОТРУДНИКОВ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ СРЕДЕ**

*Описаны основные оценочные критерии эффективности работы сотрудников. Проанализированы системы сопровождения бизнес-процесса и определены компоненты информационных систем повышения эффективности работы сотрудников в профессиональной среде. Представлена система учета работы сотрудников архитектурного предприятия. Предложен математический аппарат для расчета рейтинга работников.*

*информационные системы, проектирование, архитектурное бюро, эффективность работы, проектный менеджмент.*

В современном обществе каждая организация использует программное обеспечение, связанное с контролем работы сотрудников: управление проектами, отслеживание рабочего времени или аутентификацию в начале и в конце рабочего дня для уведомления начальства о проделанной эффективной работе.

На основе сравнительного анализа популярных систем проектного менеджмента предложен индивидуально разработанный продукт для архитектурно-строительной фирмы «Стиль».

Основными критериями эффективности сотрудников являются [1]:

- количество нормативной работы;
- количество сверхнормативной выработки;
- дополнительные задачи от начальства;
- отсутствие жалоб заказчиков;
- безошибочность;
- выполнение работы в срок.

Для контроля этих оценочных параметров используются системы управления проектами.

В данной статье анализируются платформы управления проектами, использующиеся для повышения конкурентоспособности на рынке, снижения временных затрат сотрудников, уменьшения бессмысленных трат бюджета. Благодаря подобному приложению компания получает большую прибыль, новых клиентов и более интересные задачи.

Рассмотрим предлагаемые системы проектного менеджмента.

Надежное комплексное решение «Wrike» для управления проектами, которое обеспечивает практическое сотрудничество. Система приводит к высоким результатам за счет гибкости управления несколькими командами и проектами с помощью одного инструмента. Данное решение дает полное представление о всей картине, система разбивает большие цели на управляемые единицы (папки, задачи и подзадачи). Это позволяет легко анализировать индивидуальный вклад каждого сотрудника и прогресс проекта. Формы запросов и автоматизация, редактирование в реальном времени и управление файлами упрощают работу с проектом.

Программное обеспечение Monday.com нацелено на компании любых масштабов. Оно упрощает работу команд путем управления рабочими нагрузками и улучшением коммуникации внутри коллектива. Эта система помогает в управлении графиками и планами, используя визуальную шкалу времени для просмотра ее сотрудниками.

Проектные компании, которые ищут обеспечение для управления проектами, адаптирующееся к потребностям бизнеса, могут остановить свой выбор на Genius. В данном программном обеспечении присутствует возможность выбирать между локальными или облачными серверами. Внутренние конфигурации предназначены для адаптации рабочих процессов, информационных панелей, ярлыков, диаграмм и ключевых слов.

Главный минус, объединяющий системы, – отсутствие приемлемых и достойных бесплатных версий информационных решений управления проектами. Планируемая разрабатываемая платформа будет являться специальной управляющей системой для конкретной архитектурно-строительной компании «Стиль». Для данной организации не представляется возможным единовременное приобретение или ежемесячная трата еще одного продукта для внутренней системы компании. Именно по этой причине целесообразно проектирование индивидуального информационного решения управления проектами для фирмы «Стиль».

Оптимизация бизнес-процессов в жилищном строительстве может быть достигнута за счет обеспечения необходимого и достаточного уровня развития физической ИТ-инфраструктуры компании, разработки и внедрения принципов эффективной управленческой ИТ-инфраструктуры, интегрированного программного сопровождения на всех этапах управленческого процесса и реализации политики информационной открытости между участниками цепи поставок (рис.).

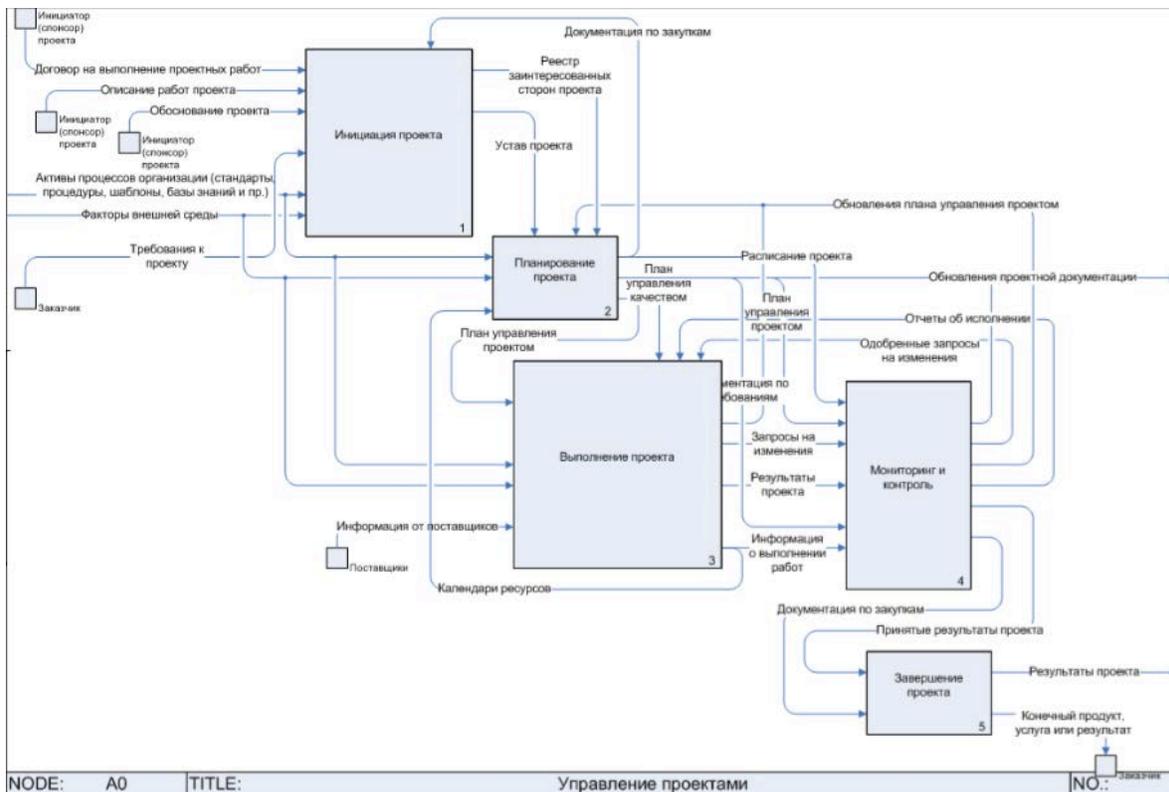


Рисунок. Бизнес-процесс ведения проекта в нотации IDEF0

В первую очередь, нужно создать систему управления проектами. Технология управления проектами обеспечивает скорость выполнения конкретных задач, снижает расчетную стоимость заказа, объединяет знания и усилия сотрудников компании благодаря совместной работе над одним делом [2].

Управление сеансом и учетные записи пользователей обычно являются неотъемлемой частью информационной системы управления проектами. Роли могут быть созданы и назначены администратором веб-приложения. Пользователям назначаются роли, обеспечивая им разрешения, включенные в эти роли. Например, администратор может создать роль «Разработчик», назначив разрешение на редактирование его личных проектов для этой роли, вместо того, чтобы предоставлять эту роль соответствующим учетным записям пользователей.

Проект состоит из четырех пользовательских ролей: администратора, менеджера, разработчика и клиента. Различные роли могут быть назначены различным учетным записям пользователей, и каждый из них имеет доступ к различным разделам информационной системы. Пользователь с ролью администратора имеет доступ ко всем разделам, тогда как редактор может изменять существующие страницы проектов. Все пользователи могут изменять собственный профиль в личном кабинете.

Таким образом, руководство получает полную отчетность по каждому проекту и сотруднику и может обоснованно регулировать дальнейшие премиальные выплаты, влияющие на эффективность работы сотрудников.

#### Список использованных источников

1. Керцнер Г. Стратегическое планирование для управления проектами с использованием модели зрелости: учебное пособие / авт.-сост. Г. Керцнер. М.: АйТи, 2010. 283 с.
2. Артемов М. А., Барановский Е. С. Разработка сервис-ориентированных приложений // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 11-3. С. 479–480.

*Статья представлена научным руководителем доктором технических наук, профессором Птицыной Л. К., СПбГУТ.*

**УДК 004.5, 004.8**

**Д. В. Литвинов** (студент, СПбГУТ)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ**

*Развитие технологий и появление новых требований к разработке информационных систем приводит к усложнению интерфейсов, связанному не только с увеличением набора функций информационных систем, но и с различными изменяющимися условиями их эксплуатации. В данной работе рассмотрены концепции расширяемости инструментария для проектирования и реализации пользовательского интерфейса в рамках онтологического подхода. Представлен анализ онтологического подхода к автоматизации проектирования пользовательского интерфейса. Предложена методология генерации программного кода пользовательского интерфейса по его проекту.*

*пользовательский интерфейс, онтология предметной области, RDF-модель, SPARQL.*

Разработка пользовательского интерфейса (ПИ) является трудоемкой задачей. По подсчетам различных специалистов, в среднем она занимает не менее половины времени разработки программного продукта. Для снижения трудоемкости разработки и сопровождения ПИ в настоящее время существуют различные средства автоматизации проектирования и реализации: построители WIMP-интерфейсов, моделиориентированные средства и средства, основанные на онтологическом подходе [1].

Определение интерфейса в рамках онтологического подхода предполагает наличие только той информации, которая может измениться в жизненном цикле информационной системы. Разработчики приложений используют эти знания для создания подходящих интерфейсов для представления данных: разумный набор данных, группирование и последовательность элементов ввода, отображение/скрытие разделов или навигация между страницами. Это знание неявно используется разработчиком и основано на его опыте или других правилах, которые являются неявным знанием. Основная идея данного подхода – включить эти семантические знания в модель, ориентированную на данные, вместе с обработанными данными приложения.

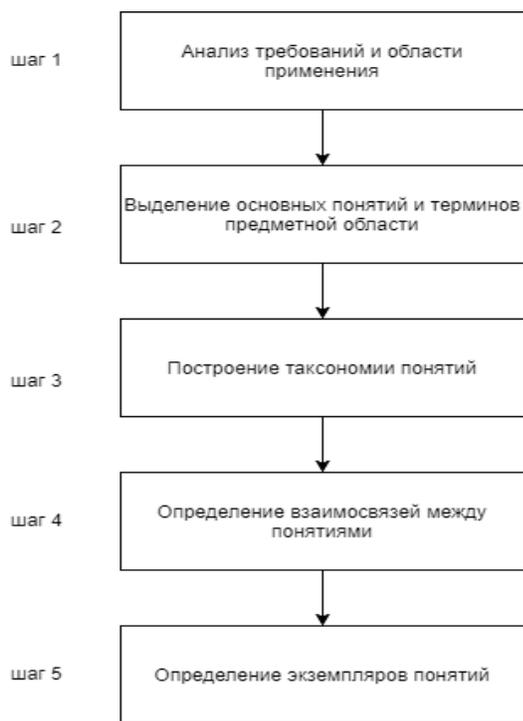


Рис. 1. Обобщенный алгоритм построения онтологий

какие данные доступны во время разработки. Данные обычно загружаются в объект `EasyRdf\Graph` из исходных RDF-документов, загружаемых из Интернета через HTTP. Класс `EasyRdf\GraphStore` упрощает загрузку и сохранение данных, а также дальнейшую работу с использованием SPARQL. Пример показан на рис. 3.

Такой подход позволяет изменять компоненты без модификации кода, однако, если модифицирование инструментария требует изменение кода интерфейса, то разработчик может работать с моделью генерации кода, которая описывает соответствия между алгоритмами бизнес-логики и компонентами модели интерфейса. Методология генерации онтологии представлена на рис. 1. Структура онтологии в общем виде [2] показана на рис. 2.

Разработка программного комплекса может быть проведена с помощью библиотеки `EasyRdf` [3]. `EasyRdf` – это PHP-библиотека, предназначенная для упрощения работы с RDF файлами. После разбора `EasyRdf` создает граф объектов PHP, который затем можно найти, чтобы разместить данные на странице. Имеются методы дампа, позволяющие проверить,

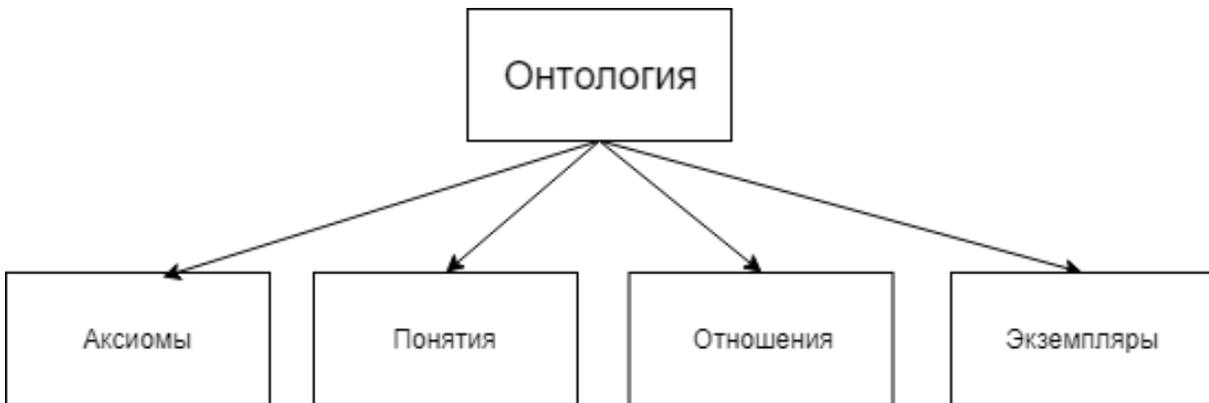


Рис. 2. Структура онтологии в общем виде

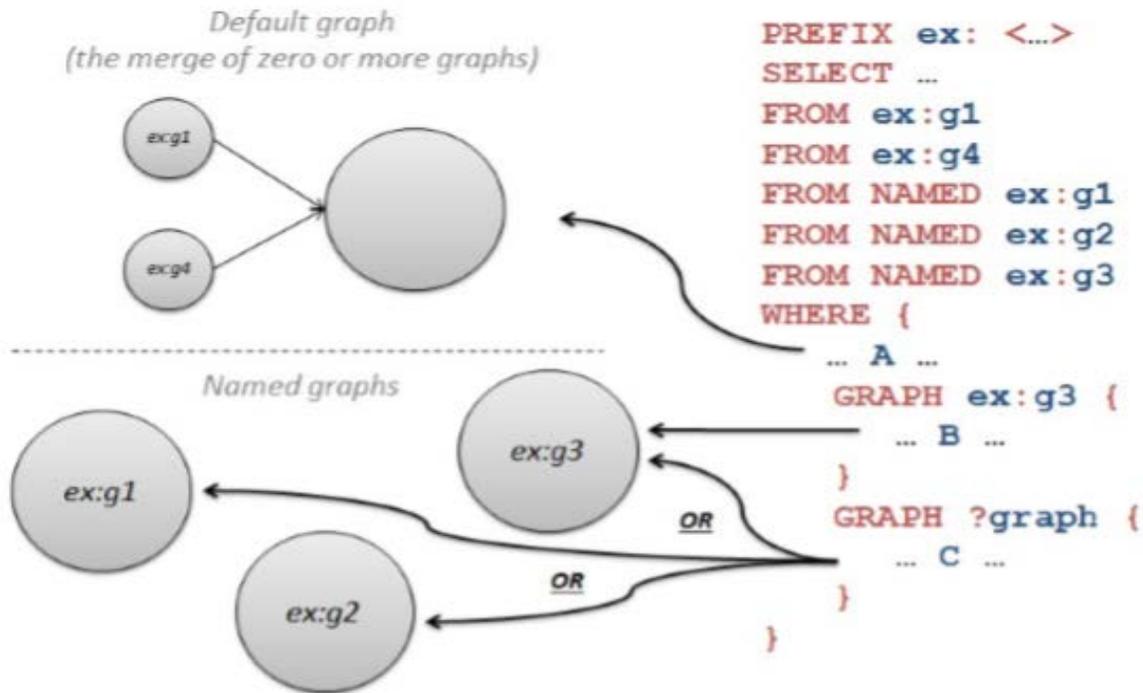


Рис. 3. Пример SPARQL запроса к дереву RDF

Поведенческая информация необходима для моделирования динамических, связанных с данными аспектов пользовательского интерфейса для проверки во время выполнения (условия существования, активации элементов/групп, связанных с содержанием других элементов данных в модели, указание для комплексной проверки, операции, связанные с элементами данных и группами, вызванными изменениями входных данных (реакций) или вызванными действиями пользователя.

Эта совокупность информации была сочтена адекватной для получения различных аспектов пользовательского интерфейса.

На основе полученных данных была разработана метамодель, которая включает идентифицированную информацию и послужила основой для разработки описаний данных для генерации пользовательского интерфейса (рис. 4).

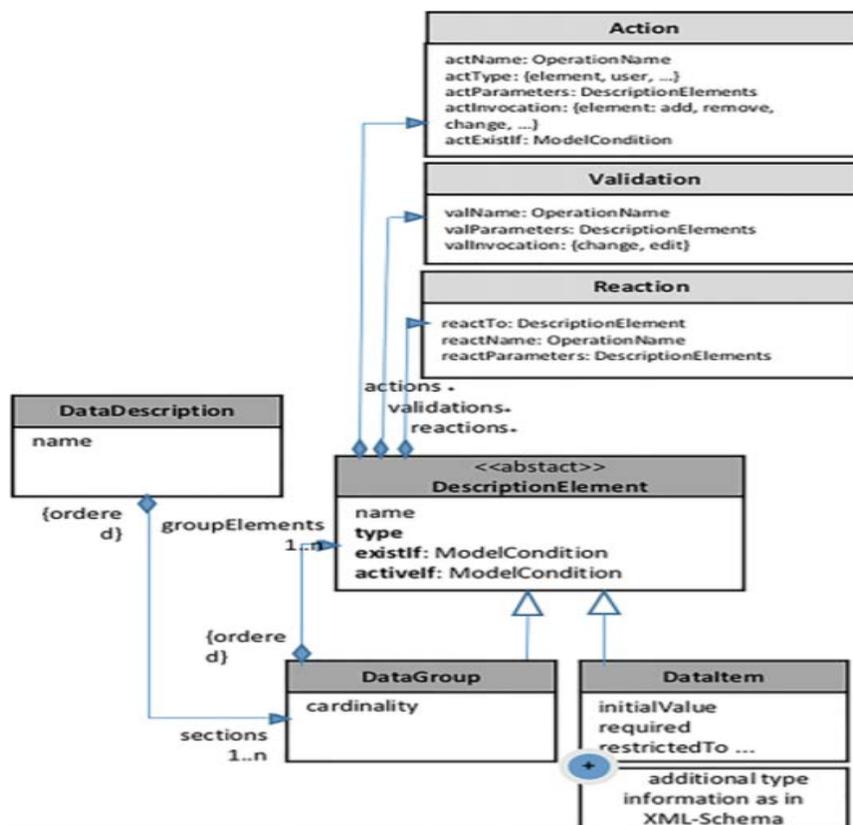


Рис. 4. Метамодель, описанная с помощью UML нотации

### Список использованных источников

1. Грибова В. В., Клещев А. С. Управление проектированием и реализацией пользовательского интерфейса на основе онтологий // Проблемы управления. 2006. № 2. С. 58–62.
2. Губин А. Н., Литвинов В. Л., Турушева В. А., Филиппов Ф. В. Обеспечение заданного уровня доступа к данным в RDF-хранилищах // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: сб. науч. ст.: в 4-х т / Под редакцией С. В. Бачевского. СПб., 2017. С. 183–187.
3. EasyRdf Documentation. URL: <https://github.com/njh/easyrdf>.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, профессором Золотовым О. И., СПбГУТ.*

УДК 621.396.67

В. А. Лужковская (студентка, СПбГУТ)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРОВОЛОЧНОЙ АНТЕННОЙ СТРУКТУРЫ

*Представленная работа направлена на исследование проблемы синтеза (моделирования) и анализа проволочных структур для приема и передачи сигнала СВЧ. В основе данной проблемы лежат идеи создания проволочного рупора, по принципу контурных антенн. Основной задачей работы является моделирование обычного рупора в электродинамическом пакете и перфорация его поверхности до проволочной основы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что рупорная антенна, перфорированная до проволочной структуры, работоспособна.*

*СВЧ, рупорная антенна, контурный рупор, проволочный рупор, проволочная антенная структура.*

Значение приема-передачи СВЧ сигнала в свободном пространстве определяется характеристиками прохождения и возможностью создания эффективных антенных систем. При синтезе СВЧ антенн сегодня доминируют несколько классов антенн, в том числе фазированные антенные решетки и рупора. Расчет этих структур на СВЧ целесообразно проводить методами геометрической оптики, хотя методы моментов, декомпозиции, наведенных токов так же находят широкое применение [1].

В ходе работы использовалось компьютерное моделирование в программе MMANA-GAL BASIC, которая отлично себя зарекомендовала и полностью апробирована. «Базовая версия MMANA-GAL свободна для личного, некоммерческого использования» – данная информация размещена на официальном сайте программы <http://gal-ana.de/basicmm/ru/> [2].

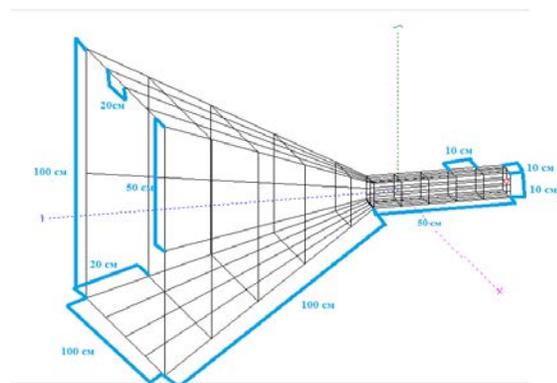


Рис. 1. Модель антенны № 1

На рис. 1 представлена модель основной рупорной антенны, смоделированной в программе, указаны её размеры.

Проведя моделирование модели № 1 на частоте 500 МГц в «свободном пространстве», программа дает следующие характеристики и диаграммы направленности для антенны № 1 (рис. 2).

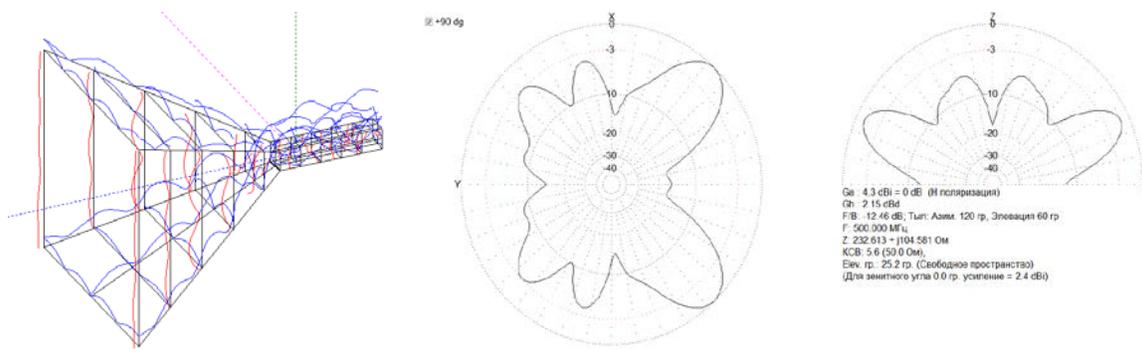


Рис. 2. Электродинамическое моделирование для антенны № 1

По полученным диаграммам видно, что волна не выходит «лучом» из рупора и данную модель необходимо изменить. Обратив внимание на то, что волновод не играет большой роли при макетировании антенны и не влияет на полученные результаты, было решено убрать его в дальнейшем макетировании, а рассматривать и перфорировать только сам рупор. Так же, заметив, что токи не текут по боковым стенкам рупора, а «растекаются» по верхним и нижним проводникам, было решено убрать их полностью, оставив только направленный проволочный каркас сверху и снизу, и смоделировать антенну № 2 (рис. 3), которая будет представлять собой оптимальный рупор рассчитанный на рабочий диапазон 3–5 ГГц. Все эти замечания полностью согласуются с характером распределения электромагнитных полей в волноводе [3].

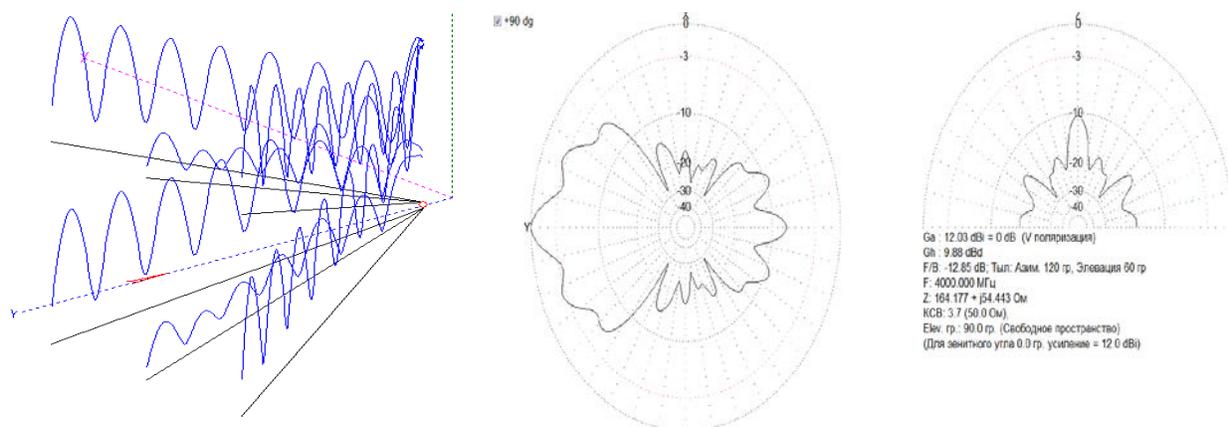


Рис. 3. Электродинамическое моделирование для антенны № 2

Для перехода к спирально-рупорной антенне, решено было модифицировать предложенный выше оптимальный прямоугольный рупор и сделать его конусообразно-круговым, с сохранением его оптимальных геометрических характеристик. Конический рупор работает с волной  $H_{11}$ , поэтому мы учли

расположение источника питания и дали некоторую направленность для питающего тока [4, 5].

Данная модель проволочного рупора, распределение токов и его диаграмма направленности представлены на рис. 4.

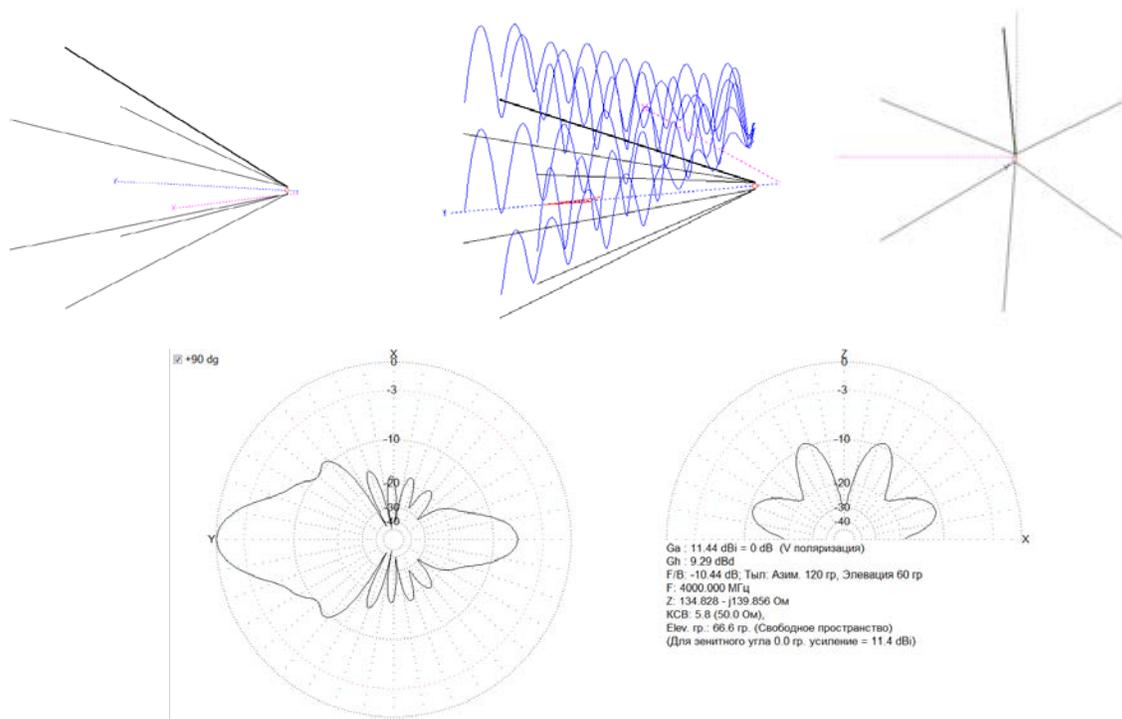


Рис. 4. Электродинамическое моделирование для антенны № 3

Сразу же отметим, что работоспособность этой модели была проверена экспериментально. Исследование показало полную работоспособность структуры.

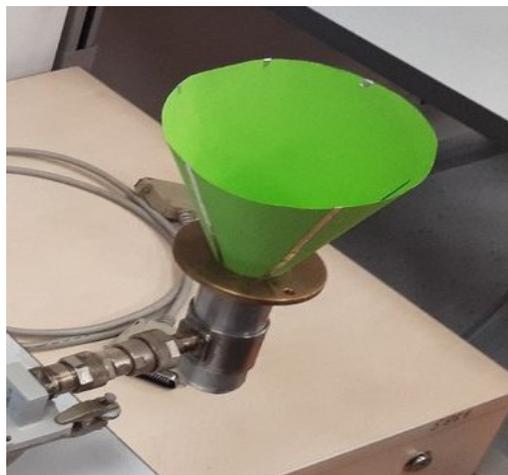


Рис. 5. Экспериментальное исследование рупорного эквивалента

*Модель перфорированной рупорной антенны до проволочной структуры работает. Мы убедились также, что при моделировании пирамидальной антенны наибольший ток протекает по противоположным основаниям антенны, поэтому при выборе количества и расположения проволок – наибольшую эффективность и излучаемую мощность антенна имеет при продольном расположении проволочной структуры. При переходе к конической структуре все вышесказанное сохраняется.*

#### Список использованных источников

1. Ахметов Р. Р., Лужковская В. А., Седышев Э. Ю. Спирально–рупорная проволочная структура // Всероссийская научно-техническая конференция «Электроника и микроэлектроника СВЧ» 28–31 мая 2018. СПб. : СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018.
2. URL: <http://gal-ana.de/basicmm/ru/>
3. Бочаров Е. И., Ветров В. В., Седышев Э. Ю., Усатова И. А. Планарные излучатели объемных интегральных схем СВЧ // Всероссийская конференция «Электроника и микроэлектроника СВЧ» 3–6 июня 2013. СПб. : СПбГУТ, 2013.
4. Файт А. В., Седышев Э. Ю. Исследование спиральных антенн с помощью низкочастотной проволочной модели // Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». № 64. 20–24 февраля 2012 года: материалы. СПб.: Изд-во СПбГУТ, 2012. С. 377–379.
5. Фальковский О. И. Техническая электродинамика: учебник. 2-е изд., стер. СПб.: Лань, 2009. 432 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Седышевым Э. Ю., СПбГУТ.*

#### УДК 004.5

**Ю. Н. Островский** (старший преподаватель 12 кафедры,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)  
**А. А. Строков, С. А. Тиридатов** (операторы научной роты,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

### ПОСТРОЕНИЕ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНОГО ИНТЕРФЕЙСА

*В статье рассматриваются вопросы, связанные с применением нейрокомпьютерных интерфейсов (НКИ) для управления передвижной платформой специального назначения, основанных на распознавании действий, мысленно представляемых военнослужащим. Приведена общая структура с этапами сбора и обработки сигнала ЭЭГ, а также обоснование выбора аппаратной части.*

нейрокомпьютерный интерфейс, мозг-компьютер, передвижная платформа, драйвер электродвигателей, аппаратура радиуправления.

Нейрокомпьютерный интерфейс (НКИ) – (англ. *Brain-Computer Interface*, BCI) является системой коммуникации человека с электронным устройством (например, с компьютером, тренажерно-обучающим комплексом, экзоскелетом, протезом, роботизированным комплексом, летательным аппаратом), основанной на непосредственном преобразовании намерений человека, отраженных в биопотенциалах мозга, в управляющие команды.

Интерфейс мозг-компьютер (ИМК), он же нейроинтерфейс – это технология, позволяющая обрабатывать электрические сигналы с коры головного мозга, усиливать и передавать их на компьютер, далее с помощью алгоритмов обработки происходит синхронизация с любым управляющим устройством или компьютерным приложением [1].



Рис. 1. ЭЭГ-шапочка компании Нейроботикс

В качестве аппаратного обеспечения был выбран НКИ компании Нейроботикс. Для работы с нейрокомпьютерным обеспечением необходим биоусилитель, ЭЭГ-шапочка (рис. 1) и соответствующее программное обеспечение для съема сигналов с биоусилителя CyborgInteraction (рис. 2). Наиболее удобным и мобильным (носимым) является Нейробелт, его технические характеристики:

1. 8 каналов регистрации ЭЭГ;
2. беспроводной (передача по Bluetooth до 10 м);
3. частота опроса 122 Гц;
4. длительность непрерывной работы не менее 8 часов;
5. вес 50 гр.;
6. поддерживаемые операционные системы Windows 8.1/10.

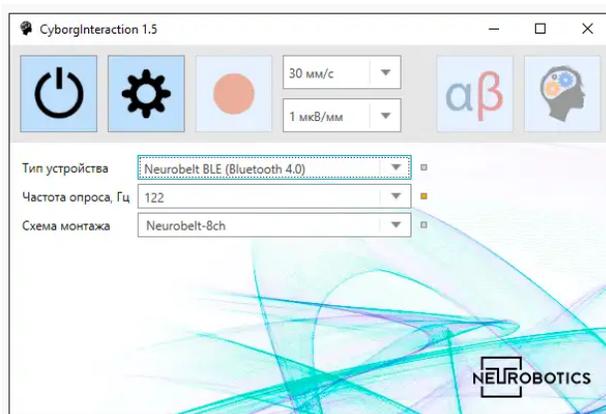


Рис. 2. ПО для съема сигналов с биоусилителя CyborgInteraction

НКИ в системе специального назначения применяется для управления когнитивным состоянием военнослужащего с помощью биологической обратной связи, решения ситуационных и тактических задач, дистанционного управления объектами [2, 3].

В качестве дистанционно управляемого объекта предполагается разработка передвижной платформы специального назначения, обладающей рядом характеристик:

- грузоподъемность – 80–100 кг;
- дальность управления (пилотного макета) – 10–30 м;
- скорость движения – 5–15 км/ч;
- время автономной работы – 2–3 ч.

Разработка проекта разделена на два основных этапа. В рамках первого этапа требуется разработать программно-аппаратную составляющую передвижной платформы специального назначения, используя стандартные методы управления и контроля моделями посредством управления при помощи пульта радиоуправления.

Второй этап разработки заключается в смене стандартных средств контроля моделями на управление при помощи нейрокомпьютерного интерфейса.

Для реализации первого этапа был проведен анализ необходимых комплектующих:

- выбор аппаратуры радиоуправления;
- выбор драйвера (контроллера) электродвигателей.

Главными компонентами аппаратуры управления являются передатчик (пульт управления) и приемник радиосигнала [4].

Передатчики бывают двух основных типов, пистолетный с рычагом ускорения и колесом управления (обычно используются для автомоделей и судомоделей), а также рычажного типа, с многопозиционными тумблерами (чаще используются для авиамоделей).

Второй частью аппаратуры радиоуправления является приемник радиосигнала, который устанавливается непосредственно на модели. К приемнику подключаются все исполнительные устройства и механизмы – регуляторы скорости, электромагниты, серво машинки, электромагниты и прочие.

Для каждого вида модели (авто, авиа, судо) устанавливается своя необходимая дальность действия. Так для авиамодели необходимая дальность находится в диапазоне от 1 000 до 2 000 метров. Для авто и судомоделей дальность действия аппаратуры значительно меньше от 50 до 200 метров с точки зрения видимости модели.

Производством аппаратуры для радиоуправления на данный момент занимается всего несколько фирм. Наиболее распространёнными являются трех-, четырех и шести канальные системы.

Драйверы электродвигателей часто используются в RC-аппаратуре. Данные устройства позволяют преобразовывать сигналы слабых управляющих контроллеров в более мощный сигнал, которым будет управляться сам электродвигатель. При этом, напряжение питания электродвигателя не играет никакой роли. На данный момент ведущими компаниями по разработке драйверов электродвигателей являются: Fairchild, Sanyo, ST Microelectronics, Toshiba, Texas Instruments, Rohm. Драйверы электродвигателей постоянного тока, выпускаемые данными компаниями, подразделяются на три вида [5]: – управления одним электродвигателем; – управления двумя электродвигателями постоянного тока без стабилизации скорости; – управления одним электродвигателем постоянного тока с функцией стабилизацией тока.

Для выбора драйвера нужно знать необходимое напряжение питания и мощность электродвигателя, что связано с напряжением питания выходного блока, максимальным выходным током и рассеиваемой мощностью. Помимо этих характеристик пользователь должен определить необходимость наличия таких дополнительных функций, как термозащита (отключение при перегреве), энергосбережение, выбор диапазона выходного напряжения и возможность одновременной работы с регулятором скорости.

На рис. 3 представлены три основные структурные схемы, соответствующие видам драйверов постоянного тока.

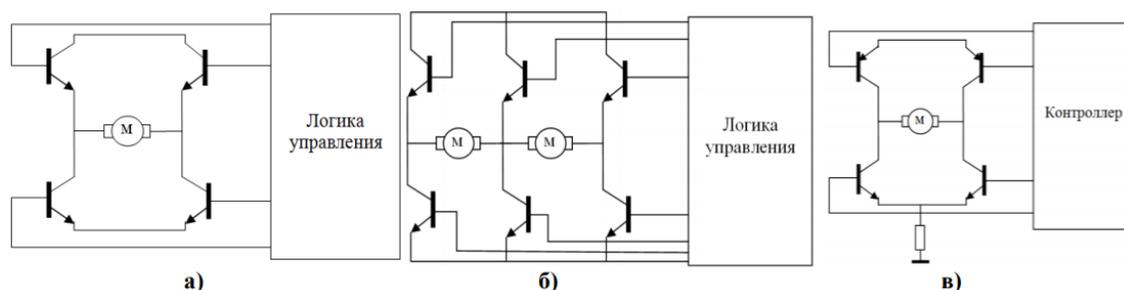


Рис. 3. а) драйверы одного электродвигателя постоянного тока;  
 б) драйверы двух электродвигателей постоянного тока;  
 в) драйверы электродвигателя постоянного тока с регулятором скорости

Для перехода ко второму этапу разработки необходимо устранить ключевую проблему, без решения которой невозможно управление внешними устройствами в нейрокомпьютерном интерфейсе, является отсутствие быстрого, надежного по содержанию канала обратной связи. Для решения данной проблемы будет реализована структурная схема ИМК, приведенная на рис. 4.

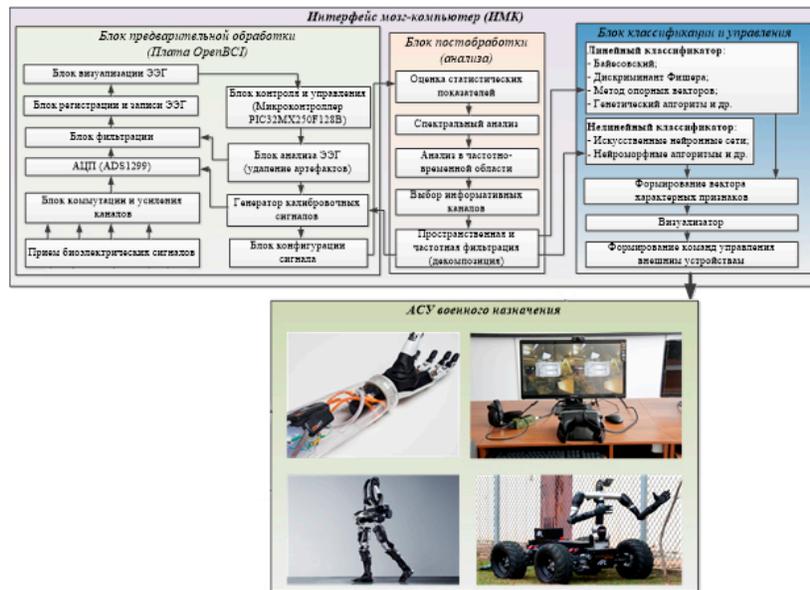


Рис. 4. структурная схема ИМК

Для разработки аппаратно-программного комплекса ИМК военного назначения, требуется проведение глубоких фундаментальных исследований, в том числе сопровождающих различные движения. Методологической базой таких исследований должны стать представления о системной деятельности мозга.

#### Список использованных источников

1. Pfurtscheller G., Christa N. EEG-Based Brain-Computer Interfaces // Niedermeyer's Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields / ed. by D. L. Schomer, H. L. S. Fernando. 6th. Philadelphia, Pa.: Lippincott Williams & Wilkins, 2010. PP. 1227–1236. 668 p.
2. Зенков Л. Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). Руководство для врачей. М.: МЕДпрессинформ, 2004. 368 с.
3. Ганин И. П. Интерфейс мозг-компьютер на волне р300: исследование эффектов повторения и движения стимулов: дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук: 03.03.01, 03.03.06 / Кафедра физиологии человека и животных биологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. Москва, 2013. 199 с.
4. Аналоговая система радиуправления // Радиолобительский портал «RadiobookA». URL: <http://radiobooka.ru/peredatchik/951-analogovaja-sistema-radioupravlenija.html>.
5. Аппаратура радиуправления моделями // «RC design». URL: [http://www.rcdesign.ru/articles/radio/tx\\_intro](http://www.rcdesign.ru/articles/radio/tx_intro).

*Статья представлена научным руководителем,  
доктором технических наук, профессором Паращуком И. Б.,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного.*

УДК 004.422

**Н. В. Полпудникова** (студентка, СПбГУТ)

## **МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЕДЕНИЯ ПОДЛИННИКОВ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ СВЯЗИ**

*В статье представлены результаты разработки прототипа автоматизированной модели ведения подлинников конструкторской документации предприятия связи. Модель представляет собой web-приложение с обеспечением управления браузером MS SQL Server. Модель разработана с применением языка программирования С# и платформы .NET. Предложенное системотехническое решение позволит снизить возможные риски необеспеченности ресурсами конструкторских изменений в изделиях, которые находятся на различных стадиях жизненного цикла, за счет повышения статуса и гарантий юридических лиц реализуемости вносимых изменений.*

*подлинники конструкторской документации, ведение распределённого реестра, ASP.NET, интерфейс.*

Одним из эффективных направлений снижения возможных рисков необеспеченности ресурсами конструкторских изменений в изделиях, которые находятся на различных стадиях жизненного цикла, за счет повышения статуса и гарантий юридических лиц реализуемости вносимых изменений является применение программного средства ведения подлинников конструкторской документации предприятия связи на основе технологии распределенных реестров, например, «Интерфейсная модель ведения подлинников документации» [1, 2].

Предлагаемое программное средство обеспечит сбор, обработку и представление данных для следующих документов службы технической документации предприятия связи-держателя подлинников конструкторской, программной, технологической и эксплуатационной документации (далее – подлинники документации):

- инвентарная книга;
- абонентская карточка;
- карточка учёта документов;
- книга регистрации извещений;
- журнал реестра.

Ограничениями и допущениями при ведении реестров и подлинников документации приняты следующие условия и факторы (см. рис. 1):

- существующая регламентация процедур внесения изменений в документы и реестры, согласно ГОСТ 2.501-2013 [3] и ГОСТ 2.503-2013 [4];

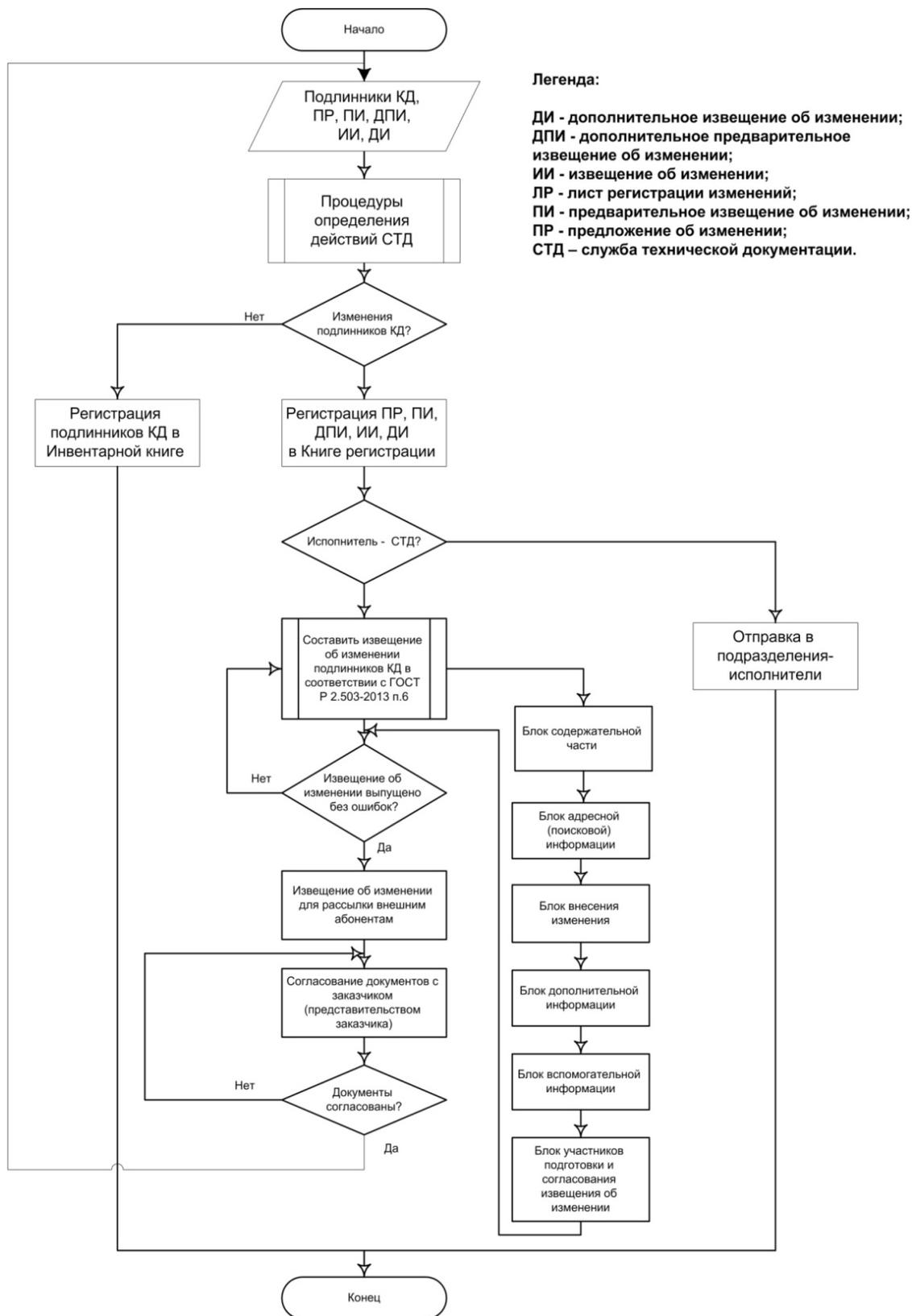


Рис. 1. Процедуры электронного учёта, хранения и обращения конструкторской документации на предприятии

- потребный объём изменений, вносимых в комплект документов и реестры;
- необходимость разработки нового комплекта документов и изменение реестра;
- ведение системы реестров смешанного учёта бумажной и электронной документации в организации-держателе подлинников конструкторской (технологической) документации.

При разработке прототипа автоматизированной модели ведения подлинников конструкторской документации предприятия связи (см. рис. 2) был проведён анализ применимости технологии распределённого реестра.

Под термином «распределённый реестр» понимается база данных, которая распределена между несколькими сетевыми узлами или вычислительными устройствами. Каждый узел получает данные из других узлов и хранит полную копию реестра. Обновления узлов происходит независимо друг от друга. Ключевой особенностью распределённого реестра является отсутствие единого центра управления. Обновления реестра составляется и записывается каждым узлом независимо от других узлов. Затем происходит консенсус – голосование и достижение согласия в отношении одной из копий реестра. Он выполняется автоматически согласно алгоритму консенсуса. Распределённый реестр обновится после достижения консенсуса. В каждом узле сохранится последняя согласованная версия реестра (см. рис. 2).



Рис. 2. Технология ведения подлинников документации на основе распределённых реестров

Технологии и регламентации распределенных реестров применимы для автоматизированных систем технической документации предприятий связи с целью оптимизации затрат и повышения операционной эффективности взаимосвязанных бизнес-процессов ведения подлинников документации в динамических условиях изменений системотехнических решений, принятых и представленных в подлинниках конструкторских, программных, технологических, эксплуатационных документов.

В автоматизированной системе технической документации предприятий связи технологии и регламенты распределенного реестра реализуют в процедурах и протоколах ведения "Журнала реестра".

Интерфейсная модель разрабатывалась как программное средство для действующих автоматизированных систем управления штатной деятельностью предприятия в соответствии с требованиями единой системы программной и конструкторской документации (ЕСПД и ЕСКД).

Реализация интерфейсной модели выполнено в виде web-приложения ASP.NET (см. рис. 3). Написано на алгоритмическом языке объектно-ориентированного программирования C#. В качестве сервера баз данных использован MS SQL Server. Объектно-реляционное преобразование осуществлялось с помощью ADO.NET Entity Framework.

Внедрение автоматизированного программного решения на предприятии связи обеспечит согласованность учётных данных в службах технической документации предприятий-разработчиков и повышение оперативности и достоверности изменений конструкторской документации предприятиями-держателями подлинников документации составных частей изделий.

#### Список использованных источников

1. Полпудникова Н. В., Шестаков А. В. Предложения об автоматизированном ведении подлинников конструкторской документации предприятия связи на основе технологии распределенных реестров // Программа VII Международной научно-технической и научно-методической конференции "Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании", 28 февраля – 1 марта 2018 года. СПб.: СПбГУТ, 2018. С. 29.

2. Шестаков А. В. Введение в методологию обработки геопространственных данных генотипа телекоммуникаций. СПб.: ГУАП, 2016. 325 с.

3. ГОСТ 2.501–2013. Единая система конструкторской документации. Правила учета и хранения. М.: Стандартинформ, 2014. III, 19 с.

4. ГОСТ 2.503–2013. Единая система конструкторской документации. Правила внесения изменений. М.: Стандартинформ, 2014. III, 27 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
доктором технических наук, старшим научным сотрудником,  
доцентом Шестаковым А. В., СПбГУТ.*

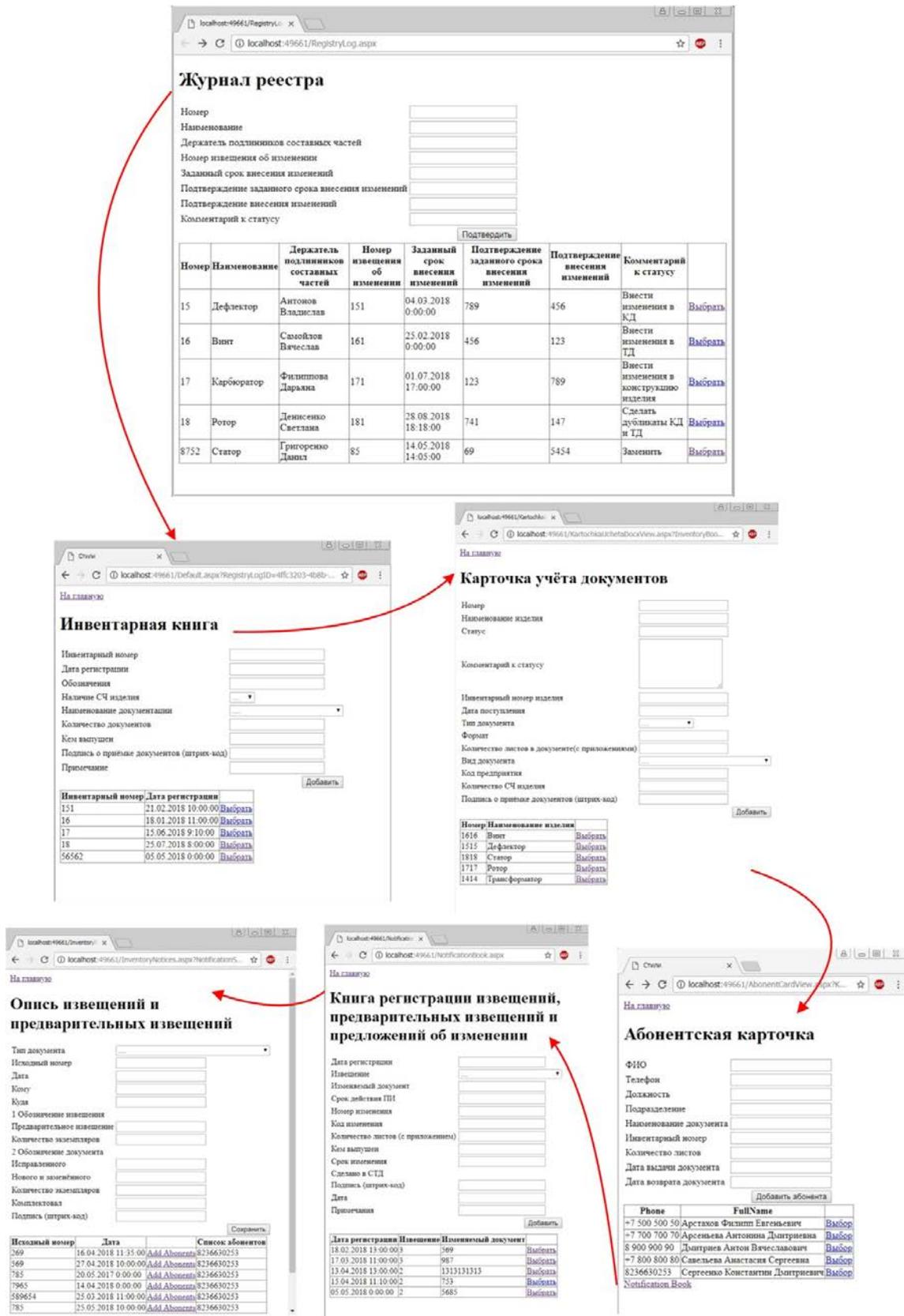


Рис. 3. Интерфейс приложения ведения подлинников конструкторской документации

УДК 004.7

**А. О. Сазонов** (оператор научной роты,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСПОЗНАВАНИЯ СТРУКТУР ВРЕМЕННЫХ ДИАГРАММ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

*В статье описывается разработка метода распознавания структур временных диаграмм цифровых сигналов при анализе интегральных микросхем электронных устройств на основе структурно-лингвистического механизма распознавания образов.*

*распознавание структур, анализ ИМС, НДВ.*

### **Постановка проблемы**

Разработать метод распознавания структур временных диаграмм цифровых сигналов при анализе ИМС ЭУ с учетом сохранения целостности в условиях кибернетического противоборства.

Существует противоречие между требованиями к ИМС ЭУ международных стандартов, касающихся сохранения целостности информационной системы при проектировании и внесении в нее изменений в условиях кибернетического противоборства.

Однако, недокументированные возможности (НДВ) [1] могут поставить под угрозу правильную работу, доступность, целостность, конфиденциальность – иными словами безопасность информационной системы. В официальных документах вводятся понятия «недекларированные возможности» и «незаявленные возможности».

В контексте информационной безопасности (ИБ) в центре внимания оказываются функциональные возможности программного обеспечения, использование которых может нарушить его правильную работу, а также целостность, доступность или конфиденциальность информации. Отечественные стандарты ИБ для подобных НДВ вводят специальное понятие – ИМС ЭУ, применяемое, в частности, при сертификации [2].

### **Объект исследования**

Временные диаграммы цифровых сигналов протоколов обмена данными ИМС ЭУ.

## Предмет исследований

Методы распознавания структуры цифровых сигналов протоколов обмена данными.

## Цель

Разработка метода распознавания структуры временных диаграмм цифровых сигналов.

## Решение

Применение известных структурных методов распознавания не всегда обеспечивает требуемую достоверность распознавания структур временных диаграмм цифровых сигналов из-за сложности синтаксического анализа. Отдельные процедуры существующих методов распознавания после их модификации могут быть применены для распознавания сигналов, передаваемых в каналах.

В настоящее время необходима разработка конкретных базовых элементов метода распознавания и определения параметров цифровых сигналов (формальное эталонное описание, способы синтаксического анализа). Поэтому, по существу, необходима разработка нового структурно-лингвистического метода распознавания, ориентированного на использование формальных грамматик, отражающих специфику синтаксической структуры цифровых сигналов и допускающих применение ориентированных на эти подклассы формальных грамматик эффективных методов синтаксического анализа [3].

В этом случае, для решения задачи распознавания цифровых сигналов, в рамках классической схемы, представленной на рис., требуется разработка структурно-лингвистического метода распознавания образов, а также проведение исследований по следующим основным направлениям:

- исследование описательных возможностей классов формальных грамматик, в наибольшей степени отражающих специфику синтаксической структуры исследуемых цифровых сигналов;
- разработка эталонного формального (грамматического) описания структуры распознаваемого класса исследуемых цифровых сигналов и исследование возможностей учета в синтаксических описаниях статистической информации и искажений цифровых сигналов;
- разработка структурно-лингвистического метода и алгоритмов распознавания цифровых сигналов на основе процедур синтаксического анализа разработанных эталонных грамматик;

- экспериментальная проверка предложенного адаптивного структурно-лингвистического метода на имитируемых сигналах.



Рисунок. Общая структура исследований

Анализ структурных особенностей цифровых сигналов протоколов обмена данными показал, что наименьшими синтаксически значимыми элементами этих сигналов являются биты и их комбинации (логические уровни, коды команд и т. д.) [4].

В этом случае задача сегментации цифрового сигнала является достаточно простой и выполняется с применением классических методов сегментации. Распознавание с использованием процедур синтаксического анализа имеет целью установить, является ли входная цепочка элементов (цифровых сигналов) синтаксически правильной по отношению к заданной грамматике, описывающей образ распознаваемого класса цифровых сигналов.

В настоящее время принято разделять структурно-лингвистические методы распознавания по типу используемых в них формальных грамматик, которые определяют сложность структуры распознаваемых объектов и эффективность используемых процедур синтаксического анализа.

Известно, что универсальным средством кодирования семантики информации, а также универсальным средством общей у коммуникации является естественный язык. Этим в основном объясняется то большое внимание, которое уделяется в лингвистике и в кибернетике попыткам построить формальную модель естественного языка. При таких попытках преследуется ряд целей, среди которых в качестве основных можно выделить:

- построение формальных моделей естественного интеллекта для изучения процессов мышления и выработки решений человеком в сложных ситуа-

циях, в описании которых велик удельный вес семантических категорий, неформализуемых известными средствами;

- разработка удобных для человека, не специалиста в области программирования, естественно-языковых средств общения с ЭВМ.

Формальная грамматика в компактной продукционной форме описывает возможные цепочки элементов (терминалов), составляющих заданный класс образов, при этом правила подстановки определяют конструктивную схему формирования этих цепочек. Таким образом, формальная грамматика служит средством компактного задания большого числа образов распознаваемого класса с использованием конечных наборов исходных элементов и правил подстановки.

В соответствии с этим классификационным признаком известные методы структурно-лингвистического распознавания подразделяются в соответствии с конкретными типами грамматик, на которые они ориентированы и отличаются используемыми правилами подстановки (классификация по Хомскому), применением различного рода лингвистических отношений (атрибутивные грамматики и категориальные грамматики), использованием специально задаваемых отношений между элементами грамматик (программные и индексные грамматики), заданием различных мер (нечетких, вероятностных) на множестве используемых продукций.

Ряд правил, определяющих синтаксис цифровых сигналов, может быть описан контекстно-свободными грамматиками (КСГ). Исследованию этого класса формальных грамматик и ориентированных на них методов синтаксического анализа в последние годы посвящено большое число работ, направленных на решение ряда научных и практических задач.

Анализ этих работ показал, что в использовании контекстно-свободных грамматик наблюдаются два, в определенной степени, взаимодополняющих подхода:

1) Использование полной порождаемой мощности грамматик и их модификаций для описания синтаксиса распознаваемых классов. При этом, основным требованием является полнота и адекватность описаний реальным объектам (задачи анализа и синтеза протоколов обмена данными, представления знаний и т. д.). К эффективности методов синтаксического анализа не предъявляются жесткие требования и, как правило, в этом случае, допустимым является использование общих и специальных методов, имеющих квадратичную и более высокую временную сложность.

2) Использование ограниченных по описательным возможностям специальных подклассов КСГ для описания объектов в задачах, где предъявляются повышенные требования к эффективности процедур синтаксического анализа (задачи распознавания, принятия решений и т. п.). В этом случае наиболее

полно используется информация о структурных особенностях описываемого класса объектов с целью улучшения характеристик известных процедур грамматического разбора или создания новых методов синтаксического анализа при решении задачи распознавания в условиях жесткого временного ограничения.

С помощью формальных грамматик очень удобно задавать синтаксическую структуру описаний, массивов данных, языков [5].

Для практического использования методов теории формальных грамматик необходимо уметь строить такие грамматики по тем или иным описаниям объектов.

*Предлагается* разработка метода распознавания структур временных диаграмм цифровых сигналов на основе структурно-лингвистического механизма распознавания образов, который предполагает решение следующих основных задач:

1) Осуществить предварительную обработку объекта и его сегментацию наряд более простых элементов (непроизводных элементов, лексем, терминальных символов).

2) Разработать продукционную модель (формальное (структурно-лингвистическое) описание распознаваемого объекта), описывающую допустимые для рассматриваемых классов образов комбинации непроизводных элементов.

3) Обобщить процедуры синтаксического анализа, составляющих основу процедур распознавания, и определить принадлежность входных цепочек подобразов к одному из синтаксических подклассов, задаваемых формальной грамматикой.

## **Заключение**

Разработка метода распознавания структуры данных цифровых сигналов ориентирована на применение контекстно-свободных грамматик.

Использование данного подхода позволяет поддерживать работоспособность на требуемом уровне при динамике изменения множества угроз с учётом масштабирования при планировании и внесении в нее изменений в условиях кибернетического противоборства.

## **Список использованных источников**

1. ГОСТ Р 51275-2006. Защита информации. Объект информатизации. факторы, воздействующие на информацию. Общие положения.
2. Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных (утв. ФСТЭК РФ 15.02.2008).
3. Гросс М., Лантен А. Теория формальных грамматик. М.: Мир, 1971. 296 с.



транзистора VT1 [1]. Переменный резистор VR1 позволяет регулировать ток через переход, т. е. уровень шума. Также данный резистор используется для управления внешним шумом. Итоговый сигнал усиливается микросхемой LM386 и попадает на динамик и направляется дальше к модулю амплитудного модулятора.

## Программная часть

Внешний вид интерфейса показан на рис. 2. Программная часть является графической, написана на языке C++ под ОС с ядром Linux и включает в себя: воспроизведение шумового сигнала и речеподобного шумового сигнала через аудиовыход ЭВМ, построение графиков во временной и частотной областях, при этом для доступа к звуковой карте применяется продвинутая архитектура звуковых драйверов ALSA [2, 3, 4], графическая часть выполнена с помощью библиотеки XLib. Возможности ПО следующие: генерация обычного шума (*Usual noise*) и шума, который подобен речи собеседников (*Voice – like noise*). Для достижения последней цели необходимо сделать запись при помощи встроенного в ЭВМ устройства. Также возможно воспроизведение гармонического сигнала (*Sine wave*) различных частот. Построение графиков сигнала возможно во временной и частотной областях. Время для записи и для проигрывания выбирается при помощи кнопки “Time..”.

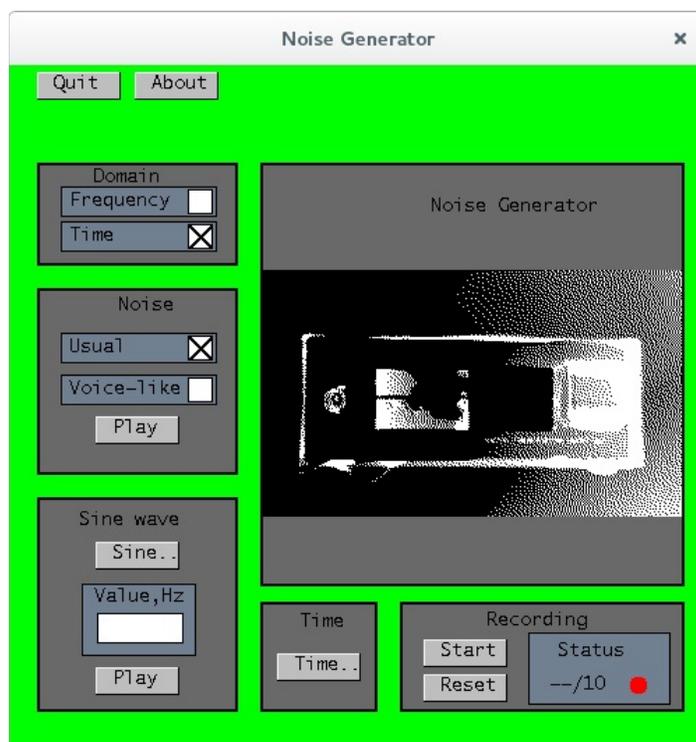


Рис. 2. Главное окно программы

## Подробности реализации

Обычная шумовая помеха представляет из себя набор псевдослучайных чисел в диапазоне от 0 до 32 767, полученных при помощи встроенной в библиотеку языка C функции rand(). Верхняя граница обусловлена тем, что за основу взят тип данных short int. Полученные числа помещаются в массив, размер которого задаёт программист. Величина массива является важным параметром. От него зависит, во-первых, изображение шума (рис. 3) и гармонического сигнала во временной области, а во-вторых, частота основного тона выдаваемого с динамического громкоговорителя акустического сигнала.

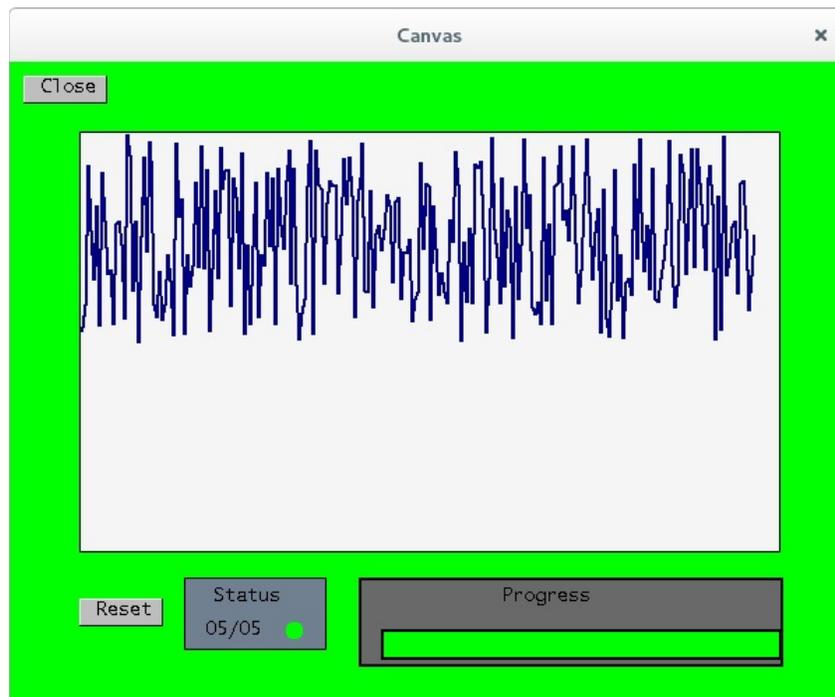


Рис. 3. Шум во временной области (график из программы)

В настоящей работе “речеподобная” шумовая помеха получается при помощи прибавления к частотам речи дополнительных колебаний случайной частоты. И перемешивании результата. Т. к. рассматривается цифровой сигнал, то дополнительные частоты – случайные числа, величину которых ограничивает программист. Но нужно следить за тем, чтобы прибавление данного числа к значению, характеризующему частоту речи человека, не превысило максимальное допустимое для типа массива.

Значения, которые находятся в массиве, представляют из себя один период. Количество периодов напрямую связано с временем воспроизведения. Данный массив будет отправлен на вход функции воспроизведения сигнала в акустическом диапазоне и в метод для построения на графике во временной

или частотной области. Достижение параллелизма действия достигается применением многопоточности и общей памяти. Процесс показан на рис. 4.



Рис. 4. Схема получения сигнала

В общей памяти находится нужный массив с данными. Он один и одновременно обратиться к одному и тому же значению в массиве нельзя. Поэтому поток 1 и поток 2 должны быть синхронизированы. Достигается это применением мьютексов (*mutex*) и семафоров (*semaphore*), входящих в стандартную библиотеку языка С.

Оттуда же взята функция для создания потоков `pthread_create( args )`. Комбинация мьютексов и семафоров позволяет решить известную задачу “Производитель – Потребитель” (“*Producer – Consumer*” problem), описанную в теоритической части. Но помимо записи в общую память поток 1 должен отправить данные в аудиовыход, а последний – воспроизвести без искажений сигнал. Если не применять искусственные приёмы, то достичь полной синхронизации изображения на графике и звука в динамическом громкоговорителе способами, известными автору невозможно. Проблема синхронизации решается таким образом, что на графике отображается каждый  $n$ -й массив с данными. Порядковый номер  $n$  зависит от длины массива. Чем длиннее массив, тем меньше должен быть этот номер. Подбор номера – задача программиста.

Таким образом, были решены следующие задачи:

- 1) Разработано консольное приложение для генерации цифрового шума.
- 2) Разработано графическое приложение для генерации цифрового шума и построения графиков получаемого сигнала во временной и частотной областях.
- 3) Полученный дробовой шум усилен и воспроизведён через динамик.

В итоге был создан работоспособный прототип программно-аппаратного комплекса генератора шума, который может быть изменён в дальнейшем применением более мощных выносных динамических громкоговорителей, позволяющими создать стереозвучание, также есть возможность модификации программы в той части, которая касается многопоточности, вывода данных на график, можно изменить алгоритм для построения спектра сигнала. Увеличив мощность шума, посылаемого в радиодиапазон, установив антенну, сместив спектр на другие частоты, можно создать зашумление для маскировки полезных сигналов, которые наводятся на проводники, т. е. речь идёт о пространственном зашумлении [5].

**Список использованных источников**

1. Мардер М., Федосеев В. Цифровые генераторы шума // Радио. 1990. N 8. С. 68–71.
2. Бузов Г. А., Калинин С. В. Защита от утечки информации по техническим каналам. М.: Горячая линия – Телеком, 2005. 416 с.
3. URL: <http://nairobi-embedded.org/>
4. URL: [http://alsa-project.org/main/index.php/Main\\_Page](http://alsa-project.org/main/index.php/Main_Page)
5. URL: <http://www.linuxjournal.com/article/6735>

*Статья представлена научным руководителем,  
доктором технических наук, профессором Паращуком И. Б.,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного.*

**УДК 004.82**

**А. В. Фадеева** (студентка, СПбГУТ)

**М. В. Котлова** (старший преподаватель, СПбГУТ)

**РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА  
ДЛЯ МУЗЕЯ СПбГУТ**

*Рассмотрены особенности мультимедийного проекта, внедряемого в экспозиционную и выставочную деятельности музея. Описаны основные параметры информационной системы учета музея СПбГУТ. Сформированы решения для реализации системного учета на базе музея СПбГУТ. Предложены идеи для будущего развития системы с целью исследовательской деятельности.*

*информационные технологии, система учета, музей, выставка, экспозиция, мультимедиа.*

Информационные системы учета музейных предметов включают в себя не только функции хранения информации, но и автоматизацию процесса подготовки выставки или экспозиции [1]. Программы востребованы как для государственных, так и для частных учреждений.

Музей Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича сохраняет предметы, которые активно используются в выставках. К таким предметам относятся различные виды техники, а также студенческие билеты, зачётки, знаки отличия, фотографии и альбомы.

Разработка web-приложения позволит сотрудникам структурировать документооборот музея и автоматизировать процессы атрибуции и публикации музейных предметов по категориям.

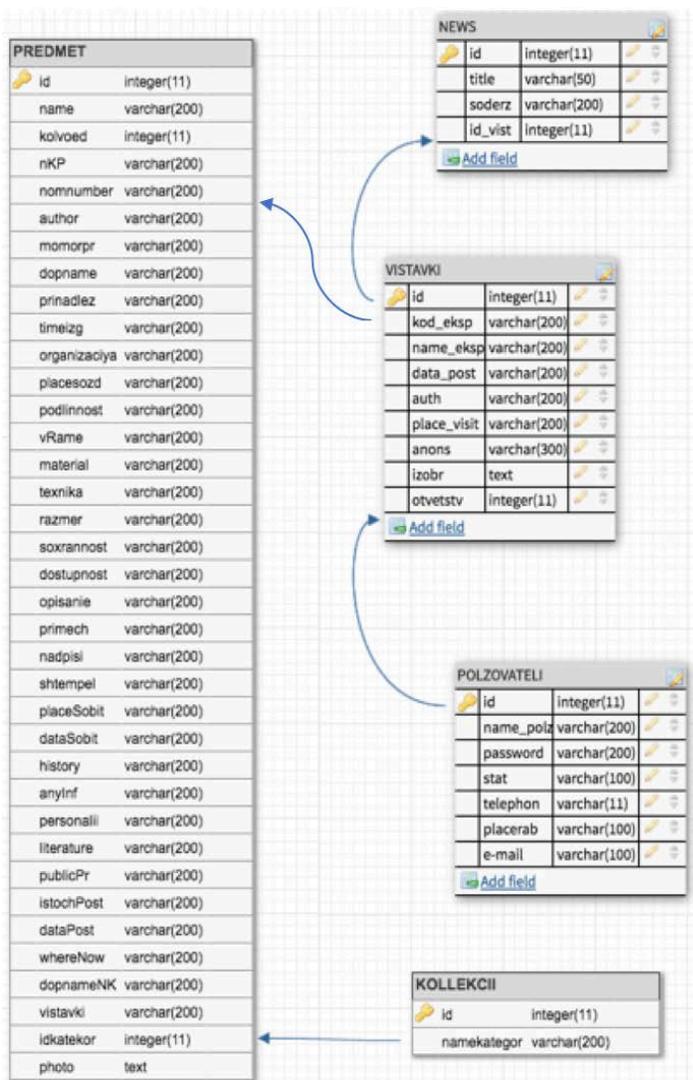


Рис. 1. Модель базы данных

веб-приложение «dbdsgr», которое позволяет разработать модель базы данных без использования sql. Модель представлена на рис. 1.

Для развертывания базы данных, составляющей основу информационной системы учета музейных предметов, разработан скрипт, фрагмент которого представлен на рис. 2.

Для создания базы данных информационной системы необходимо развернуть локальный сервер на персональном средстве информатизации. Система, на которой необходимо развернуть сервер, находится под управлением MAC OS X. В связи с этим целесообразно воспользоваться специальным программным средством с открытым кодом – MAMP. Для работы программы необходима установка дополнительных компонентов: Apache, PHP и MySQL, включенных в базовый инструментальный пакет. В рамках проекта реализуемая система будет являться веб-приложением, поэтому язык PHP используется для выполнения алгоритмов работы сервера.

В представленной модели базы данных все сущности взаимосвязаны. Для отображения взаимосвязей между сущностями используется онлайн

```

CreateTables.php
60 $query ="CREATE Table KOMPLEKT
61 (
62     id INT NOT NULL AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,
63     name_kom VARCHAR(200) NOT NULL
64 );";
65 $result = mysqli_query($link, $query) or die("Ошибка " .
mysqli_error($link));
66 if($result)
67 {
68     echo " <br> Создание таблицы KOMPLEKT прошло успешно";
69 }

```

Рис. 2. Листинг программы создания таблиц

Система позволяет организовать три уровня доступа: гость (возможность просмотра информации), администратор (доступ к структуре базы данных и набору атрибутов), сотрудник музея (возможность регистрировать, публиковать предметы и работать с документами).

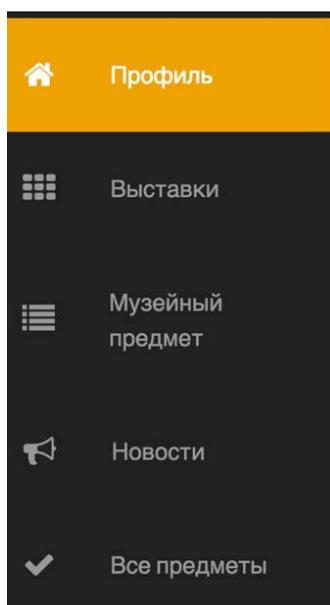


Рис. 3. Панель управления

Стартовая страница web-приложения представляет динамическую новостную ленту с опубликованными новостями о событиях университета, связанных с музейной деятельностью, а также с информацией о текущих выставках [2].

Панель управления, которая располагается в личном кабинете сотрудника музея, формируется следующим набором задач, позволяющих сопровождать процессы формирования музейного собрания и автоматически публиковать предметы и анонсы выставок. Фрагмент панели управления представлен на рис. 3.

В разделе «Музейный предмет» расположен набор полей, необходимых для атрибуции предмета (рис. 4). Специальное поле отведено для автоматической публикации предмета на портале. В случае, если публикация необходима, то происходит анализ полей, отвечающих за категорию музейного предмета и с помощью разработанного скрипта, предмет публикуется в соответствующем разделе информационной системы, в блоке доступном незарегистрированному пользователю.

Предлагаемая система, как и любая другая, подлежит модернизации и будущему развитию [3]. Планируется реализация представления музейных предметов в формате 3D моделей. Модели будут создаваться посредством фотографии с разных углов и объединения в единое целое в предназначенной для этого программе. Данный способ является рациональным решением для развития функциональной спецификации информационной системы.

Добавить новый предмет

Название	Количество единиц	№КП
Номенклатурный номер	Автор	Мемориальный предмет
Дополнительное название	Принадлежал	Время изготовления
Организация изготовитель	Место создания	Подлинность
В раме: <input type="checkbox"/> Да <input type="checkbox"/> Нет	Материал	Техника
Размер	Сохранность	Доступность
Описание	Штемпель, штампы	История бытования
Примечание	Надписи, подписи	Другие исторические сведения

Рис. 4. Страница добавления музейного предмета

Внедрение разработанной информационной системы для музея СПбГУТ позволит сотрудникам музея сократить время, затрачиваемое на перевод музейных предметов в электронный каталог, а также обеспечит формирование электронных выставок и их публикацию на основной странице приложения без применения сторонних платных программ. При реализации пользователи системы получают новые знания об истории собственного университета.

#### Список использованных источников

1. Комиссарова Е. В. Региональный музей как хранитель и транслятор культурного наследия : автореф. диссертации канд. историч. наук : 24.00.01 / Комиссарова Елена Васильевна : защищена 23.12.2006. Волгоград, 2006. 22 с.
2. Макаров Д. В., Шутова О. В. Внедрение технологий и новых приемов в культуру работы современного музея // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-1. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21052>.
3. Мельникова Г. Ф., Гильманшина С. И. Музеи университета как фактор поликультурного воспитания молодежи // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 4. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id>.

*Статья представлена научным руководителем доктором технических наук, профессором Птицыной Л. К., СПбГУТ.*

УДК 004.946

К. А. Фролова (студентка, СПбГУТ)

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ ФОРМЫ КОММУНИКАЦИИ В ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

*Рассмотрена проблема информатизации общеобразовательных учреждений Санкт-Петербурга. Выявлены недостатки существующих ресурсов, обеспечивающих коммуникацию между учениками, учителями и родителями. Предложены пути эволюции таких систем с целью развития современных образовательных процессов.*

*общеобразовательные учреждения, коммуникация, электронное обучение, социальная сеть.*

Современные средства информационных и коммуникационных технологий дают возможность повышения эффективности и качества образовательного процесса в самых многочисленных его аспектах, играя существенную роль в формировании новой системы образования, её целей и содержания, внедрения современных педагогических технологий.

Проблема информатизации общеобразовательной организации как часть проблемы информатизации образования имеет особое значение, поскольку назначение школы, её научно-методическое обеспечение, возраст обучаемых обладают определенной спецификой. Использование инфокоммуникационных технологий и средств автоматизированной электронной формы коммуникации в обучении обусловлено современными условиями информатизации и компьютеризации общества. Концепция информатизации образования в России отражена в различных нормативных документах: Конституция Российской Федерации, Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [1], «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» [2] – и других, направленных на преодоление отставания России от западных развитых стран в развитии общества, которые представляют собой систему взаимосвязанных целей, тенденций, методов и средств информатизации образования. В «Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» для области образования обозначена главная цель – формирование информационного пространства знаний. Одним из механизмов её достижения является развитие различных образовательных технологий (включая дистанционное и электронное обучение) при реализации образовательных программ [2]. Также отмечается необходимость ускоренного внедрения в образо-

вательный процесс новаций, эффективность которых способствует повышению качества образования. Среди них необходимо отметить электронное обучение, расширение использования онлайн-курсов в области образования [3]. Приоритетными направлениями внедрения ИКТ в образовании являются совершенствование нормативно-правовой базы в области создания и использования электронных ресурсов в сфере образования, поддержки системы дистанционного обучения, непрерывного образования и обеспечения информационной безопасности, систем ограничения доступа; разработка и создание образовательного контента на основе современных информационных и инфокоммуникационных технологий.

Инфокоммуникационные технологии изменили многие аспекты жизни и предоставили беспрецедентные возможности и задачи для сферы образования. Образовательные учреждения на всех уровнях должны предоставлять каждому гражданину знания, навыки и компетенции, а также возможности обучения на протяжении всей жизни, необходимые для жизни и работы во всё более богатой технологиями среде [4]. Системы образования должны также обеспечивать возможность использования потенциальных преимуществ инфокоммуникационных технологий для расширения доступа к образованию и повышения качества и актуальности обучения. С этой целью управление образованием, а также процесс преподавания и обучения должны быть изменены в соответствии с потребностями конкретного учреждения и устойчивого развития экономики знаний. Инфокоммуникационные технологии играют все большую роль в общении, обучении и жизни. Необходимо эффективно использовать технологии для удовлетворения интересов учащихся и преподавателей/учителей.

Инфокоммуникационные технологии становятся неотъемлемой частью повседневной жизни и исследований. Инновации в области инфокоммуникационных технологий предоставляют новые способы обучения в дополнение к традиционным путям. Инфокоммуникационные технологии поддерживают обучение и преподавание, не заменяя непосредственного взаимодействия в образовательной среде – вместо этого они предоставляют инструменты для взаимодействия. Последние достижения в области инфокоммуникационных технологий предоставляют абсолютно новые возможности для человеческой деятельности. Многие мероприятия по внедрению не проводятся параллельно в образовательных учреждениях, в связи с этим наблюдается цифровой разрыв между сферой образования и остальными сферами. Инфокоммуникации позволяют использовать все возможности технологий для открытия новых перспектив как для учителей, так и для учеников и их родителей без игнорирования традиционных стилей и моделей обучения.

Основным ресурсом для общеобразовательных учреждений является государственная информационная система «Комплексная автоматизированная информационная система каталогизации ресурсов образования Санкт-Петербурга» (далее – КАИС КРО), которая была создана и внедрена в дошкольные образовательные учреждения Санкт-Петербурга согласно Постановлению Правительства Санкт-Петербурга от 23.06.2011 N 802 «О создании государственной информационной системы Санкт-Петербурга «Комплексная автоматизированная информационная система каталогизации ресурсов образования Санкт-Петербурга» [5]. Её назначение заключается в создании единого информационного пространства исполнительных органов государственной власти и образовательных учреждений, каталогизации ресурсов об образовательных учреждениях, предоставлении пользователям информации об образовательных учреждениях, предоставлении родителям информации об успеваемости учащихся, обеспечении образовательных процессов современными технологиями, а также в ведении аналитической обработки данных об образовательных учреждениях.

Несмотря на широкое распространение КАИС КРО имеет ряд недостатков в коммуникационной части. Среди них:

- отсутствие возможности самостоятельной регистрации учащегося на Портале «Петербургское образование» (далее – Портал);
- отсутствие личной страницы пользователя и её отображения другим пользователям с необходимой информацией о нём на Портале;
- отсутствие удобного инструмента обмена сообщениями между двумя пользователями, между группой пользователей на Портале;
- отсутствие возможности отправки другим пользователям аудио- и видеосообщений на Портале;
- отсутствие возможности обмена различного вида файлов другим пользователям на Портале;
- отсутствие адаптивности Портала под различные устройства и мобильного приложения Портала.

Представляется необходимым модернизация КАИС КРО для обеспечения процессов коммуникации в образовательном учреждении современными технологиями. КАИС КРО рекомендуются изменения и усовершенствования, среди которых:

- предоставление возможности учащимся самостоятельной регистрации на Портале;
- представление личного кабинета на Портале в виде профиля с необходимой личной информацией;

- предоставление возможности ведения портфолио на Портале, заполняемого не только администратором образовательного учреждения в подсистеме «Параграф», но и пользователем Портала;
- обеспечение обратной связи при выгрузке данных учителями из подсистемы «Параграф» в Портал в форме отчётов о доставке и/или оповещений;
- предоставление возможности обмена сообщениями между двумя пользователями, между группой пользователей на Портале;
- предоставление возможности создания групп пользователей на Портале (классы учащихся, кружки и секции, родительский комитет и др.) согласно их атрибутам, таким как должность, статус в общеобразовательном учреждении, возраст, пол, принадлежность к учебному классу, изучаемые дисциплины, посещение дополнительных занятий и т. п.;
- предоставление возможности отправки аудио- и видеосообщений на Портале;
- реализация адаптивного веб-дизайна на страницах Портала;
- создание мобильного приложения, содержащего сервисы Портала.

В качестве примера реализации может быть представлен прототип сервиса. Полученный прототип позволит наглядно представить содержание подобного ресурса для дальнейшего детального технического описания и последующей разработки.

#### Список использованных источников

1. Об утверждении программы "Цифровая экономика Российской Федерации": Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 N 1632-р. Собрание законодательства Российской Федерации. 2017. N 32, ст. 5138.
2. О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы: Указ Президента РФ от 09.05.2017 N 203. Собрание законодательства Российской Федерации. 2017. N 20, ст. 2901.
3. Об утверждении Стратегии развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации на 2014–2020 годы и на перспективу до 2025 года. Распоряжение Правительства РФ от 01.11.2013 N 2036-р. 2013. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_154161](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_154161)
4. О стратегии экономического и социального развития Санкт-Петербурга на период до 2030 года: Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 13.05.2014 N 355. [Электронный ресурс]. 2014. URL: [https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c\\_econom/strategiya-socialno-ekonomicheskogo-razvitiya-sankt-peterburga-do-2030](https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c_econom/strategiya-socialno-ekonomicheskogo-razvitiya-sankt-peterburga-do-2030)).
5. О создании государственной информационной системы Санкт-Петербурга "Комплексная автоматизированная информационная система каталогизации ресурсов образования Санкт-Петербурга": Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 23.06.2011 N 802. 2011. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=SPB&n=149728#04801715007750169>.

*Статья представлена научным руководителем,  
доктором технических наук, профессором Верховой Г. В., СПбГУТ.*

УДК 501

Р. С. Аксенов, Д. Д. Дробязго (студенты, СПбГУТ)

## СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ФИЗИКЕ "ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА МЕТОДОМ ОТКЛОНЕНИЯ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ"

*В данной статье описывается процесс создания виртуальной лабораторной работы в среде программы LabVIEW. Перед нами была поставлена задача – дополнить практикум по разделу «Магнетизм» ранее существовавшей лабораторной работой «Определение удельного заряда электрона методом отклонения пучка электронов в магнитном поле».*

*физический практикум, виртуальная лабораторная работа, LabVIEW.*

В учебной лаборатории кафедры физики студенты первых курсов не только знакомятся с приборами, используемым в технике эксперимента, но и с научным подходом к получению, анализом и обработке результатов измерений. Лабораторный практикум важен для лучшего понимания физики и для знакомства с методами проведения экспериментальных научных исследований. Приобретение студентами необходимых навыков и знаний по технике эксперимента следует рассматривать как важнейшую задачу по подготовке специалистов высокой квалификации.

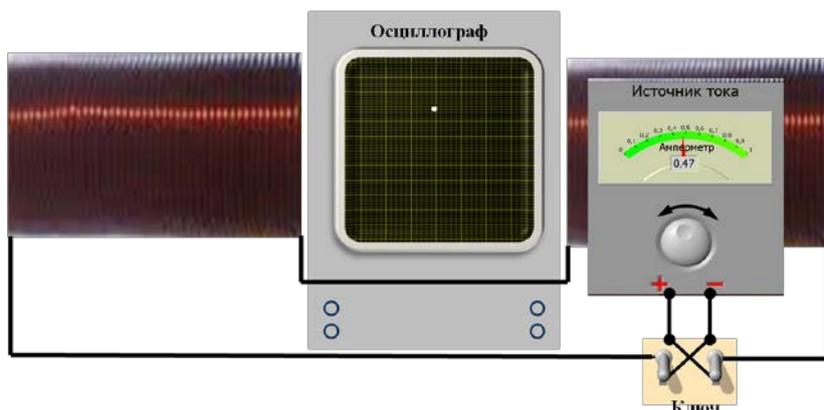
Перед нами была поставлена задача – дополнить практикум по разделу «Магнетизм» ранее существовавшей, но утраченной, лабораторной работой «Определение удельного заряда электрона методом отклонения пучка электронов в магнитном поле» [1].

Для оперативного восстановления лабораторной работы мы решили смоделировать её виртуально на базе компьютера и предоставить студентам возможность работать с экспериментальным оборудованием в виртуальной лаборатории, т. е. воспроизвести манипуляции, которые студент должен выполнять на реальном оборудовании.

Работа состоит в измерении отклонения пучка электронов в электронно-лучевой трубке, помещённой в поперечное однородное магнитное поле, создаваемое катушками соленоида, расположенными по обе стороны от осциллографа (см. рис. 1).

Измеряя силу тока  $I$  в витках соленоида, можно рассчитать индукцию магнитного поля  $B$ . По величине смещения пятна на экране осциллографа для определённого значения индукции вычисляется радиус кривизны траектории электронов  $R$ . Наконец, зная величину ускоряющего напряжения  $U$ , в электронно-лучевой трубке, легко рассчитать чему равен удельный

заряд электрона, т. е. отношение заряда электрона  $e$  к его массе  $m$  по формуле:



$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 R^2}. \quad (1)$$

Для создания виртуальной лабораторной работы на компьютере мы разработали интерфейс, представляющий реальную экспериментальную установку, и поместили его на

Рис. 1. Изображение экспериментальной установки виртуальной лабораторной работы

главной панели в программе LabVIEW [2].

Пользователь, задавая величину тока ( $I$ ) (от нуля до 1 А) при помощи регулировочной ручки на корпусе источника, может наблюдать на экране смещение пятна от виртуального луча осциллографа ( $A$ ) от нуля до 10 см в вертикальном направлении. При изменении направления тока в соленоиде при помощи переключателя под амперметром происходит смещение пучка в противоположном направлении.

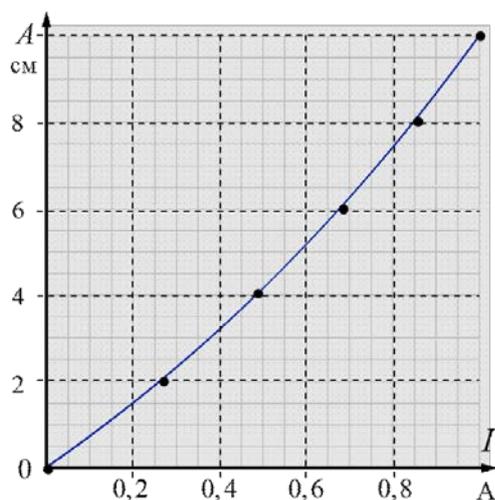


Рис. 2. Зависимость смещения луча от силы тока в соленоиде

На втором этапе разработки, исходя из известной величины удельного заряда электрона и заданных характеристик соленоида и осциллографа, указанных на нижней части лицевой панели (рис. 1), нами теоретически была рассчитана зависимость величины отклонения пятна на экране ( $A$ ) от силы тока в витках соленоида ( $I$ ). Результаты расчетов представлены на рис. 2 в виде точек. Как оказалось, исследуемая зависимость аналитически может быть представлена в виде:

$$A(I) = 10 \cdot (2^I - 1) \text{ см}. \quad (2)$$

График этой функции построен на рис. 2 в виде линии и хорошо согласуется с теоретическими расчетами для данной конфигурации эксперимента, т. е. для соленоида и осциллографа, используемого в компьютерной модели опыта.

Среда программирования LabVIEW содержит инструменты, позволяющие создавать универсальные приложения. Особенно их удобно использовать для симуляции физических процессов. В основе LabVIEW лежит концепция графического программирования, а значит ей могут пользоваться даже те, кто не умеет программировать на обычных языках программирования.

В LabVIEW программа состоит из двух частей:

- блочной диаграммы (редактирование);
- лицевой панели (внешний вид).

В окне блочной диаграммы пользователь редактирует и создает программу, используя блоки. В этом окне вы сможете задать внешний вид устройств на лицевой панели и вставить управляющие конструкции для корректного выполнения программы.

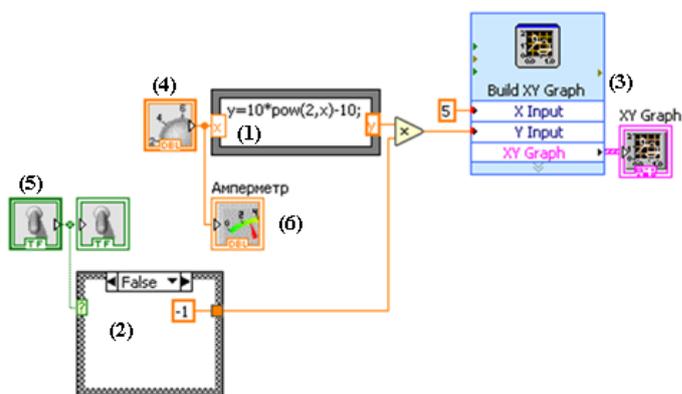


Рис. 3. Изображение блок диаграммы виртуальной лабораторной работы

На рис. 3 вы можете изнутри увидеть виртуальную установку. В ней отмечены все главные части:

1. Ввод функции и взятие значения  $y$ ;
2. Изменение направления полета пучка электронов;
3. Вывод изображения на экран осциллографа;
4. Получение значения силы тока;
5. Имитация одновременного срабатывания двух переключателей направления тока;
6. Вывод значения силы тока на экран амперметра.

#### Список использованных источников

1. Методические указания к лабораторным работам по разделу «Электромагнетизм». Л.: ЛЭИС, 1990.
2. Мусаева Т. В. Моделирование телекоммуникационных устройств. Графическая среда программирования: методические указания. СПб.: СПбГУТ, 2017.

*Статья представлена научным руководителем, кандидатом физико-математических наук, доцентом Андреевым А. Д., СПбГУТ.*

УДК 519.688

А. О. Жаранова (студентка, СПбГУТ)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ MICROSOFT EXCEL ПРИ ИЗУЧЕНИИ СТУДЕНТАМИ КУРСОВ ЛИНЕЙНОЙ АЛГЕБРЫ, ГЕОМЕТРИИ И ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

*В начале статьи приводится краткий сравнительный анализ математических пакетов, таких как Mathcad, MATLAB и Mathematica. Объясняется, почему в центре статьи находится Microsoft Excel.*

*В статье рассказывается о применении пакета MS Excel в обучении студентов курсу линейной алгебры и геометрии, а также линейному программированию. Данный пакет позволяет решать множество трудоемких задач и при этом прост в использовании, но крайне редко применяется в процессе обучения.*

*Приводятся примеры и указания к использованию MS Excel, после чего делается вывод о том, что данный пакет является оптимальным при изучении студентами курсов линейной алгебры, геометрии и линейного программирования.*

*линейная алгебра, геометрия, линейное программирование, математика, математические пакеты, Mathcad, MATLAB, Mathematica, Microsoft Excel, поиск решений, система.*

Математические пакеты позволяют с наименьшей тратой времени решать множество трудоемких задач и при этом избегать ошибок в вычислениях. Раньше такие системы были сугубо профессиональными, но на сегодняшний день используются широкой категорией пользователей, позволяя производить как простейшие вычисления, так и сложные инженерные-технические расчеты.

Специализированных программных комплексов становится все больше, но в этой статье будут рассмотрены самые известные из них, а именно Mathcad, MATLAB и Mathematica. Был произведен анализ по следующим критериям: минимальные требования к системе, преимущества и недостатки. Результаты анализа можно увидеть в табл.

Рассмотренные программные комплексы, безусловно, имеют большой функционал и являются неотъемлемой частью серьезных научных исследований. Однако необходимы ли они студентам, обучающимся математике?..

Рассмотрим программу для работы с электронными таблицами Microsoft Excel (далее – MS Excel). Данное средство нацелено на обработку табличных данных и никак не может подходить для решения серьезных математических вопросов. Однако в данной программе имеется ряд функциональных возможностей, которые позволяют решать основные задачи, которые встают перед студентами во время изучения курсов линейной алгебры, геометрии и линейного программирования.

ТАБЛИЦА. Сравнение математических пакетов

	Требования к системе	Преимущества	Недостатки
Mathcad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• процессор Pentium II или выше;</li> <li>• 128 Мбайт оперативной памяти (рекомендуется 256 Мбайт или больше);</li> <li>• 200–400 Мбайт дискового пространства;</li> <li>• операционные системы: Windows 98/Me/NT 4.0/2000/XP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• решение алгебраических уравнений и систем;</li> <li>• решение обыкновенных дифференциальных уравнений и систем;</li> <li>• статистическая обработка данных;</li> <li>• работа с векторами и матрицами;</li> <li>• поиск минимумов и максимумов функциональных зависимостей.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ограниченные возможности существующих операторов;</li> <li>• трудности реализации сложных алгоритмов.</li> </ul>
MATLAB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• процессор Pentium III, 4, Xeon, Pentium M; AMD Athlon, Athlon XP, Athlon MP;</li> <li>• 256 Мбайт оперативной памяти (рекомендуется 512 Мбайт);</li> <li>• 400 Мбайт дискового пространства (только для самой системы <i>MatLab</i> и ее <i>Help</i>);</li> <li>• операционная система Microsoft Windows 2000 (SP3)/XP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• математические вычисления;</li> <li>• обширная библиотека математических функций;</li> <li>• управление графиками;</li> <li>• создания алгоритмов;</li> <li>• анализ, исследование и визуализация данных;</li> <li>• возможность создания интерфейса.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• низкая интегрированность среды (большое количество окон);</li> <li>• не самая удачная справочная система;</li> <li>• специфический редактор кода MatLab-программ.</li> </ul>
Mathematica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• процессор Pentium II или выше;</li> <li>• 128 Мбайт оперативной памяти (рекомендуется 256 Мбайт или больше);</li> <li>• 400–550 Мбайт дискового пространства;</li> <li>• операционные системы: Windows 98/Me/ NT 4.0/2000/2003 Server/2003x64/XP/XP x64 [1].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• широкий набор встроенных математических функции (более 200);</li> <li>• поддержка вычислений в области комплексных чисел;</li> <li>• решение систем уравнений;</li> <li>• возможность вычисления производных и интегралов;</li> <li>• матричные и векторные вычисления [2].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• специфический язык программирования Wolfram Language;</li> <li>• имеется более 10 кнопочных палитр, в которых, на первый взгляд, сложно ориентироваться (однако есть подробная система помощи).</li> </ul>

При помощи выражения  $\text{=КОРЕНЬ(СУММКВ())}$  (где B4:B5 – ячейки с координатами вектора) можно вычислить длину (модуль) вектора (рис. 1).

B7		: X ✓ f_x		=КОРЕНЬ(СУММКВ(B4:B5))		
	A	B	C	D	E	F
1	<b>Вычисление длины вектора по его координатам</b>					
2						
3		<b>Вектор АВ</b>				
4	$a_x$	3	0			
5	$a_y$	4	0			
6						
7	<b>Длина вектора</b>	<b>5</b>				

Рис. 1. Нахождение длины вектора

При помощи выражения  $\text{=МОПРЕД()}$  можно найти смешанное произведение векторов (рис. 2).

B7		: X ✓ f_x		=МОПРЕД(B3:D5)	
	A	B	C	D	E
1	<b>Смешанное произведение векторов <math>a^*[b \times c]</math></b>				
2		<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>	
3	<b>Вектор 1</b>	1	2	3	
4	<b>Вектор 2</b>	-4	5	6	
5	<b>Вектор 3</b>	7	8	9	
6					
7	<b>Смешанное произведение</b>	<b>-48</b>			

Рис. 2. Нахождение смешанного произведения векторов

При помощи выражения  $\text{=СУММПРОИЗВ()}$  можно посчитать скалярное произведение векторов (рис. 3).

D7		: X ✓ f_x		=СУММПРОИЗВ(B4:C4;B5:C5)			
	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>1. Скалярное произведение векторов (на плоскости)</b>						
2							
3		$a_x$	$a_y$				
4	<b>Вектор 1</b>	1	2				
5	<b>Вектор 2</b>	3	4				
6							
7	<b>Скалярное произведение</b>	<b>11</b>					

Рис. 3. Нахождение скалярного произведения

Также MS Excel может применяться для ряда геометрических задач, таких как нахождение длин сторон, углов, площади треугольника, объема пирамиды, двугранного угла, уравнения плоскости, координат точек.

Помимо простоты и повсеместности использования, MS Excel имеет одно веское преимущество по сравнению с серьезными программными комплексами: возможность реализации пошагового решения «как на бумаге». И это является оптимальным при обучении студентов математике. В то время как большинство программных средств выдает готовый ответ на поставленную задачу практически без участия студента и его знаний, в MS Excel можно проследить всю логику и ход решения.

Рассмотрим пример, изображенный на рис. 4. При помощи выражения =МОПРЕД() (нахождение определителя матрицы) по методу Крамера решим систему линейных уравнений.

4			A				B			Ответ	
5			-2	3	0		-2			13	
6			3	-3	2		1			8	
7			1	2	4		1			-7	
8											
9			d=detA= 2				нахождение определителя				
10											
11											
12			-2	3	0						
13		d1=	1	-3	2	=	26		x1=	$\frac{d1}{d} =$	13
14			1	2	4						
15											
16											
17			-2	-2	0						
18		d2=	3	1	2	=	16		x2=	$\frac{d2}{d} =$	8
19			1	1	4						
20											
21											
22			-2	3	-2						
23		d3=	3	-3	1	=	-14		x3=	$\frac{d3}{d} =$	-7
24			1	2	1						

Рис. 4. Решение системы уравнений методом Крамера

На рис. 5 изображено решение системы линейных уравнений при помощи метода обратной матрицы и выражений =МОПРЕД(), =МОБР() (нахождение обратной матрицы) и =МУМНОЖ() (матричное умножение).

4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						

Рис. 5. Решение системы уравнений методом обратной матрицы

Помимо ряда функций, помогающих в решении задач, в MS Excel имеется «Поиск решений». Это программная надстройка MS Excel, которая также позволяет решать множество задач (например, поиск оптимального целочисленного плана).

Несмотря на то, что MS Excel не подходит для внедрения серьезных математических алгоритмов и для решения сложных математических задач, данное программное средство является оптимальным при изучении студентами курсов линейной алгебры, геометрии и линейного программирования.

#### Список использованных источников

1. Татарников О. Обзор программ для символьной математики // Компьютер-Пресс: компьютерный журнал. URL: <https://compress.ru/article.aspx?id=16152>.
2. Пакеты для математической обработки данных // Компьютерные информационные технологии. URL: <http://bseu.by/it/oivt/tema7v1.htm>.
3. Воробьев Е. М. Введение в систему "Математика". М.: Финансы и статистика, 1998. 262 с.

*Статья представлена научным руководителем, кандидатом физико-математических наук, доцентом Алексеевым А. Б., СПбГУТ.*

УДК 621.396.69

**В. Ф. Дмитриков** (доктор технических наук, профессор, СПбГУТ)**А. И. Катасонов, С. А. Кузнецов** (студенты, СПбГУТ)

## ФИЛЬТРЫ И ИХ РАЗНОВИДНОСТИ

*Представлены виды классификации фильтров по взаимному расположению полосы пропускания и полосы заграждения, по аппроксимации, по конструкции, по вариантам реализации. Приведен анализ различных типов фильтров по основным характеристикам.*

*аналоговый фильтр, цифровой фильтр, пассивный фильтр, активный фильтр, линейный фильтр, нелинейный фильтр, фильтр Чебышева, фильтр Баттерворта, эллиптический фильтр, фильтр Калмана.*

Фильтры являются частью техники СВЧ и применяются для конвергенции сигналов по частоте. К ним предъявляют все возрастающие требования в отношении электрических характеристик, миниатюризации и адаптации к конструкторско-технологическим возможностям. Это обусловлено разнообразием технических требований, предъявляемых к характеристикам фильтров: затухание, селективность, уровень мощности в нагрузке, технологические и массогабаритные ограничения и объективными трудностями проектирования многофункциональных устройств с совмещенными функциями по обработке радиосигналов. Создание конкурентоспособного устройства представляет собой комплекс трудоемких и насыщенных новизной научных и технических задач, среди которых ключевой является проблема синтеза новых структур. Успешный выбор структуры в сочетании с развитыми методами аппроксимации, оптимизации и реализации представляет большие потенциальные возможности. Ввиду многообразия задач при использовании различных структур фильтров разработка новых вариантов их реализуемости по-прежнему актуальна.

Фильтр в электронике – устройство для выделения желательных компонентов спектра электрического сигнала и/или подавления нежелательных.

**Аналоговый фильтр** – разновидность электронных, механических, или звуковых фильтров, имеющих дело с аналоговыми или непрерывными сигналами, такими как напряжение, звук или механическое движение. В отличие от них цифровые фильтры имеют дело с дискретными сигналами.

**Цифровой фильтр** – в электронике любой фильтр, обрабатывающий цифровой сигнал с целью выделения и/или подавления определённых частот этого сигнала. В отличие от цифрового, аналоговый фильтр имеет дело с аналоговым сигналом, его свойства не дискретны, соответственно передаточная функция зависит от внутренних свойств составляющих его элементов.

С распространением цифровой техники аналоговые фильтры активно вытеснялись цифровыми фильтрами, однако существуют приложения, в которых

использование цифровых фильтров нецелесообразно. Ниже даны сравнительные характеристики двух типов фильтров по некоторым ключевым параметрам:

- **Стоимость:** цифровые фильтры в целом дешевле аналоговых, поскольку обычно не требуют сложной элементной базы
- **Скорость:** скорость работы аналоговых фильтров выше скорости цифровых фильтров. Это связано с ограниченностью вычислительных ресурсов микроконтроллеров, на которых обычно выполнены цифровые фильтры.
- **Шум квантования:** цифровые фильтры могут иметь значительный шум квантования, тогда как аналоговые фильтры лишены этого недостатка.
- **Внешний шум:** цифровой сигнал практически невозможно изменить под действием внешнего шума, поэтому цифровые фильтры очень устойчивы ко внешним возмущающим сигналам и шумам. Аналоговые фильтры подвержены этому влиянию.
- **Динамический диапазон:** отношение амплитуд максимального и минимального сигналов, с которыми может работать фильтр. Для аналоговых фильтров обычно много выше, чем для цифровых фильтров. Это отношение для цифровых фильтров часто ограничивается разрядностью аналогово-цифрового преобразователя.
- **Частотный диапазон:** частотный диапазон цифровых фильтров ограничивается частотой Найквиста (Частота Найквиста – в цифровой обработке сигналов частота, равная половине частоты дискретизации), тогда как для аналоговых фильтров подобного ограничения нет.

**Пассивный фильтр** – электронный фильтр, состоящий только из пассивных компонентов, таких как, к примеру, конденсаторы и резисторы. Пассивные фильтры не требуют никакого источника энергии для своего функционирования. В отличие от активных фильтров в пассивных фильтрах не происходит усиления сигнала по мощности. Практически всегда пассивные фильтры являются линейными.

**Активный фильтр** – один из видов аналоговых электронных фильтров, в котором присутствует один или несколько активных компонентов, к примеру, транзистор. В активных фильтрах используется принцип отделения элементов фильтра от остальных электронных компонентов схемы. Часто бывает необходимо, чтобы они не оказывали влияния на работу фильтра. Применение усилителей в активных фильтрах позволяет увеличить наклон частотной характеристики в полосе заграждения (ПЗ), что недостижимо при каскадном соединении пассивных RC-цепочек.

Существует несколько различных типов активных фильтров, некоторые из которых имеют и пассивную форму:

- **Фильтр верхних частот (ФВЧ)** – ослабляет амплитуды гармонических составляющих сигнала выше частоты среза.
- **Фильтр нижних частот (ФНЧ)** – ослабляет амплитуды гармонических составляющих сигнала ниже частоты среза.

- Полосовой фильтр (ПФ) – ослабляет амплитуды гармонических составляющих сигнала выше и ниже некоторой полосы.

- Режекторный фильтр (РФ) – ослабляет амплитуды гармонических составляющих сигнала в определенной ограниченной полосе частот.

**Линейный фильтр** – динамическая система, применяющая некий линейный оператор ко входному сигналу для выделения или подавления определённых частот сигнала и других функций по обработке входного сигнала. Линейные фильтры широко применяются в электронике, цифровой обработке сигналов и изображениях, в оптике, теории управления и других областях. Наиболее часто они используются для того, чтобы подавить нежелательные частоты входного сигнала или для того, чтобы выделить нужную полосу частот в сигнале. Несмотря на природу фильтра – механическую, оптическую, электронную, программную или электрическую, а также на частотный диапазон, в котором они работают, математическая теория линейных фильтров универсальна и может быть применена к любому из них.

**Нелинейный фильтр** – устройство для обработки сигналов, выход которого не является линейным оператором от входного сигнала. Нелинейные фильтры широко используются в технике, электронике, теории управления и обработке сигналов. Особенно часто нелинейные фильтры используются в цифровой обработке изображений.

**Фильтр Чебышева** – один из типов линейных аналоговых или цифровых фильтров, отличительной особенностью которого является более крутой спад амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и существенные пульсации АЧХ на частотах полос пропускания (ПП) (фильтр Чебышева I рода) и ПЗ (фильтр Чебышева II рода), чем у фильтров других типов. Фильтр получил название в честь известного русского математика XIX века Пафнутия Львовича Чебышева, так как характеристики этого фильтра основываются на многочленах Чебышева.

**Фильтры Чебышева I рода** обычно используются там, где требуется с помощью фильтра небольшого порядка обеспечить требуемые характеристики АЧХ, в частности, хорошее подавление частот из ПЗ, и при этом гладкость АЧХ на частотах ПП и ПЗ не столь важна.

**Фильтр Чебышева II рода** (инверсный фильтр Чебышева) используется реже, чем фильтр Чебышева I рода ввиду менее крутого спада АЧХ, что приводит к увеличению числа компонентов. У него отсутствуют пульсации в ПП, однако присутствуют в ПЗ.

**Фильтр Баттерворта** – один из типов электронных фильтров. Фильтры этого класса отличаются от других методом проектирования. Фильтр Баттерворта проектируется так, чтобы его АЧХ была максимально гладкой на частотах ПП. Это единственный из фильтров, сохраняющий форму АЧХ для более высоких порядков (за исключением более крутого спада характеристики на ПЗ), тогда как многие другие разновидности фильтров (фильтр Бесселя, фильтр Чебышева, эллиптический фильтр (ЭФ)) имеют различные формы АЧХ при различных порядках. В сравнении с фильтрами Чебышева I и II типов или ЭФ, фильтр Баттерворта

имеет более пологий спад характеристики и поэтому должен иметь больший порядок (что более трудно в реализации) для того, чтобы обеспечить нужные характеристики на частотах ПЗ. Однако фильтр Баттерворта имеет более линейную фазо-частотную характеристику (ФЧХ) на частотах ПП.

Как и для всех фильтров при рассмотрении частотных характеристик используют ФНЧ, из которого легко можно получить ФВЧ, ПФ или РФ.

Фильтры Бесселя, Баттерворта и Чебышева – это полиномиальные фильтры, у которых полюса затухания расположены на 0 и на бесконечности, а у ЭФ на конечных частотах. Поэтому можно менять геометрические размеры фильтра просто меняя расположения полюсов затухания.

**Эллиптические фильтры** – один из типов линейных аналоговых или цифровых фильтров, отличительной особенностью которого является более крутой спад АЧХ и существенные пульсации АЧХ на частотах ПП и ПЗ по сравнению с полиномиальными фильтрами. Частотные характеристики ЭФ аппроксимируются с помощью дробей Золотарева и эллиптических функций Якоби. Поэтому методики проектирования фильтров этого класса существенно усложнены по сравнению с методиками проектирования упоминаемых выше фильтров. Они отличаются от других методом проектирования. ЭФ проектируется так, чтобы его АЧХ была равноволновой как в ПП, так и в ПЗ. Функция передачи ЭФ имеет как полюсы, так и нули. Нули, являются чисто мнимыми и образуют комплексно-сопряженные пары. Количество нулей передачи равно максимальному четному числу, не превосходящему порядок фильтра. АЧХ имеет пульсации заданной величины, как в ПП, так и в ПЗ. За счет этого удается обеспечить максимально возможную крутизну ската, т. е. переходную зону между ПП и ПЗ.

**Фильтр Калмана** – эффективный рекурсивный фильтр, оценивающий вектор состояния динамической системы, используя ряд неполных и зашумленных измерений. Фильтр Калмана предназначен для расчёта текущего состояния системы. Необходимо знать текущее измерение, а также предыдущее состояние самого фильтра. Таким образом, фильтр Калмана, подобно другим рекурсивным фильтрам, реализован во временном, а не в частотном представлении.

**Фильтр Бесселя** – в электронике и обработке сигналов один из распространённых типов линейных фильтров, отличительной особенностью которого является максимально гладкая групповая задержка (линейная ФЧХ). Их групповая задержка практически не изменяется по частотам ПП, вследствие чего форма фильтруемого сигнала на выходе такого фильтра в ПП сохраняется практически неизменной. Фильтр Бесселя имеет наименьшую крутизну характеристики, в то же время он не имеет пульсаций АЧХ ни в ПП, ни в ПЗ. По порядку передаточной функции различают фильтры первого, второго и более высоких порядков. Крутизна ЛАЧХ фильтра 1-го порядка в ПЗ равна 20 дБ на декаду, фильтра 2-го порядка – 40 дБ на декаду, и т. д.

**Фильтры Найквиста** сильно фильтруют сигнал без размывания символов за время символа. Это важно для передачи информации без ошибок, вызванных межсимвольной интерференцией. Необходимо заметить, что межсимвольная ин-

терференция существует все время, исключая лишь символьное время (время принятия решения о значении символа). Обычно фильтр разделен: половина находится в передающей, а половина – в приемной части. В этом случае в каждой части используются корневые фильтры Найквиста, так что их комбинированный отклик равен отклику целого фильтра Найквиста.

Анализируя показатели, представленные в (табл.), можно сделать следующие выводы: самую малую ошибку аппроксимации в полосе пропускания имеет модифицированная АФ, но в свою очередь она имеет самую большую ошибку аппроксимации в полосе заграждения. При синтезе цепей по критерию максимального подавления в полосе заграждения следует использовать функцию Лагера. Необходимо отметить, что функция Баттерворта не используется при синтезе цепей по данному критерию, так как она имеет малую ошибку аппроксимации в полосе заграждения за счет высокой ошибки в переходной полосе.

ТАБЛИЦА. Сравнительная таблица величин интегральной квадратичной ошибки аппроксимации на интервалах  $[0; 1]$  и  $[1; \infty]$

Тип АФ	Величина интегральной квадратичной ошибки аппроксимации на интервале $[0; 1]$	Величина интегральной квадратичной ошибки аппроксимации на интервале $[1; \infty]$
Баттерворта	0,018	0,021
Чебышева	$4,528 \cdot 10^{-3}$	0,039
Инверсная Чебышева	0,037	0,04
Кауэра (ЭФ)	$4,662 \cdot 10^{-3}$	0,03
Модификация АФ Чебышева	$4,5043 \cdot 10^{-3}$	0,025
Модификация АФ Чебышева	$4,003 \cdot 10^{-3}$	$\infty$
Модификация АФ Чебышева	$2,778 \cdot 10^{-3}$	0,081
Модификация АФ Чебышева	$4,5513 \cdot 10^{-3}$	0,051

Таким образом, в данной статье рассмотрены различные виды классификаций фильтров по основным характеристикам. Так же представлены сравнительные таблицы достоинств и недостатков различных видов фильтров.

#### Список использованных источников

1. Кубалова А. Р., Томашевич С. В. Анализ и синтез микроволновых эллиптических фильтров: монография. СПб.: Изд-во СПбГУТ, 2013. 360 с.

*Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом Кубаловой А. Р., СПбГУТ.*

УДК 654.739

О. С. Качалова, О. Ю. Мирошников (студенты, СПбГУТ)

**ОРУЖИЕ НА НОВЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПАХ.  
РАДИОЧАСТОТНОЕ ОРУЖИЕ**

*Оружие на новых физических принципах (нетрадиционное оружие) – условный термин, под которым в самом широком смысле подразумеваются новые виды системы вооружения, поражающие факторы которых основываются на ранее не использовавшихся в военном деле природных явлениях и физических процессах. В статье особое внимание уделяется изучению принципа действия радиочастотного оружия.*

*Задачами статьи являются изучение и анализ литературных источников, выявляющих поражающие факторы и преимущества радиочастотного оружия.*

*Актуальность темы определяется тем, что в мировой политике все более явно просматривается уход от силовой политики с применением традиционных видов оружия массового поражения. Ведущие мировые державы осуществляют поиск все более совершенных способов ведения борьбы за сохранение своих доминирующих позиций в политическом процессе.*

*оружие на новых физических принципах, радиочастотное оружие, поражающий фактор, принцип работы.*

В условиях глобализации коренным образом изменяются формы и способы вечной борьбы государств, в том числе и способы ведения войн. Раньше главной целью войны был захват территории. В наше время на первый план выходит борьба за ресурсы, за экономический, геополитический, интеллектуальный и идеологический контроль важнейших регионов мира. В связи с этим наблюдается эволюция средств ведения войны.

Наряду с развитием традиционных видов оружия во многих странах большое внимание уделяется работам по созданию нетрадиционного оружия или, как принято говорить, оружия на новых физических принципах.

Оружие на новых физических принципах – это вид оружия, основанный на качественно новых или ранее не использовавшихся физических, биологических и других принципах действия и технических решениях. Его создание и применение базируется на достижениях в новых областях знаний и на новых технологиях.

Существуют различные виды оружия на новых физических принципах: лучевое (лазерное и ускорительное), инфразвуковое, радиочастотное, геофизическое, геновое, аннигиляционное, кинетическое оружие, новые виды несмертельного оружия и средства ведения информационной войны [1].

Лучевое оружие – это совокупность устройств (генераторов), поражающее действие которых основано на использовании остронаправленных лучей электромагнитной энергии или концентрированного пучка элементарных частиц, разогнанных до больших скоростей.

Инфразвуковое оружие – один из видов ОНФП, основанного на использовании направленного излучения мощных инфразвуковых колебаний.

Радиологическое оружие – вид оружия массового поражения, в котором используются радиоактивные вещества, поражающие людей ионизирующими излучениями, заражающие окружающую среду и различные объекты.

Под геофизическим оружием понимается оружие, поражающее действие которого основано на использовании в военных целях природных явлений и процессов, вызываемых искусственным путем.

Особое внимание хотелось бы уделить радиочастотному оружию.

Радиочастотным оружием называют такие средства, поражающее действие которых основано на использовании электромагнитных излучений сверхвысокой (сверхвысокая частота) или чрезвычайно низкой частоты. Диапазон сверхвысоких частот находится в пределах от 300 МГц до 30 ГГц, к чрезвычайно низким относятся частоты менее 100 Гц.

Поражающий фактор такого оружия – радиочастотное электромагнитное излучение (РЧЭМИ), которое выводит из строя электронику или биообъекты, если плотность его мощности достаточна. До 1970-х годов, источники РЧЭМИ было принято называть «неядерными», чтобы подчеркнуть отличия характеристик генерируемого ими излучения от электромагнитного импульса ядерного взрыва (ЭМИ ЯВ). Такие источники излучения в частотном диапазоне от мегагерц до сотни гигагерц, начали создаваться в Соединенных Штатах и бывшем Советском Союзе в 1960-х годах. Затем технологию РЧО переняли многие страны, создавая оружие, способное излучать РЧЭМИ мощностью от мегаватт до гигаватт [2].

Принцип работы радиочастотного оружия заключается в облучении человеческого организма электромагнитным излучением. Исследования показали, что даже при облучении достаточно низкой интенсивности в организме происходят различные нарушения, изменения. В частности, установлено негативное влияние радиочастотного излучения на ритм работы сердца вплоть до его остановки.

При этом отмечались два вида воздействия: тепловое и нетепловое. Тепловое – вызывает перегрев тканей и органов и при достаточно длительном излучении приводит к патологическим изменениям.

Нетепловое воздействие в основном приводит к функциональным нарушениям в различных органах человеческого организма, особенно в сердечно-сосудистой и нервной системах. На использовании электромагнитного излучения основана работа сверхвысокочастотных, микроволновых средств и собственно радиочастотных устройств.

Установлено, что при воздействии на центральную нервную систему наибольший биологический эффект вызывают излучения, которые по сво-

им параметрам соответствуют электромагнитным полям мозга и осуществляют координацию деятельности ее центров.

Наибольший эффект использования микроволновых устройств предполагается достигнуть за счет воздействия на радиоэлектронные системы противника. С их помощью можно нарушать работу любых электронных систем. Перспективные магнетроны и клистроны мощностью до 1 ГВт с использованием антенн с фазированной решеткой позволят буквально парализовать аэродромы, стартовые позиции ракет, центры и пункты управления, навигационные системы, вывести из строя системы управления войсками и оружием, а также блоки управления, установленные на управляемом оружии.

В результате проведенных в США экспериментов определено, что при однократном воздействии на человека излучений с определенными частотами в диапазоне радиочастот от 30 до 30 000 МГц при интенсивности более 10 МВт/см<sup>2</sup> отмечаются: головная боль, слабость, угнетенное состояние, повышенная раздражительность, чувство страха, нарушение способности принимать решения, ухудшение памяти.

Воздействие на головной мозг радиоволн в диапазоне частот 0,3–3 ГГц (дециметровые волны) при интенсивности до 2 МВт/см<sup>2</sup> вызывает ощущение свиста, жужжания, гудения, пощелкивания, исчезающие при соответствующем экранировании. Установлено также, что мощные электромагнитные излучения могут вызывать сильные ожоги, ослепление.

По мнению ученых, с помощью электромагнитных излучений можно дистанционно и целенаправленно воздействовать на человека, что позволяет использовать радиочастотное оружие для проведения психологических диверсий и дезорганизации управления войсками противника.

Электромагнитная энергия, излучаемая при разрыве СВЕРХВЫСОКАЯ ЧАСТОТА-боеприпаса, способна привести к обратимым и необратимым нарушениям работоспособности радио- и оптико-электронных средств, расположенных на различных объектах вооружения и военной техники, что позволит выводить последние из строя полностью или на определенное время.

Радиочастотные излучения способны также воздействовать на психику человека, нарушать восприятие и использование информации об окружающей действительности, вызывать слуховые галлюцинации, синтезировать дезориентирующие речевые сообщения, вводимые непосредственно в сознание человека. Защитой от воздействия радиочастотного оружия может служить экранирование – способ снижения влияния внешних электромагнитных полей, осуществляемый с помощью заземленного металлического или металлизированного экрана с высокой электрической и магнитной проводимостью [3].

К главным достоинствам радиочастотного оружия можно отнести следующее:

- обеспечение практически мгновенного воздействия на цель, т. е. воздействие поражающего фактора со скоростью света, что делает невозможным для цели уклонение от атаки маневром;

- возможность одновременного поражения нескольких целей;
- отсутствие высоких требований при наведении на цель;
- возможность регулировать степень воздействия на цель;
- бесшумность применения;
- отсутствие потребности в боезапасе в традиционном понимании;
- возможность применения на носителях различных видов базирования;

- источником электрической энергии могут быть силовые установки носителя (например, двигатели самолета);

- не наносит вреда окружающей среде;
- экономически выгодное и дешевое с учетом боевой эксплуатации, не требующее создания заводов по производству боеприпасов, их складирования и утилизации [4].

В вооруженных силах РЧО может быть применено:

- в противовоздушной обороне;
- для обороны кораблей от ракетных атак;
- для нарушения коммуникаций противника;
- для отражения ракетных атак в воздушном бою;
- против космических объектов;
- против радиолокационной техники;
- против системы управления войсками.

Доставка ЭМО к цели возможна также с помощью специальных снарядов. Электромагнитный боеприпас среднего калибра (100–120 мм) при срабатывании формирует импульс излучения длительностью в несколько микросекунд со средней мощностью в десятки мегаватт и пиковой – в сотни раз больше.

При размещении ЭМО на крылатой ракете момент его срабатывания определяется датчиком навигационной системы, на противокорабельной ракете – радиолокационной головкой наведения, а на ракете “воздух-воздух” – непосредственно системой взрывателя. Использование ракеты в качестве носителя электромагнитной боеголовки неизбежно влечет ограничение массы ЭМО из-за необходимости размещения электрических аккумуляторов для приведения в действие генератора электромагнитного излучения. Отношение полной массы боеголовки к массе запускаемого оружия составляет примерно от 15 до 30.

Эффективность ЭМО была подтверждена в военной операции “Буря в пустыне”, где применялись преимущественно самолеты и ракеты и где основной военной стратегии было воздействие на электронные устройства

сбора и обработки информации, целеуказания и элементы связи с целью парализации и дезинформации системы ПВО.

Существует достаточно оснований полагать, что в будущем все значимые боевые операции будут начинаться с массированного применения ЭМО, способного нанести серьезный ущерб военно-промышленному потенциалу страны и облегчить проведение последующих военных операций [5].

Учитывая эффективность и перспективность использования ЭМО в военных операциях, а также преимущества тех, кто владеет этим видом оружия, разработку ЭМО держат в строжайшей тайне под грифом более высоким, чем «Совершенно секретно».

С принятием на вооружение мощных мобильных микроволновых генераторов всех видов базирования появится возможность блокировать системы оружия противоборствующей стороны. Это выдвигает микроволновые средства в разряд наиболее приоритетных вооружений будущего.

Сегодня технологией ЭМО в полной мере владеют только США и Россия, однако нельзя не учитывать возможности овладения этой технологией и другими странами, в том числе странами третьего мира.

#### Список использованных источников

1. «Боевые свойства и поражающие факторы оружия на новых физических принципах. Поражающее действие возможных новых видов оружия массового поражения». URL: <http://voenservice.ru>.

2. Лэрри Л. Альтджильберс, Айра В. Меррит, Хауард Сегуайн Террористическое и нетрадиционно оружие. М.: Моркнига, 2009. 224 с.

3. Черных Г. С., Старостин А. С. Оружие на новых физических принципах, проблемы защиты населения и территорий от его поражающих факторов // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2015. Т. 5. № 2. С. 22–37.

4. Курушкин С., Ларин А., Прокофьев В. Век лучевого оружия и сверхмощных энергий // ВКО. 2011. № 1.

5. Фомичев К., Юдин Л. Электромагнитное оружие. Перспективы применения в информационной борьбе // Электроника НТБ. 1999. № 6.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом педагогических наук, подполковником Осиповым Д. Л.,  
Учебный военный центр СПбГУТ.*

УДК 621.372.413

М. А. Кондрашова (студентка, СПбГУТ)

С. Н. Колгатин (доктор технических наук, профессор, СПбГУТ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПРОВОДЯЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОЛЬЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА НА КОМПЛАНАРНОМ ВОЛНОВОДЕ

*В данной статье приведено сравнение круглой и эллиптической форм проводящих элементов резонатора. Особенность работы заключается в том, что, не изменяя диаметр и материал диэлектрика, мы получаем возможность подстраивать частоту.*

*кольцевой резонатор, эллиптические структуры, резонатор СВЧ, резонатор бегущей волны, резонатор на компланарном волноводе.*

На основе элементов микроволновой техники, обладающих резонансной характеристикой, сконструировано большое количество приборов СВЧ, к примеру, устройства для частотной селекции. За частую при проектировании схемы устанавливаются жесткие требования к геометрическим параметрам устройства. На примере объемного кольцевого резонатора на компланарном волноводе, рассмотрено смещение центральной частоты резонанса при изменении только одного элемента структуры [1, 2].

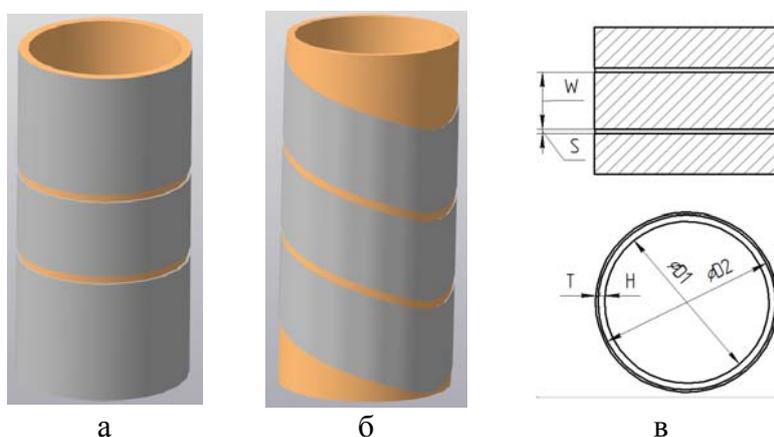


Рис. 1. Кольцевой резонатор на компланарном волноводе с круглыми (а) и эллиптическими (б) пластинами, чертеж резонатора (в)

На рис. 1 представлены 3D-модели кольцевых резонаторов, диаметр трубки и диэлектрик остаются неизменными. С точки зрения геометрии структуры резонанс будет наблюдаться при следующем условии:

$$l = n\lambda, \quad \text{где } n = 1, 2, 3 \dots$$

Следовательно, при  $n = 1$  частота резонанса макета рассчитывается по следующей формуле:

$$f = \frac{c}{l} \sqrt{\frac{2}{\varepsilon + 1}}.$$

Исходя из формул, представленных выше, был сделан вывод, что возможно добиться смещения центральной частоты, изменяя лишь длину проводящей пластины компланарного волновода [3, 4].

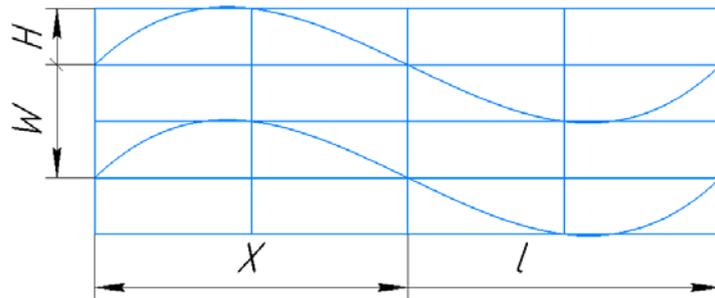


Рис. 2. Проводящая пластина эллиптической формы в развернутом виде

Для достижения необходимой формы пластины эллипс представлен в развернутой форме в виде одного периода синусоиды на рис. 2. На изменение длины, помимо формы, влияют также такие параметры, как амплитуда и количество периодов синусоиды. Длина удлиненной пластины рассчитывается по следующей формуле:

$$l' = l \frac{\alpha}{\sin \alpha}, \text{ где } \alpha = 2 \arctg \frac{2H}{X}.$$

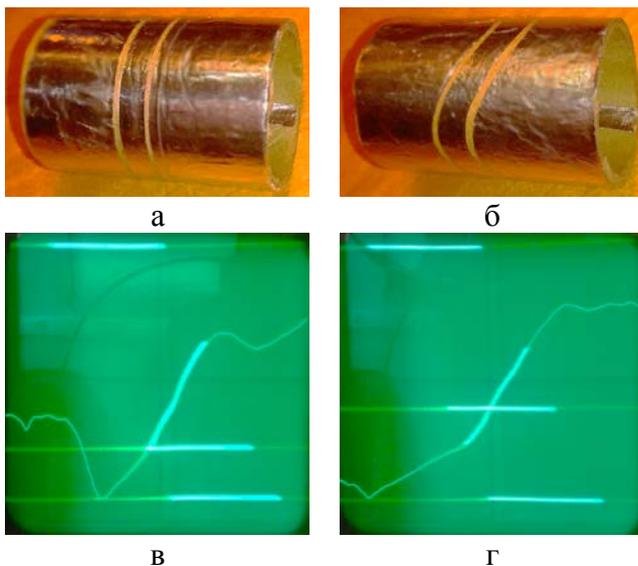


Рис. 3. Макет № 1 (а) и макет № 2 (б), их амплитуда-частотные характеристики (в, г)

Для проведения эксперимента было сделано несколько макетов. Диэлектриком являются трубки из технического картона, в качестве материала для проводящих пластин был выбран алюминий. Способ подключения резонатора к линии – емкостной.

Внешний диаметр диэлектрика макета № 1 (рис. 3а) и макета № 2 (рис. 3б) равен 33 мм. За счет двух периодов синусоиды, длина проводящей пластины увеличилась на 10 мм. Частоты,

полученные по формулам, и экспериментальные частоты в среднем различаются на 500 МГц, это связано с неидеальным качеством исполнения проводников, так же неоднородностями диэлектрика ( $f_{расч1} = 2,19$  ГГц,  $f_{расч2} = 2$  ГГц,  $f_{эксп1} = 2,849$  ГГц,  $f_{эксп2} = 2,388$  ГГц). По полученным характеристиками видно, что увеличение длины на 10 мм привело к смещению центральной частоты на 461 МГц.

Макет № 3 (рис. 4а) был синтезирован на основе совокупности трех компланарных резонаторов, несмотря на неидеальную настройку, обладает хорошей характеристикой режекторного фильтра (рис. 4в). Путем изменения формы центрального резонатора (рис. 4б) была получена характеристика, смещенная почти на 600 МГц (рис. 4 г, д).

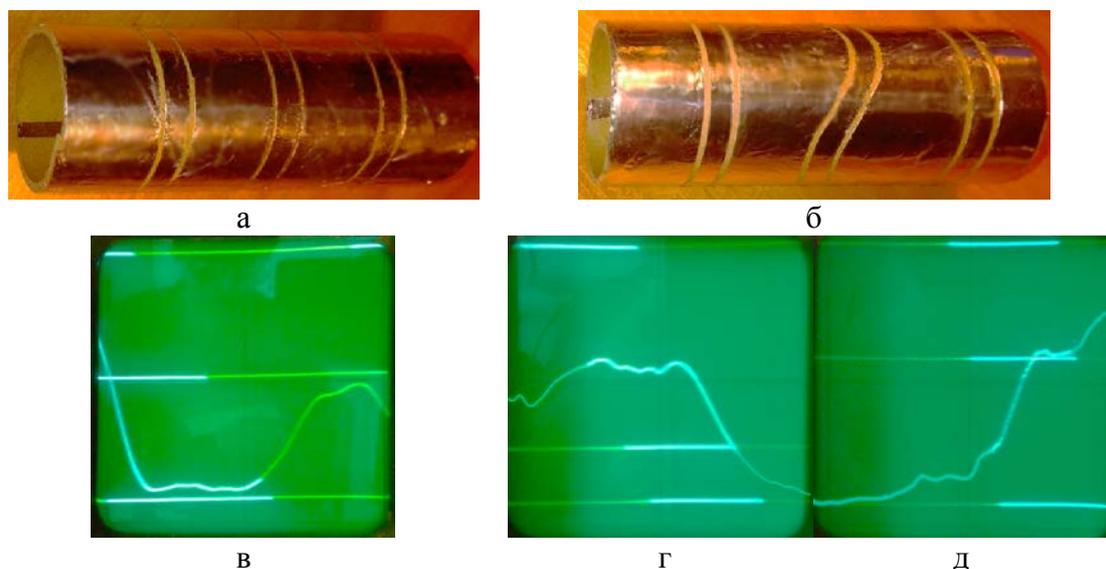


Рис. 4. Макет № 3 (а) и макет № 4 (б), их амплитуда-частотные характеристики (в, г, д).

Также было проведено исследование на диэлектрике с внешним диаметром 45 мм.

Проводящая пластина макета № 6 (см. рис. 5а) уже измененной формы и в отличие от предыдущих экспериментов расположена не по центру трубки, что также оказывает влияние на резонансную характеристику. Путем добавления к макету № 5 круглой пластины (см. рис. 5б) режекторная характеристика фильтра была смещена влево в полосе частот на 70 МГц.

Проведенные эксперименты доказали работоспособность устройств с эллиптическими пластинами. Изменяя амплитуду и количество периодов синусоиды можно добиться большего изменения длины, а значит и большего смещения частоты, а использования качественные материалы данные структуры будут высокодобротными. Данные устройства с использованием представленного метода обладают большим потенциалом, к примеру, в сфере фильтрации.

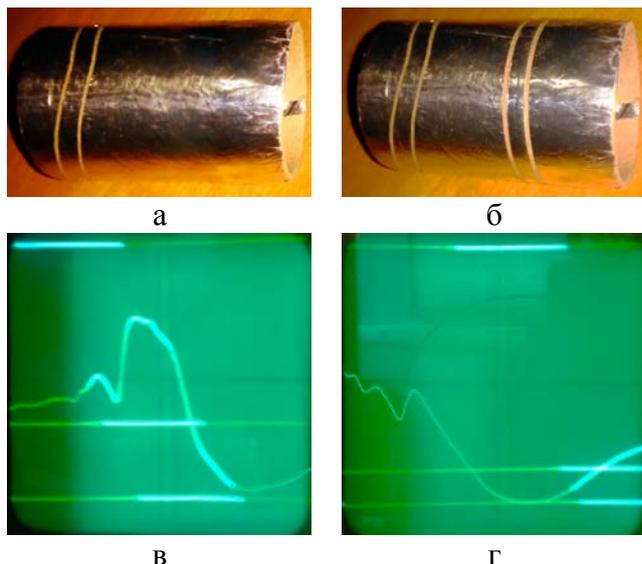


Рис. 5. Макет № 5 (а) и макет № 6 (б), их амплитуда-частотные характеристики (в, г)

конференция: сб. науч. ст. в 3 т. СПб.: СПбГУТ, 2017. С. 426–431.

4. Боброва К. В., Булатова И. А., Иванова Е. А., Седышев Э. Ю. Расчёт модифицированных линий передач для объёмных интегральных схем СВЧ. СПб.: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2015. С. 161–170.

*Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом Седышевым Э. Ю., СПбГУТ.*

### УДК 621.3

**Е. А. Коновалова, М. О. Подольская** (студентки, СПбГУТ)

## РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ НА ПК ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ *p-n*-ПЕРЕХОДА

*Внедрение новых технологий информатизации во многие области деятельности человека дает возможности развития новых методов обучения, применимых в вузах. Одним из них является перспективное направление дистанционного обучения (ДО). Особенностью ДО является академическая мобильность и возможность повышения профессиональных навыков в течение жизни. Спецификой разработки системы ДО является перенос учебных и контрольно-оценочных материалов в информационную среду. Представлены результаты разработки, предложены схемы, подобраны их параметры.*

### Список использованных источников

1. Маттей Г. Л., Янг Л., Джонс Е. М. Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи: в 2 т. М.: Связь, 1971. Т. 1. 440 с.

2. Гвоздев В. И., Нефедов Е. И. Объемные интегральные схемы СВЧ. М.: Наука, 1985. 256 с.

3. Бочаров Е. И., Рыбалко И. А., Седышев Э. Ю., Селиверстов Л. А., Сикора Г. Р. Устройства частотной селекции и стабилизации частоты на эллиптических резонаторах // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3 т. СПб.: СПбГУТ, 2017. С. 426–431.

*p-n-переход, дистанционное обучение (ДО), биполярный транзистор, полевой транзистор, вольтамперные характеристики, Electronics Workbench.*

На сегодняшний день при расчете и проектировании полупроводниковых приборов и элементов интегральных микросхем преимущественно используются системы компьютерного проектирования. В высших учебных заведениях в ходе образовательного процесса необходимо сохранить и периодически совершенствовать инженерные расчеты и проектирование полупроводниковых приборов и элементов интегральных микросхем. В то же время возрастает роль компьютерного проектирования в ходе дистанционного обучения. Дистанционное обучение – это самостоятельная форма обучения, реализуемая специфичными средствами интернет-технологий или другими средствами, предусматривающими интерактивность. Особенность дистанционного обучения заключается в том, что учащиеся в основном, а часто и совсем, отдалены от преподавателя в пространстве и во времени, в то же время они имеют возможность в любой момент поддерживать диалог с помощью средств телекоммуникаций.

Одной из основных технологий ДО являются средства компьютерного обучения (электронные учебники, компьютерное тестирование и контроль знаний, новейшие средства мультимедиа).

С учетом вышесказанного целью данного исследования является разработка и внедрение комплекса лабораторных работ на ПК по теме исследование характеристик устройств на основе *p-n*-перехода для реализации и развития технологий дистанционного обучения студентов через образовательный портал СПбГУТ по дисциплинам «Электроника» и «Электроника и схемотехника». Для этого была разработана схема лабораторного макета, проведён сравнительный анализ различных программных обеспечений (ПО) для реализации программного комплекса, а так же проведены экспериментальные измерения в программном обеспечении.

В качестве макета для лабораторной работы по исследованию характеристик устройств на основе *p-n*-перехода был предложен модуль «Транзисторы» (рис. 1) на основе проведения литературного обзора методических указаний к лабораторным работам, которые реализуется в современном образовательном процессе университетов России. Схематическое изображение предлагаемого модуля для реализации практикума по исследованию свойств *p-n*-перехода в биполярных и полевых транзисторах представлено на рис. 1.

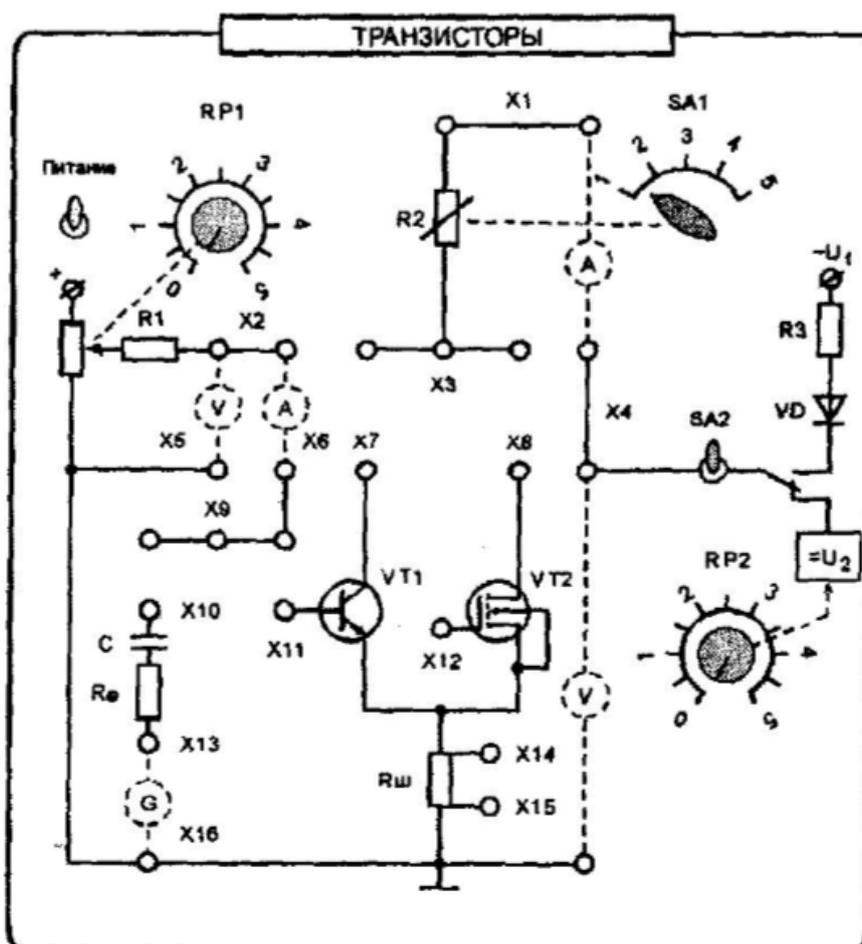


Рис. 1. Схематическое изображение предлагаемого лабораторного практикума «Исследование свойств  $p-n$ -перехода в биполярных и полевых транзисторах»

Макет «Транзисторы» спроектирован в среде Electronics Workbench 5.12 (EWB 5.12) (рис. 2). Особенностью программы EWB 5.12 является наличие контрольно-измерительных приборов, по внешнему виду и характеристикам приближенных к их промышленным аналогам [1, 2]. Таким образом, на начальном этапе реализации лабораторного модуля и его внедрения в учебный процесс среда компьютерного моделирования EWB позволяет наглядно, быстро и достаточно точно определить корректность работы предлагаемой схемы, оценить достоверность проведенных расчетов по подбору элементной базы и ее параметров. Схема компьютерного моделирования изображена на рис. 2 с использованием встроенных обозначений элементов компьютерной среды EWB.

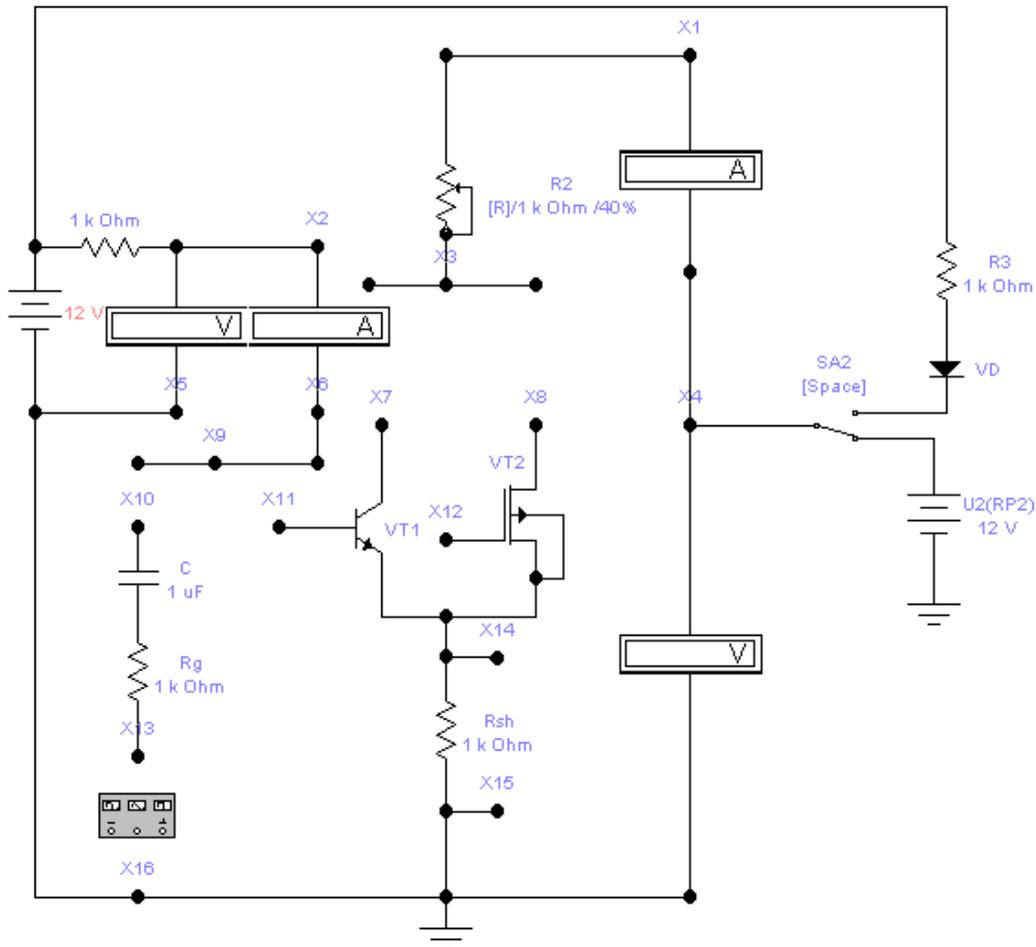


Рис. 2. Схема компьютерного моделирования работы лабораторного макета, реализованная в среде EWB 5.12

Модуль транзисторы состоит из биполярного транзистора  $VT1$  и полевого транзистора  $VT2$ , токоограничивающего резистора с сопротивлением 1 кОм, резистора нагрузки  $R2$ , величина постоянного напряжения регулируется источником напряжения  $U2$ . Переключатель  $SA2$  предназначен для включения переменного или постоянного напряжения. Для подачи на коллектор (сток) только положительных полуволн переменного напряжения используется диод  $VD$ . Ток в этой цепи ограничивает резистор  $R3$ . Резистор  $Rg$  имитирует внутреннее сопротивление источника входного сигнала. Конденсатор  $C$  исключает влияние внутреннего сопротивления источника входного сигнала на положение рабочей точки покоя транзисторов. Шунт служит для получения переходных характеристик сигналов пропорционально току через транзистор. На модуле размещены так же гнезда для осуществления внешних соединений ( $X1 - X16$ ).

Модуль для реализации лабораторного практикума по исследованию свойств  $p-n$ -перехода в биполярных и полевых транзисторах был проверен на работоспособность. Для этого проведён анализ работы биполярного транзистора в среде  $EWB$  версии 5.12. По результатам проведенных измерений было построено семейство выходных вольтамперных характеристик

(ВАХ), представленных на рис. 3, так как наиболее полно свойства биполярного транзистора описываются его вольт-амперными характеристиками [3, 4].

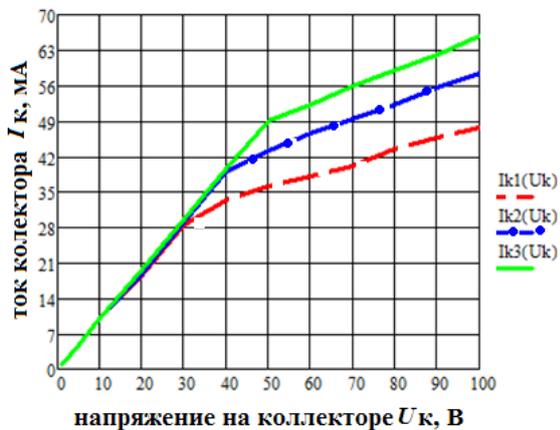


Рис. 3. Семейство вольт-амперных характеристик биполярного транзистора

элементов измерительной установки, построена схема для проведения компьютерного моделирования. В процессе апробации лабораторного макета на ПК были получены характеристики биполярного и полевого транзисторов, соответствующие теоретическим зависимостям [5]. Представляет интерес дальнейшая разработка комплекса лабораторных работ на ПК по дисциплине «Электроника и схемотехника» и его возможная макетная реализация.

В работе также были проведены измерения и построены зависимости выходных токов транзистора от величины входного сигнала, зависимости статистических характеристик от величины выходного сопротивления (в цепи коллектора/ в цепи стока).

Таким образом, в ходе проведенного исследования была разработана схема лабораторного макета по исследованию вольт-амперных характеристик биполярного и полевого транзисторов, подобраны параметры

#### Список использованных источников

1. Карлащук В. И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. М.: Солон-Р, 2000. 506 с.
2. Курбанов М. О. "Electronics Workbench" – алгоритм инструмента моделирования электронных схем. Ташкент: Изд-во Ташкентского государственного технического университета, 2012. 108 с.
3. Блихер А. Физика силовых и биполярных транзисторов. Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1986. 248 с.
4. Джонс М. Х. Электроника – практический курс: пер. с англ. 2-е изд. М.: Техносфера, 2006. 512 с.
5. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы: учеб. для вузов. 6-е изд. СПб.: Лань. 2002. 480 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом физико-математических наук Юровой В. А., СПбГУТ.*

УДК 533.9.082.74

Л. С. Лебедев (студент, СПбГУТ)

## ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ПЕРЕХОДЫ НА ЩЕЛЕВУЮ ЛИНИЮ В СОСТАВЕ ОИС СВЧ

*В работе рассматриваются способы использования распространенных линий передачи для формирования перехода на щелевую линию с целью упрощения питания щелевой линии и использования её технологического потенциала в ОИС и ГИС СВЧ. В работе рассматриваются два основных перехода: переход с использованием микрополосковой линии, переход с использованием компланарной линии.*

*СВЧ, переходы, полосковая линия, компланарная линия, щелевая линия.*

В настоящее время широкое распространение в ОИС СВЧ получили полосковые и компланарные типы линий. Популярность этих структур связана с тем, что реализация полосковых и компланарных линий передачи в ОИС и ГИС СВЧ значительно проще, чем изготовление щелевых линий. Серьезной проблемой при использовании щелевых линии в интегральных схемах является поиск подходящих способов питания самой линии [1].

Поскольку основными типами линий в ОИС СВЧ являются полосковая и компланарная линия, то основные способы питания щелевой линии рассматриваются с применением этих структур.

Одной из задач при проектировании переходов между различными типами линий является расчет волнового сопротивления [2]. Для решения этого вопроса было использовано программное обеспечение scilab 6.0.1 (программа находится в свободном доступе). Для расчета сопротивления микрополосковой линии использовалась формула Рэда (рис. 1).

```

Red.sce  CPW(1).sce  Slot.sce
1 | def('z=fun1(E,h,w,t)', 'z=75/sqrt(E)*log(6*h/(0.75*w+t)+0.075*w/h)');
2 | h=0.5;w=10.5;t=0.1;E=1;z=fun1(E,h,w,t)
3

```

Рис. 1. Расчет МПЛ в scilab

При расчете волнового сопротивления щелевой линии использовалась формула из справочника В. И. Вольмана [3] (рис. 2).

```

Red.sce x CPW(1).sce x Slot.sce x
1 w=2
2 h=2
3 er=2.4
4 w/h
5 if (w/h)<=0.2) then
6 ... Z=72.62-15.283*log(er)+50*(w/h-0.02)*(w/h-0.1)/(w/h)+log((w/h)*100)*(19.23-3.693*1
og(er))-(0.139*log(er)-0.11+(w/h)*(0.465*log(er)+1.44))*(11.4-2.636*log(er)-(h/300)*100
)^2
7 else
8 ... Z=113.19-53.55*log(er)+1.25*(w/h)*(114.59-51.88*log(er))+20*(w/h-0.2)*(1-w/h)-(0.15
+0.23*log(er)+(w/h)*(-0.79+2.07*log(er)))*(10.25-5*log(er)+(w/h)*(2.1-1.42*log(er)-(h/3
00)*100))^2
9 end

```

Рис. 2. Расчет щелевой линии в scilab

Самой сложной задачей является расчет волнового сопротивления компланарной линии, её расчет производится через аппроксимацию эллиптических интегралов [4] (рис. 3).

```

Red.sce x CPW(1).sce x Slot.sce x
1 er=2.4
2 w=9
3 s=0.8
4 t=0.1
5 h=3
6 a=w/2
7 b=(w+2*s)/2
8 k=a/b
9 p=sqrt(1-k^2)
10 if (0.5<=k^2) then
11 ... Fk=(log(2*(1+sqrt(k))/(1-sqrt(k))))/3.14
12 else
13 ... Fk=((log(2*(1+sqrt(p))/(1-sqrt(p))))/3.14)^-1
14 end
15 k1=sinh(3.14*a/(2*h))/sinh(3.14*b/(2*h))
16 p1=sqrt(1-k1^2)
17 if (0.5<=k1^2) then
18 ... Fk1=(log(2*(1+sqrt(k1))/(1-sqrt(k1))))/3.14
19 else
20 ... Fk1=((log(2*(1+sqrt(p1))/(1-sqrt(p1))))/3.14)^-1
21 end
22 eef=1+((er-1)/2)*Fk*Fk1
23 eeft=eef-(0.7*(eef-1)*t/(b-a))/(Fk+0.7*t/(b-a))
24 delta=(1.25*t/3.14)*(1+log(8*3.14*a/t))
25 We=2*a+delta
26 Se=b-a-delta
27 ke=We/(We+2*Se)
28 pe=sqrt(1-ke^2)
29 if (0.5<=ke^2) then
30 ... Fke=(log(2*(1+sqrt(ke))/(1-sqrt(ke))))/3.14
31 else
32 ... Fke=((log(2*(1+sqrt(pe))/(1-sqrt(pe))))/3.14)^-1
33 end
34 Z=(30*3.14/sqrt(eeft))/Fke
35

```

Рис. 3. Расчет КПВ в scilab

Для моделирования макетов и оценки их размеров использовалась программа Compass 3d LT (программа находится в свободном доступе).

Для симметрии питания щелевой линии использовался двойной переход полосок–щель–полосок (рис. 4).

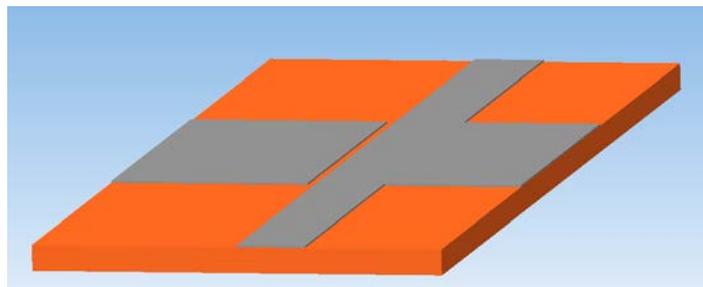


Рис. 4. Полосково-щелевой переход

При разработке макета с полосковой структуры на щелевую (рис. 5) стало известно, что для материалов с малой диэлектрической проницаемостью и толщинами 1–3 мм формула для расчета волнового сопротивления из справочника В. И. Вольмана не позволяет добиться сопротивления ниже 60 Ом, при этом такие сопротивления возможно получить только крайне малых толщинах самой щели: 40–60 мкм, чего сложно добиться при изготовлении макета вручную.



Рис. 5. Макет полосково-щелевого перехода

Несмотря на теоретические ограничения и сложность изготовления макета удалось получить достаточно ровную характеристику на частотах 2–4 ГГц с затуханием –3...–4 дБ (рис. 6).

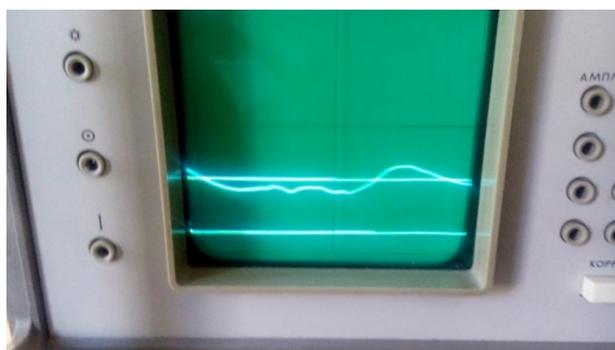


Рис. 6. АЧХ полосково-щелевого перехода

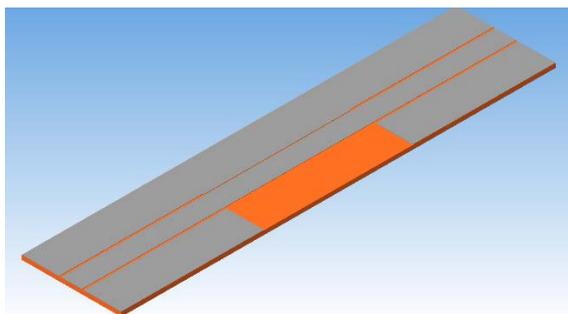


Рис. 7. Модель  
компланарно-щелевого перехода

Синтез широкополосного перехода с компланарной на щелевую линию является более сложной задачей. Для создания такого перехода использовалось нестандартное решение (рис. 7).

При разработке этого перехода компланарная линия представлялась в виде двух параллельно соединенных щелевых структур с волновым сопротивлением 100 Ом. В данном случае одна линия переходила в стандартную щелевую линию, тогда как вторая ограничивалась холостым ходом. Принципиальная схема была промоделирована в RFSim99 (программа находится в свободном доступе) (рис. 8 и 9).

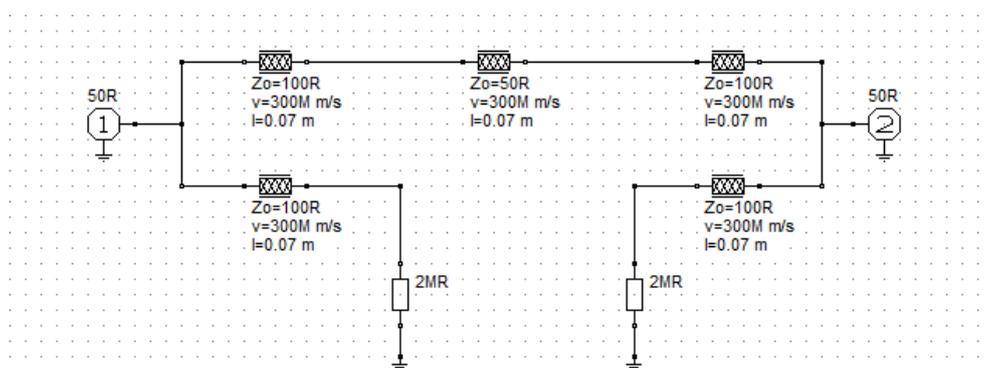


Рис. 8. Принципиальная схема компланарно-щелевого перехода

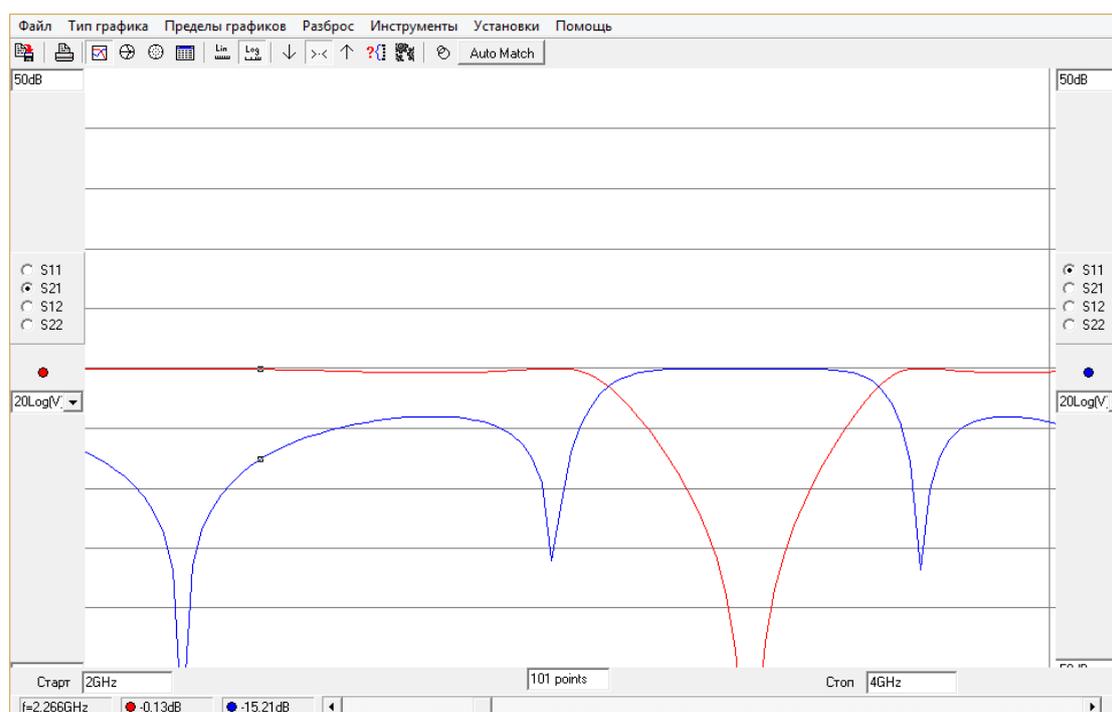


Рис. 9. Анализ принципиальной схемы в RFSim99

При исследовании макета компланарно-щелевого перехода (рис. 10) в диапазоне 2–4 ГГц характеристика несколько отличалась от полученной при моделировании перехода, среднее затухание оказалось на уровне  $-6$  дБ (рис. 11).

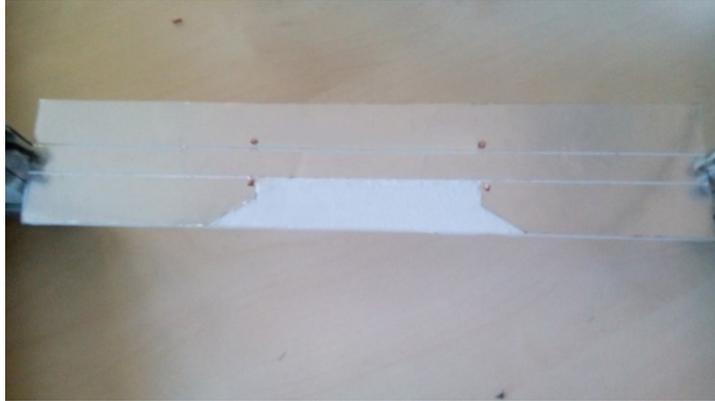


Рис. 10. Макет компланарно-щелевого перехода

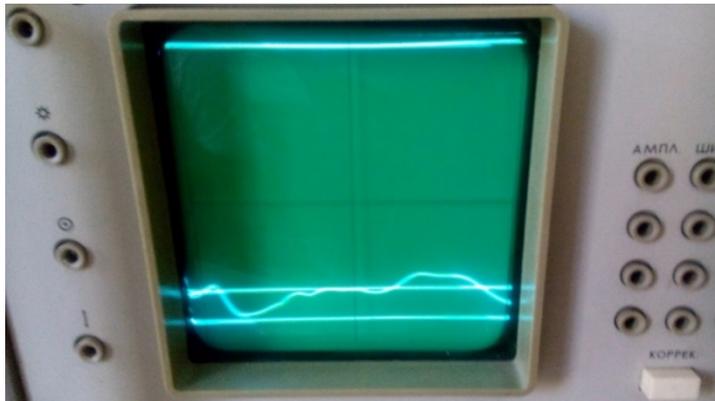


Рис. 11. характеристика макета копланарно-щелевого перехода

Помимо данного макета был предложен альтернативный способ перехода на щелевую линию без использования холостого хода (рис. 12). В данном случае ожидается подъем прохождения до  $-2...-4$  дБ и потенциально большей линейностью характеристики.



Рис. 12. Альтернативный макет компланарно-щелевого перехода

Дополнительной проблемой при макетировании компланарных линий является вопрос питания через цанговый зажим. Для решения этой проблемы при макетировании была использована специальная перемычка, подключающая обе заземляющих пластины через обратную сторону макета (рис. 13).

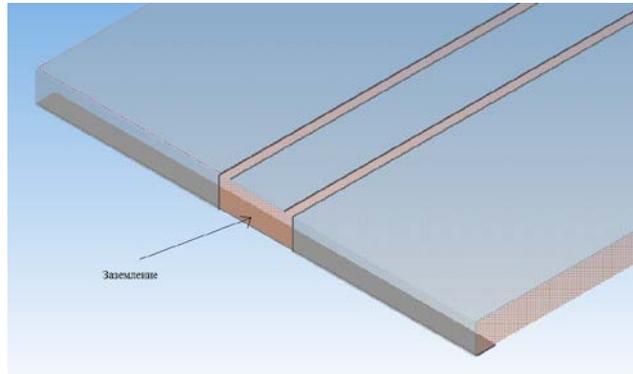


Рис. 13. Заземляющая перемычка компланарной линии

Вывод: представленные варианты переходов могут быть использованы для питания щелевой линии создании интегральных схем СВЧ.

#### Список использованных источников

1. Седышев Э. Ю. Масштабное макетирование объемных интегральных схем СВЧ диапазона // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании № 64: Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: материалы. (20–24 февр. 2012 г.). СПб.: СПбГУТ, 2012. С. 379–382.
2. Иогин А. И., Седышев Э. Ю. Внутренние соединения ОИС СВЧ, переходы между различными типами линий // Доклад на 63 НТК профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. СПб.: СПбГУТ, 2011.
3. Боброва К. В., Булатова И. А, Иванова Е. А., Седышев Э. Ю. Расчёт модифицированных линий передач для объёмных интегральных схем СВЧ. СПб.: СПбГУТ, 2015.
4. Якушев И. Ю. Анализ однослойных и многослойных компланарных полосковых линий и волноводов // Вестник СибГУТИ. 2017. № 4.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Седышевым Э. Ю., СПбГУТ.*

УДК 621.3, 616.71, 534.7

А. С. Леонтьев (студент, СПбГУТ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ УСТРОЙСТВА СЛУХОВОГО АППАРАТА И ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ЕГО РАБОТЫ

*Одним из сегментов развития и применения современной полупроводниковой электроники является медицинская техника, в частности в виде компактных электронных звукоусиливающих устройств. Эти приборы применяются для абилитации людей с заболеваниями, сопровождающимися частичной потерей слуха. В работе проведены исследование физических принципов работы слуховых аппаратов, особенностей их конструкции и производства, анализ их возможностей и перспектив развития данного направления электронной техники.*

*слуховой аппарат, звуковой усилитель, физика звука, теория слуха, преобразование сигнала.*

Одним из сегментов развития и применения современной полупроводниковой электроники является медицинская техника, в частности в виде компактных электронных звукоусиливающих устройств. Эти приборы применяются для абилитации людей с заболеваниями, сопровождающимися частичной потерей слуха. Данное направление развития электронной техники представляет большой интерес для тех, кто хочет стать электронщиком, изучение принципов работы данных устройств будет весьма полезно для расширения профессионального кругозора любого специалиста. Для работы в этом направлении необходимо изучить множество аспектов, связанных с этой областью применения электроники. Развитие и создание подобных медицинских устройств невозможно без знания фундаментальных принципов работы человеческого слуха, принципов работы самих устройств, и взаимодействия слуховых аппаратов с человеческим ухом.

Целью работы было изучение физических принципов работы человеческого слуха, изучение принципов работы слуховых аппаратов (СА), рассмотрение существующих на данный момент технических решений проблемы заболеваний, связанных с потерей слуха, и конструкций современных СА. Для этого были проведены сбор информации и анализ научной литературы; книг посвященных исследованиям человеческого слуха, книг по медицинской физике раздел акустика и строение уха, раздел усилители и генераторы, и их возможное использование в медицинской аппаратуре, принципов работы звуковых усилителей, проведен анализ статей и материалов в сети интернет.

Человеческое ухо состоит из трех основных частей (рис. 1) [1, 2]: 1) внешнее ухо, 2) среднее ухо, 3) внутреннее ухо. Эволюционно сложив-

лось так, что внешнее ухо практически не влияет на восприятие звуковой информации, ушная раковина способствует лишь определению локализации источника звука при его расположении в переднезаднем направлении. Т.е. на языке радиотехники – оно выполняет роль параболической антенны, которая осуществляет фокусировку сигнала передатчика и формирование пространственной ориентации источника звукового сигнала.

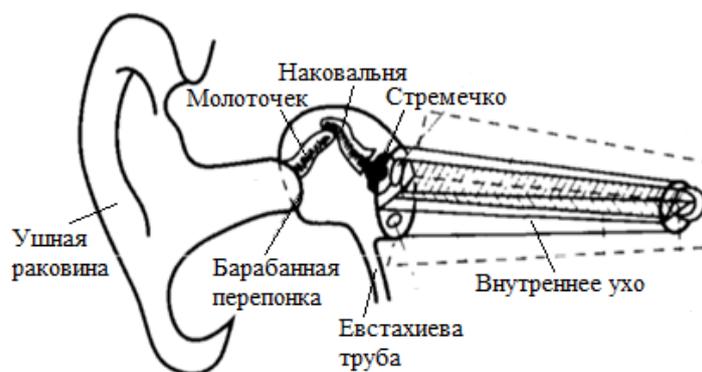


Рис. 1. Строение человеческого уха

В зависимости от высоты расположения источника звука форма раковины изменяет спектральный состав принимаемой звуковой волны. Человек в результате опыта научился определять направление по этому изменению. Наличие расстояния между двумя ушами также способствует ориентации в пространстве, данный эффект носит название бинаурального эффекта, при котором волна от источника сигнала попадает на два приемника не одновременно, вследствие чего возникает разность фаз, по которой человеческий мозг определяет положение источника звука с точностью до  $6^\circ$ .

Среднее ухо представляет собой систему из барабанной перепонки и косточек: молоточек, наковальня и стремечко. Звуковая волна заставляет незначительно колебаться барабанную перепонку, которая передает через систему косточек данные отклонения на приемный канал внутреннего уха. Среднее ухо выполняет функции, как усиления слабых сигналов, так и ослабления сигнала большой амплитуды. Получается своего рода биофизический приемник с усилением и преобразованием сигнала (рис. 2, а). Принцип работы среднего уха можно представить как рычаг, если провести расчеты, то получаем, что механизм внутреннего уха усиливает давление звуковой волны на уровне 28 дБ или 25 раз.

Но не стоит забывать, что среднее ухо также ослабляет излишнее давление звуковой волны за счет расслабления мышц.

Внутреннее ухо представляет собой раковину, заполненную жидкостью, которая при воздействии на нее извне перемещается по внутреннему уху и возбуждает волосковые рецепторы, которые в свою очередь создают электрический импульс, передаваемый по слуховому нерву в мозг. На вхо-

де внутренне ухо (рис. 2, б) имеет мембрану, имеющую утолщение к основанию, вследствие опытов было обнаружено, что звуковые волны разных частот имеют разное время затухания на этой мембране, что по-разному воздействует на жидкость во внутреннем ухе, следственно порождает разные электрические сигналы.

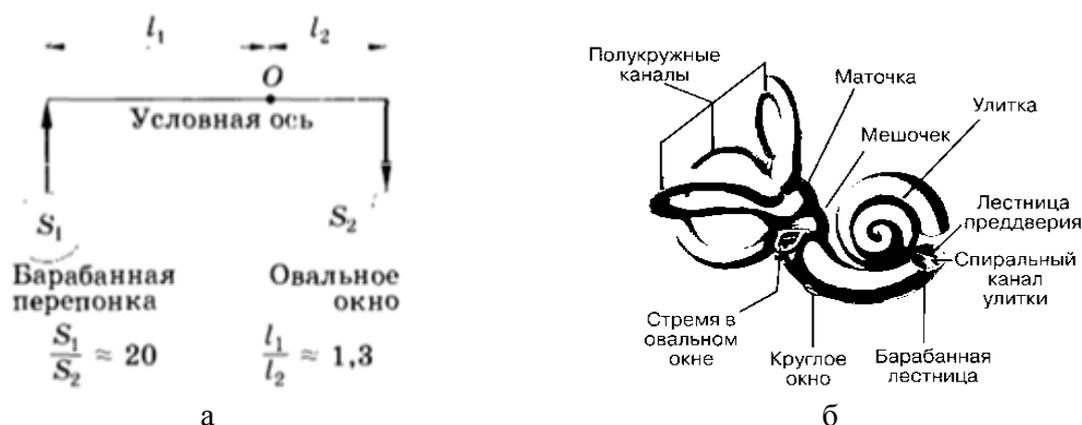


Рис. 2. а) Представление механизма среднего уха как рычага; б) строение внутреннего уха [3]

Развитие электроники и технологий производства позволило не только сделать СА переносными и максимально миниатюризировать их, но и расширило возможности их применения даже при очень серьезных нарушениях слуха и учета анатомических особенностей каждого человека.

В зависимости от типа повреждения слуха используются аппараты, применяющие различные способы воздействия на разные части уха. Если повреждения слуха незначительные, то обходятся простым усилителем с динамиком, если же причина потери слуха скрыта в нарушении работы частей внутреннего или среднего уха, пациенту имплантируются электроды в улитку, на которые подаются электрические импульсы, соответствующие тем, которые возникают при воздействии механического стимула. В современное производство СА активно внедряется 3D-печать, которая дает возможность создания анатомических устройств для каждого уха.

На основании анализа видов и конструкций современных СА можно сделать вывод о том, что вне зависимости от типа все устройства имеют схожую функциональную схему. Так сигнал с микрофона (если это автономное устройство) или телефона (если устройство имеет внешние дистанционные модули) поступает на вход усилителя, где отсеивается и изменяется до необходимого уровня, преобразуясь в механический или электромагнитный импульс, затем поступает на нагрузку. Таким образом, для описания усилительных свойств СА можно использовать стандартные формулы и параметры, такие как коэффициенты передачи (усиления) напряжения (мощности или силы тока) [3, 4]. Также свойства и диапазон

усиливаемого звукового сигнала определяется выбором рабочего режима на вольтамперных характеристиках усилительной части аппарата.

Чтобы СА можно было применять, необходимо их сертифицировать. Для этого при проектировании должны учитываться технические требования ГОСТа [5]. С учетом того, что следующий этап работы направлен на разработку и проектирование усилительной части устройства, то следует выделить следующие требования:

- Коэффициент гармоник СА воздушного звукопроводения в диапазоне частот 400 – 1600 Гц не должен превышать 10 % для каждой частоты или на контрольной частоте.
- Допустимое отклонение полного акустического усиления на контрольной частоте или полного УАМЧ от номинального должно быть не более  $\pm 5$  дБ, на контрольной частоте от номинального должно быть не более  $\pm 4$  дБ.
- Чувствительность по электрическому входу – от 0.5 до 10 мВ.
- Время срабатывания АРУ на контрольной частоте должно быть не более 20 мс.
- СА должны обладать вибропрочностью при воздействии синусоидальной вибрации в диапазоне частот 10 – 55 Гц с амплитудой колебаний 0.35 мм.

Современные СА продолжают совершенствоваться вместе с цифровыми и компьютерными технологиями, миниатюризация базовых компонентов, позволяет готовым устройствам занимать меньший объем, тем самым устройства занимают меньше места и становятся незаметными.

Так как полезный сигнал распространяется в диапазоне до 4 кГц, то можно сделать вывод о том, что современные СА способны в полной мере заменить утраченный слух. Однако возможности данных аппаратов не ограничены только этими характеристиками, при желании диапазон воздействия можно увеличить, и научить человека воспринимать информацию, сверх того, диапазона, который доступен обычным людям.

На данный момент качество передаваемой информации удовлетворяет всем требованиям, применяемым к ним, однако дальнейшее развитие электронной начинки позволит достичь практически идеального воспроизведения звука. Современные цифровые аппараты для слуха – это полноценные интеллектуальные системы. Функции, реализованные в них, позволяют:

- отличить речь от шума, выделить и усилить ее, значительно облегчить понимание ее, особенно в сложных ситуациях (многолюдные офисы, универмаги, на фоне музыки);
- отделить голос определенного собеседника от множества иных голосов, от шума окружающей среды;
- обеспечивать точную настройку специалистами в индивидуальных потерях слуха пациентов;

- имеют независимые каналы (и канал здесь – частотный диапазон, где все параметры настраиваются независимо один от другого),
- «забыть», что пользуешься аппаратом, звуки воспроизводятся естественно, спокойно, можно без проблем пользоваться телефонами, компьютерами за счет надежной защиты от электромагнитных полей.

Отдельно стоит отметить использование подобных усилительных схем в военной технике. Ярким примером служат тактические наушники, которые усиливают слабые звуки шагов отделяя их от шума ветра и тому подобного, а также защищают слух от резких и громких звуков, например, выстрелов.

Пока остается проблема наличия проводов для передачи информации и обеспечения питанием СА, однако, в последнее время всё больше и больше набирает популярность беспроводная передача энергии для автономных устройств. Также сейчас разрабатывается способ расчета и передачи информации на носимую электронику дистанционно, что позволит уменьшить самую большую часть подобных устройств – источник питания в тысячи раз, если вообще не избавиться от него. Если продолжить исследования и разработку в данных областях, то возможно в скором будущем подобные устройства будут представлять собой микрочип с тоненькими электродами, вживляемый пациенту, и работающий на протяжении всей его жизни. Однако не стоит забывать о проблеме подстройки параметров слухового аппарата для случаев прогрессирующей глухоты. Если предусмотреть возможность дистанционного программирования данных чипов, данную проблему можно будет решить на уровне программного обеспечения.

#### Список использованных источников

1. Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика: учебник для медицинских вузов. 7-е изд. М.: Дрофа, 2007. 558 с.
2. Самойлов В. О. Медицинская биофизика: учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Спецлит, 2007. 560 с.
3. Павлов В. Н., Ногин В. Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств. Учебник для ВУЗов. М.: Горячая линия – Телеком, 2001. 320 с.
4. Джонс М. Х. Электроника – практический курс / Пер. с англ. 2-е изд. М.: Техносфера, 2006. 512 с.
5. ГОСТ Р 50444-92. Приборы, аппараты и оборудование медицинские. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1994. 43 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом физико-математических наук Юровой В. А., СПбГУТ.*

УДК 621.376.4

Д. А. Лотарева, И. Д. Чернобровкин (студенты, Горный Университет)

## МОДЕЛЬ ОФИСНОГО ЦИФРОВОГО РЕТРАНСЛЯТОРА ЗВУКОВОГО ВЕЩАНИЯ

*В данной работе рассматривается возможность реализации передатчика-приемника цифрового сигнала посредством создания программ, способных генерировать, передавать и принимать цифровой сигнал. Для синхронизации и проверки корректности передаваемых данных в рамках данного проекта используется графическая информация в виде графиков сигнальных созвездий.*

*цифровой ретранслятор, цифровой сигнал, LabVIEW, NI-USRP, квадратурная фазовая модуляция, сигнальное созвездие.*

Проблема создания систем внутренней связи или связи в целом на беспроводной основе до сих пор является актуальной. Для передачи информации все более широко используется цифровой сигнал ввиду его преимуществ перед аналоговым, такими, как низкий уровень помех при передаче, защищенность сигнала ввиду зашифрованности передаваемых данных, и пр.

В рамках данной работы был создан лабораторный макет в виде цифрового приемника-передатчика на основе USRP-2920. Данное устройство было выбрано ввиду возможности программного управления передачей данных, характеристик передачи (диапазон рабочих частот 50 МГц – 2.2 ГГц, мощность передатчика 30–100 мВт), способности обмена данными с компьютером посредством Ethernet [1].

Также был выбран вариант фазовой квадратурной модуляции для передачи сигнала ввиду его простоты и в то же время эффективности использования [2].

Управление устройством осуществлялось посредством программной среды LabVIEW с включенным прикладным пакетом Modulation ToolKit. Передатчик и приемник находились под управлением отдельных компьютеров.

На рис. 1 изображена лицевая панель программы для передатчика. Обращение к подсоединенному к компьютеру аппарату USRP осуществляется через IP-адрес устройства в сети Ethernet (поле *device name*). Параметры передачи задаются в соответствующих полях. Имеется возможность установки несущей частоты (поле *Carrier frequency [Hz]*), частоты дискретизации (поле *IQ Sampling Rate [S/sec]*), усиления (поле *gain [dB]*). Также существует возможность мониторинга действительных значений параметров передачи (поля *Carrier frequency [Hz] (actual)*, *IQ Sampling Rate [S/sec] (actual)*, *IQ Sampling Rate [S/sec] (actual)* соответственно). Также существу-

ет возможность мониторинга скорости передачи (поле *Symbol Rate* [symbols/sec]), количество передаваемых значений комплексного потока данных (поле *Frame Size* [samples]) и приведенной частоты дискретизации (поле *coerced IQ rate*). Возможна установка активной антенны, с которой идет передача сигнала (поле *Active Antenna*) и действующего канала (поле *Enabled Channel*). Также отображается задаваемая пользователем последовательность двоичных символов (поле *user base bit pattern*) с возможностью проверки корректности генерации на ее основе потока битов (поле *output bit stream*) с заданной величиной потока (поле *total bits*) и комплексной функции после модуляции (поле *symbols out*). В соответствующих полях происходит задание параметров модуляции: количество отсчетов, выделяемых на символ (поле *samples per symbol* (16)), учет дифференциальной составляющей модуляции (поле *differential PSK*), тип фазовой модуляции (поле *PSK type*), количество различных значений комплексной функции после модуляции (поле *M-PSK*). Также настраиваются параметры фильтра модуляции: вид фильтра (поле *pulse shaping filter*), количество отсчетов, выделяемых для формирования фильтра, на каждый символ (поле *pulse shaping samples per symbol* (16)), количество отчетов на символ, соответствующее параметрам модуляции (поле *matched samples per symbol* (16)). В поле *Constellation Graph* отображается график созвездия комплексной функции сигнала с целью проверки корректности проведенного процесса модуляции.

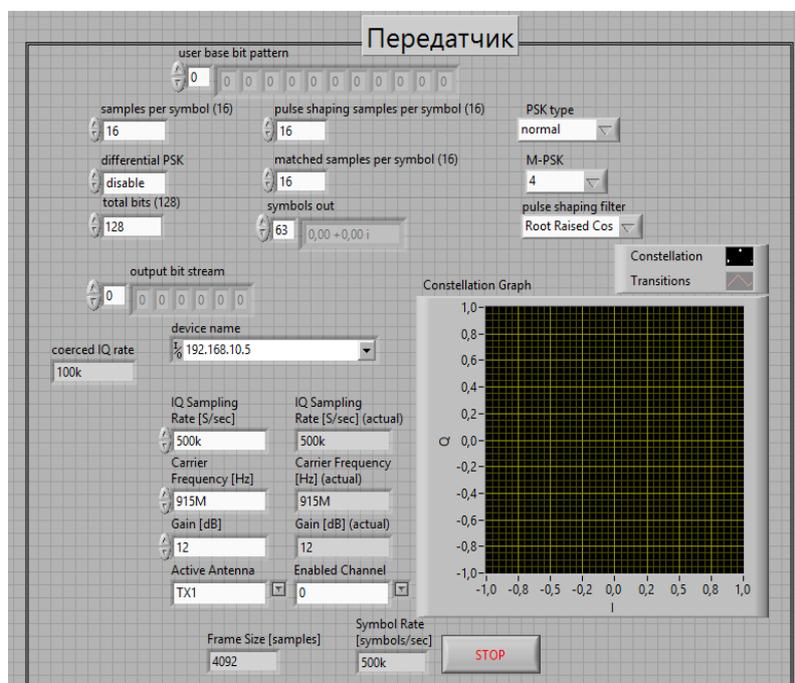


Рис. 1. Лицевая панель программы для передатчика

На рис. 2 изображена блок-диаграмма программы передатчика. Верхняя часть программы представляет собой взаимодействие с устройством

USRP. Происходит обращение к устройству, конфигурация сигнала и циклическая передача. Нижняя часть диаграммы представляет собой процесс модуляции цифрового сигнала. Последовательность двоичных символов считывается из текстового файла, после чего на ее основе формируется поток битов (блок *MT Generate bits (poly).vi*). Параллельно с этим считываются заданные параметры модуляции (блок *MT Generate System Parameters.vi*) и фильтра (блок *MT Generate Filter Coefficients.vi*). Далее, все выходные данные подаются на модулятор (блок *MT Modulate PSK.vi*), после чего выходной поток данных отправляется на передачу, одновременно формируя график созвездия (блок *MT Format Constellation*).

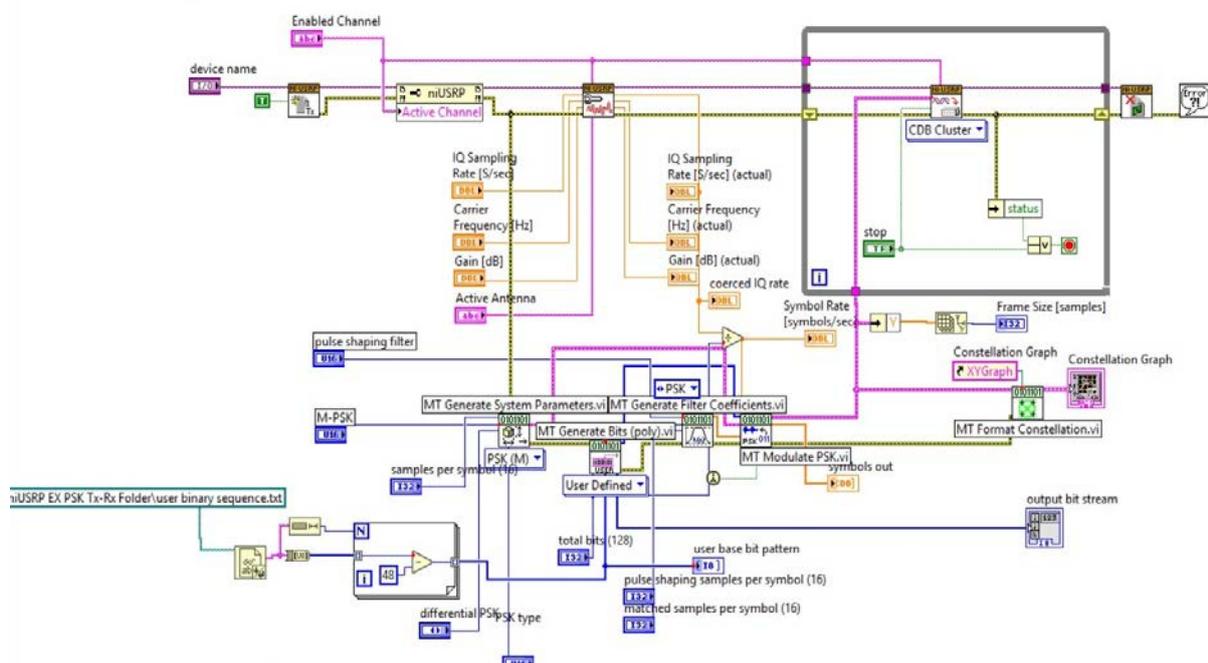


Рис. 2. Блок-диаграмма программы передатчика

На рис. 3 изображена лицевая панель программы приемника. Обращение к подсоединенному к компьютеру аппарату USRP осуществляется через IP-адрес устройства в сети *Ethernet* (поле *device name*). Параметры приема задаются в соответствующих полях. Имеется возможность установки несущей частоты (поле *Carrier frequency [Hz]*), частоты дискретизации (поле *IQ Sampling Rate [S/sec]*), усиления (поле *gain [dB]*). Также существует возможность мониторинга действительных значений параметров передачи (поля *Carrier frequency [Hz] (actual)*, *IQ Sampling Rate [S/sec] (actual)*, *IQ Sampling Rate [S/sec] (actual)* соответственно). Также существует возможность установки скорости передачи (поле *Symbol Rate [symbols/sec]*), времени записи сигнала в память (поле *Acq Duration [sec]*) и мониторинга количества передаваемых значений комплексного потока данных (поле *Frame Size [samples]*). Возможна установка активной принимающей антенны (поле *Active Antenna*) и действующего канала (поле *Ena-*

*bled Channel*). Есть возможность выбора типа фазовой модуляции принимаемого сигнала (кластер *Choose a PSK Format*) с возможностью задания параметров: количество отсчетов, выделяемых на символ (поле *samples per symbol*), учет дифференциальной составляющей модуляции (поле *differential PSK*), тип фазовой модуляции (поле *PSK type*). Также настраиваются параметры фильтра модуляции (кластер *filter parameters*): вид фильтра (поле *pulse shaping filter*), коэффициент, зависящий от типа фильтра (поле *Alpha*), длину фильтра (поле *filter length*). Есть переключатель, позволяющий сбрасывать демодулятор после каждого цикла (*Reset Demodulator?*). После каждого цикла демодуляции в соответствующем кластере (*measurements*) отображаются данные об измерениях относительно принятого сигнала: сдвиг по частоте (поле *frequency offset (Hz)*) и по фазе (поле *phase offset (Hz)*), отклонение от действующего значения частоты (поле *frequency drift (Hz)*). В поле *Constellation Graph* отображается график созвездия комплексной функции сигнала с целью проверки корректности проведенного процесса демодуляции.

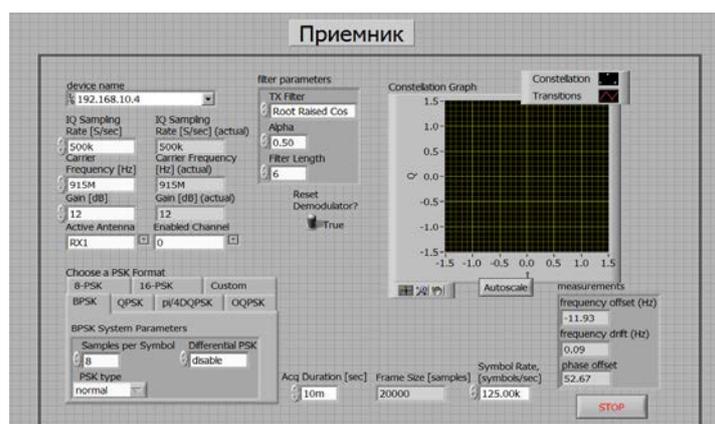


Рис. 3. Лицевая панель программы приемника

На рис. 4 изображена блок-диаграмма программы приемника. Верхняя часть программы представляет собой взаимодействие с устройством USRP. Происходит обращение к устройству, конфигурация сигнала и потоковый прием данных. Нижняя часть диаграммы представляет собой процесс демодуляции принятого цифрового сигнала. Считываются заданные параметры модуляции (блок *MT Generate System Parameters.vi*) и фильтра (блок *MT Generate Filter Coefficients.vi*). Далее, все выходные данные вместе с принятым посредством USRP сигналом подаются на демодулятор (блок *MT Demodulate PSK.vi*), после чего выходной поток данных выводится в виде графика созвездия (блок *MT Format Constellation*).

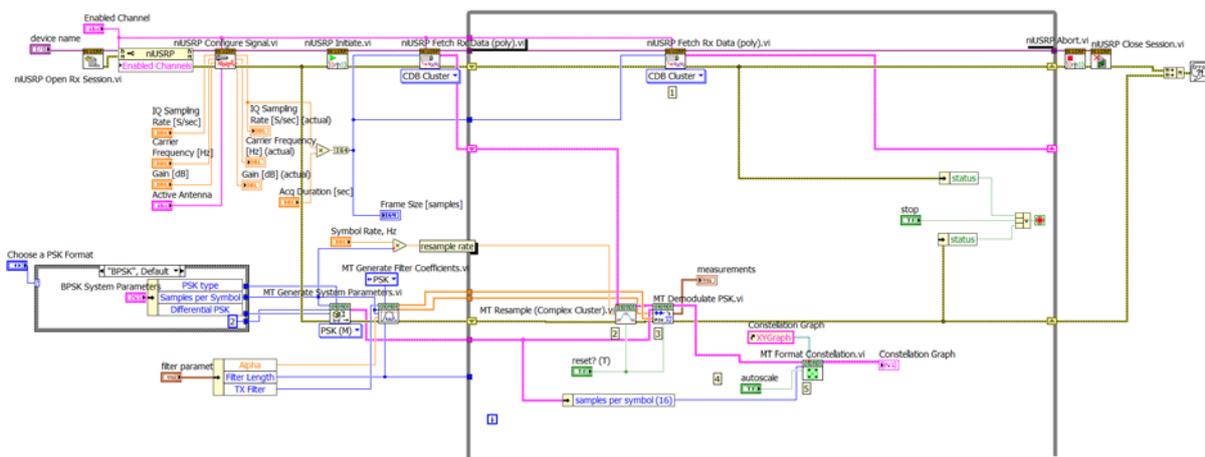
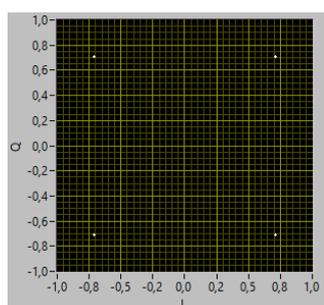
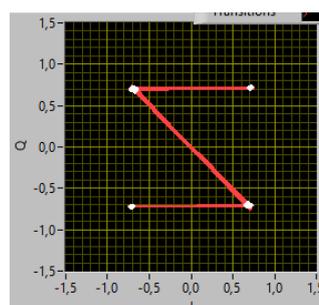


Рис. 4. Блок-диаграмма программы приемника

Рис. 5 представляет собой демонстрацию работы передатчика (а) и приемника (б) в виде построенных созвездий сгенерированного и восстановленного сигналов. Как можно заметить, оба графика корректно отображают четыре устойчивых состояния созвездия.



(а)



(б)

Рис. 5. Графики созвездий передатчика (а) и приемника (б) в рабочем состоянии

#### Список использованных источников

1. Унуяков В. Е., Кирсанова Е. А. Принципы построения программно-определяемого радио // European Research: Innovation in Science, Education and Technology: сб. ст. по материалам XXXIV междунар. науч.-практ. конф., Москва, 14–15 дек., 2017. М.: ИД. «Проблемы науки», 2017. С. 80–83.

2. Озерский Ю. П. Цифровая модуляция сигнала при передаче двоичной информации // Труды Московского Физико-Технического Института. 2010. N 3 (7). С. 126–132.

*Статья предоставлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом Борисовым С. В., Горный Университет.*

УДК 53.05, 535.4, 616.71

А. М. Рожков (студент, СПбГУТ)

## **ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА: ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ИЗМЕРЕНИЯ И МОБИЛЬНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ПО ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЮ**

*Активное внедрение электронной техники, средств программирования и инфокоммуникационных технологий, их интеграция в практически все сферы жизнедеятельности человека позволяет оптимизировать и облегчить реализацию профилактики и поддержания здоровья населения. С этой целью в настоящее время ведется активная разработка мобильных приложений по определению таких важных биологических параметров организма как, например, вариабельность сердечного ритма (ВСР). ВСР отражает естественные изменения процесса работы сердца, состояния нервной системы и их взаимодействия на воздействие каких-либо факторов (гуморальные, рефлекторные факторы, стресс, физические нагрузки, перегрузки в условиях полета и невесомости, экстремальные условия и т.п.). В работе изучены физические принципы методов измерения ВСР с помощью мобильных приложений, проведена оценка достоверности получаемых данных, погрешности и удобства применения в повседневной жизни.*

*интерференция, фотоплетизмография, оптическая денситометрия, электрический диполь, электрокардиограмма.*

Физические явления служат основой работы и конструирования любого прибора и устройства. С их помощью также осуществляется функционирование, жизнеобеспечение, определение параметров и мониторинг биологических систем различного уровня, например, сердца.

Так, например, на поверхности возбудимой среды (волокнах сердца) возникают электрические явления, которые принято описывать с помощью понятия токового электрического диполя [1, 2]. Токовым электрическим диполем называется двухполюсная система, состоящая из положительного полюса – истока (участок покоя) и отрицательного полюса – стока (возбужденный участок), в которой поддерживается электрический ток. Поэтому при разработке, проектировании устройств медицинской техники важным является изучение физических принципов как методов измерений, так и работы самой биологической системы. Вариабельность сердечного ритма (ВСР) – изменение времени между каждым ударом сердца, один из параметров оценки работы сердца и организма в целом. Ее часто путают с пульсом, но это не одно и то же: пульс показывает частоту биения сердца за период времени, а вариабельность – сколько времени проходит между каждым ударом сердца, и как оно меняется.

Например, при пульсе 60 уд./мин время между каждым ударом не будет равно ровно одной секунде, оно может быть 1.17 с, 880 мс и т. д. (рис. 1). Эти изменения времени и есть вариабельность.

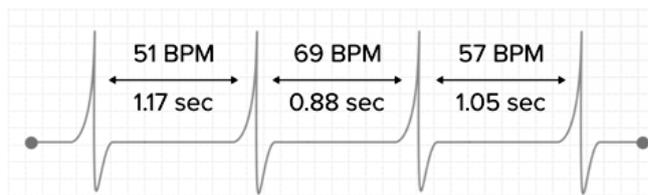


Рис. 1. Определение понятия ВСП

Почему ритм сердца вариабелен? Это реакция организма на изменение внешних и внутренних условий.

Для правильной работы организм поддерживает гомеостаз – постоянство внутренней среды, например, определенную температуру тела, внутричерепное давление, содержание кислорода в крови и т.д. Любые изменения этих условий, такие как жара, холод, конфликты, изменение позы, нарушают гомеостаз, вынуждая организм адаптироваться.

Если человек находится в покое, то его сердце регулирует работу само (эта способность сердца называется автоматизмом) [3, 4]. При изменении обстоятельств в работу включаются вегетативная нервная система (ВНС) вместе с мозгом и гормонами. Они изменяют внутренние процессы и работу органов, чтобы организм быстрее и проще адаптировался к ситуации.

Зачем измерять вариабельность? Так человек сможет:

- планировать день, чтобы не перегружать тело и мозг. Например, отложить следующую тренировку до момента, когда он полностью восстановится после предыдущей;
- работать максимально продуктивно: принимать важные решения в подходящий момент, не выбирать сложные задачи, когда организм изначально к этому не готов;
- подобрать идеальные «правила эксплуатации» организма: каким спортом заниматься, как отдыхать, сколько работать чтобы чувствовать себя здоровым и счастливым;
- узнать заранее, когда организм готовится заболеть и сбавить обороты, чтобы восстановиться.

Существуют два общепринятых контактных способа измерения ВСП. Ими являются электрокардиография и фотоплетизмография. Электрокардиограмма – кривая, отображающая изменения во времени разности потенциалов, возникающих на поверхности сердца как следствие распространения возбуждения по сердечной мышце.

Основными узлами любого кардиографа являются гальванометр, переключатель отведений, система усиления и регистрирующее устройство (рис. 2). Слабые электрические импульсы, возникающие в сердце испытуемого, воспринимаются электродами, усиливаются и далее улавливаются гальванометром. Данные об изменениях электромагнитного поля попадают на регистрирующее устройство, где равномерно формируются графики работы различных отделов сердца. На кривой присутствуют отличающиеся

по размерам зубцы, в зависимости от того, какие по силе сигналы посылает конкретный отдел сердца [2].



Рис. 2. Принцип работы кардиографа

Фотоплетизмография – оценка степени прозрачности сосудов, которая меняется из-за сокращений сердца в результате воздействия яркого света или инфракрасного излучения на участок кожи/роговицы глаза.

Развитие инфокоммуникационных технологий и средств программирования способствует их внедрению и активному использованию во многих областях жизнедеятельности современного человека, в том числе и в различных мобильных приложениях, позволяющих следить за своим здоровьем. Современные мобильные технологии позволяют в более упрощенном виде и финансовой доступности, без необходимости использования дополнительных средств и приборов проводить наблюдения за вариабельностью сердечного ритма. Существуют ряд приложений и программ, которые помогают объединить разные показатели в единый дневник мониторинга, проводить суммарный анализ имеющихся данных. К таким мобильным приложениям относятся Welltory, iCare монитора здоровья, Elite HRV т. д. [5, 6].

Принцип работы мобильных приложений в большинстве случаев идентичен. Это связано с тем, что разработчики ориентируются, прежде всего, на использование смартфонов или планшетов, которые содержат примерно одинаковый программный и аппаратный функционал. Для проведения измерения с помощью мобильного приложения используется камера и фонарик смартфона, на котором оно установлено. Замер проводится на основе метода фотоплетизмографии или оптической денситометрии. Проведение замера занимает в среднем около 2–5 минут.

Во время замера камерой просвечивается палец, снимается видео, на котором видно, как меняется цвет сосудов в пальце, и дальше по этим изменениям считаются удары сердца. Яркость видеок кадров зависит от поглощения света кровью. В момент сокращения сердца, когда происходит

выброс крови, капилляры в кончике пальца наполняются кровью, поглощается больше света и кадр становится темнее. Аналогично, в момент расслабления капилляры в кончике пальца наполняются кровью меньше, поглощается меньше света и кадр становится светлее.

Сигналы фотоплетизмографии получают путем вычисления изменений яркости видеокадров, а затем извлекается частота пульса. Принцип работы таких приложений основан на комплексном показателе – стресс/энергия, первый из которых оценивает работу симпатического отдела нервной системы, второй – работу парасимпатического отдела. Измерение уровня стресса основано на оценке измеренного диапазона средней длительности кардиоинтервала, количества интервалов и их отличие в среднем между собой. Измерение уровня энергии проводится по оценке количества кардиоинтервалов, которые отличаются друг от друга больше, чем на 50 мс.

Также был изучен принцип действия приложения и достоверность получаемой информации: приложения не могут поставить точный диагноз и не призывают пользователей к самолечению, погрешность измерений методом фотоплетизмографии составляет 5–7 %.

Рассмотрим один из возможных алгоритмов работы приложения измерения ВСП, основанного на методе фотоплетизмографии:

1. *Регистрация среднего значения яркости в красном канале изображений.* Каждый отсчет сигнала представляет собой среднее значение яркости изображения в красном канале – т. е. интегрирование сигнала освещенности. Наличие тренда сигнала обусловлено изменяющейся силой прижатия пальца к камере.

2. *Дифференцирование сигнала,* которое позволяет выделить моменты изменения кровенаполнения в виде экстремумов (пиков).

3. *Детектирование пиков,* позволяющее исключать пики с амплитудами, слабо отличающимися от среднего значения сигнала во временном окне.

4. *Формирование наборов из самых высоких пиков.* Для полученной производной сигнала ФПГ формируются наборы пиков с использованием неперекрывающихся временных окон. Размер окна обычно составляет 2 с.

5. *Вычисление дисперсии расстояний между соседними пиками для каждого набора.* Дисперсия расстояний характеризует степень разброса величин в каждом наборе относительно его математического ожидания, т. е. среднего значения.

6. *Выбор набора пиков с наименьшим значением дисперсии расстояний.* Набор пиков с наименьшей дисперсией расстояний между ними содержит наиболее равномерно распределенные во времени пики, что, наиболее вероятно, соответствует пикам, соответствующим сердечным сокращениям человека.

7. *Исключение лишних пиков.* Из выбранного на предыдущем шаге набора пиков исключаются пики, которые отстоят от соседних на расстояние меньшее, чем минимальное допустимое расстояние. Оно определяется на основании максимально допустимого количества сердечных сокращений в минуту.

Следует учитывать, что особенностью параметра ВСР является то, что к настоящему времени нет единых стандартов и определенных закономерностей для универсального диапазона нормальных значений этого показателя.

Таким образом, в настоящее время разрабатывается и совершенствуется множество приложений, ориентированных на анализ состояния здоровья человека и отслеживание динамики развития разных видов заболеваний. Такие мобильные приложения являются отличным помощником в контроле состояния вегетативной нервной системы. Они достаточно просты и наглядны, и характеризуются хорошей точностью результатов. Здесь задействованы базовые физические принципы явлений, методы их наблюдения и измерения. Причем это осуществляется с помощью устройств, которые всегда имеются под рукой практически у каждого человека. И знание медицинской физики и математической статистики позволяет грамотно интерпретировать полученные результаты, и создавать свои мобильные приложения, служат базой знаний для проектирования приборов медицинской техники.

#### **Список использованных источников**

1. Ремизов А. Н. и др.: Медицинская и биологическая физика: учебник для медицинских вузов. 7-е изд. М.: Дрофа, 2007. 558 с.
2. Самойлов В. О. Медицинская биофизика: учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Спецлит, 2007. 560 с.
3. Минцер О. П., Молотков В. Н., Угаров Б. Н. Биологическая и медицинская кибернетика. Киев: Наукова думка. 1986. 378 с.
4. Воробьев Е. И., Китов А. И. Медицинская кибернетика. М.: Радио и связь. 1983. 240 с.
6. Описание программного обеспечения. URL: <https://app.welltory.com>.
7. URL: <http://beregi-serdce.com/diagnostika/ekg-kak-delayut.html>.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом физико-математических наук В. А. Юровой, СПбГУТ.*

УДК 53.05, 53.07, 378, 621.3

Н. Ю. Сазоненко, А. Д. Сединин (студенты, СПбГУТ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЛИНЕЙНОСТИ РАБОТЫ БАЗОВЫХ СХЕМ СМЕСИТЕЛЕЙ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ ОТ ПАРАМЕТРОВ ВХОДНОГО СИГНАЛА И ГЕТЕРОДИНА

*Во многих устройствах современной полупроводниковой электроники и техники, используемой в исследованиях наноструктур, применяются схемы смесителей (преобразователей частоты). Одним из важных параметров работы таких устройств является обеспечение линейности работы в широком диапазоне частот. Эта необходимость связана с возникновением интермодуляционных искажений в результате взаимодействия сигналов с различными частотами на нелинейных элементах. Поэтому важным является проведение анализа путей построения базовых схем смесителей частоты, используемых в современной электронной технике, и исследования их свойств. Для этого нами было проведено компьютерное моделирование базовых схем смесителей частоты в программе компьютерного моделирования электрических цепей MicroCap версий 9 и 11. Получены спектральные характеристики для выходных колебаний с последующей оценкой уровня комбинационных составляющих. Проведен сравнительный анализ полученных результатов компьютерного моделирования работы этих схем при различных уровнях входного сигнала и сигнала гетеродина.*

*p-n-переход, перемножитель, смеситель, спектр, транзистор, транзисторный каскад, полупроводниковые структуры.*

В современной полупроводниковой электронике и технике, используемой в исследованиях наноструктур, широко применяются схемы смесителей (преобразователей частоты) [1, 2]. Одним из важных параметров работы таких устройств является обеспечение линейности работы в широком диапазоне частот. Эта необходимость связана с возникновением с тем, что в результате взаимодействия совокупности входных сигналов разной частоты на нелинейных элементах смесителя появляются интермодуляционные искажения, часть из которых может попасть в полосу пропускания фильтра приемника, вследствие чего не сможет быть удалена с помощью линейной фильтрации [3, 4]. Устраняют эту проблему обеспечением линейности применяемых преобразователей сигналов и выбором уровней и частот сигнала и гетеродина, что приводит к понижению уровня паразитных продуктов преобразования, то есть комбинационных составляющих порядка выше второго, до приемлемых значений.

Перемножение сигналов происходит путем нелинейных преобразований на *p-n*-переходе – диода или биполярного транзистора, или на нелинейности входной, почти квадратичной, характеристике полевого транзистора.

Базовые ячейки смесителей, как правило, выполняются на основе транзисторных структур и различаются не только схемотехническими решениями. В зависимости от режима работы, заданного на вольтамперных характеристиках этих полупроводниковых устройств, базовые ячейки могут работать, как преобразовательные элементы – при задании пассивного режима, или как усилительные – при установлении активного режима работы.

В работе было проведено исследование линейности работы следующих базовых структур, изображенных на рис. 1:

1) на биполярных транзисторах:

А) схема общим эмиттером (ОЭ) с параллельно включенным диодом (токовое зеркало) (рис. 1 а),

Б) схема ОЭ с последовательно включенным диодом (рис. 1 б) и

В) схема с ОЭ (рис. 1 в).

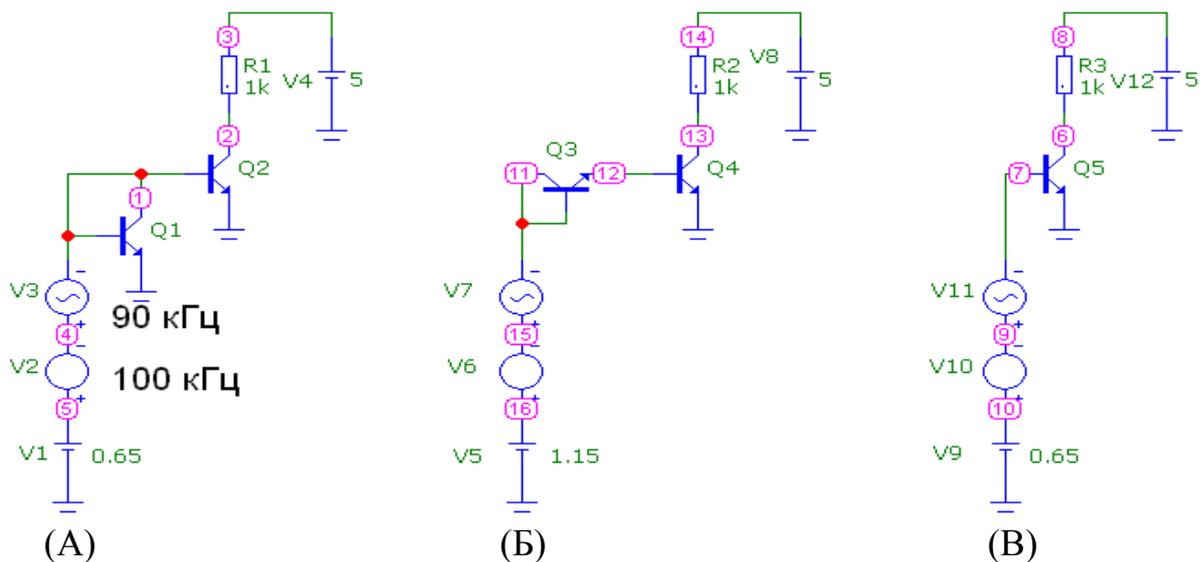


Рис. 1. Транзисторные каскады (А) – (В), работающие от генераторов напряжения

На рис. 1 источником сигнала является генератор напряжения для всех рассматриваемых схем. Постоянное смещение подобрано таким образом, чтобы токи коллекторов выходных транзисторов были примерно одинаковыми.

С учетом того, что полевой транзистор с изолированным затвором имеет квадратичную характеристику, более приемлемую для преобразования частоты сигнала, было также проведено исследование базовой схемы каскада на полевом транзисторе. Вследствие особенностей вольтамперной характеристики в идеальном смесителе на базе униполярного транзистора следует ожидать более низкий уровень комбинационных составляющих.

На рис. 2 представлены схема такого каскада (А) с подобранным режимом работы смесителя и спектр ее входного сигнала (Б).

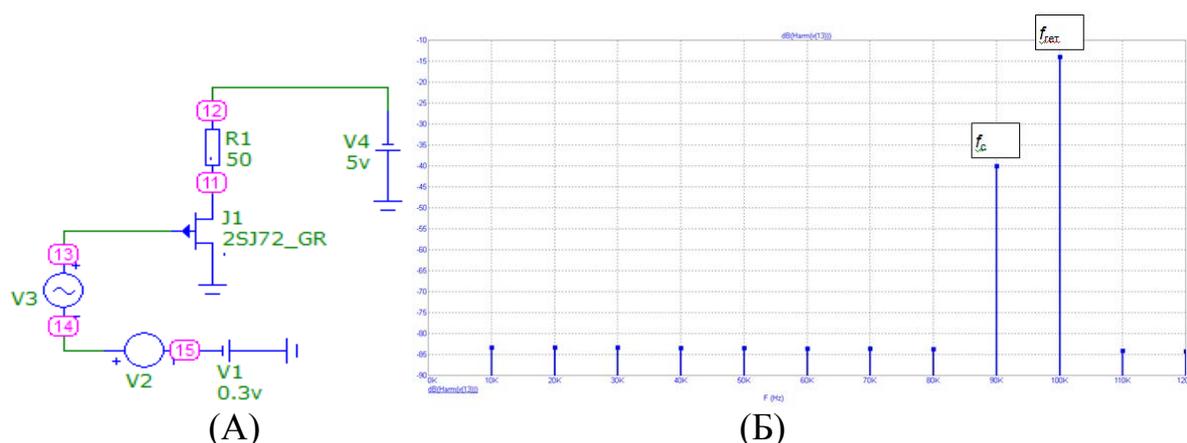


Рис. 1. Схема смесителя частоты на полевом транзисторе (А), работающего от генераторов напряжения, и спектр ее входного сигнала напряжения (Б)

Компьютерное моделирование проводилось в среде MICRO CAP версий 9 и 11. Она дает возможность проводить спектральные исследования различных структур смесителей в широком динамическом диапазоне, используя встроенную базу электронных компонентов, которые широко применяются в современной электронной технике.

В качестве критерия линейности работы перемножителей сигналов выбран относительный уровень комбинационных составляющих порядка выше второго, который определяли как  $f_{\text{вых}} = f_{\text{сигн}} + f_{\text{гет}}$ . Четные порядки не рассматривались, поскольку они хорошо компенсируются балансировкой схемы (т. е. использованием балансных и двойных кольцевых схем смесителей).

Проведенный анализ показал, что при одинаковом уровне выходного сигнала и при работе от генераторов напряжения преимуществом по линейности не обладает ни одна из рассмотренных элементарных транзисторных структур (рис. 3).

Также было проведено исследование линейности работы схем, когда в качестве генераторов переменного сигнала на входе и сигнала гетеродина генераторы тока с теми же частотами – 90 и 100 кГц соответственно. Как и ранее, режимы работы базовых схем смесителей частоты на транзисторных структурах были подобраны таким образом, чтобы выходной сигнал был приблизительно одинаковым для всех рассмотренных схем. Анализ компьютерного моделирования показывает, что при работе от генераторов тока линейность усилительных каскадов на биполярных  $p-n$ -переходах выше, чем при работе этих структур от генераторов напряжения. Наилучшей линейностью обладает элементарная базовая структура на основе каскада с общим эмиттером с параллельно включенными транзисторами.

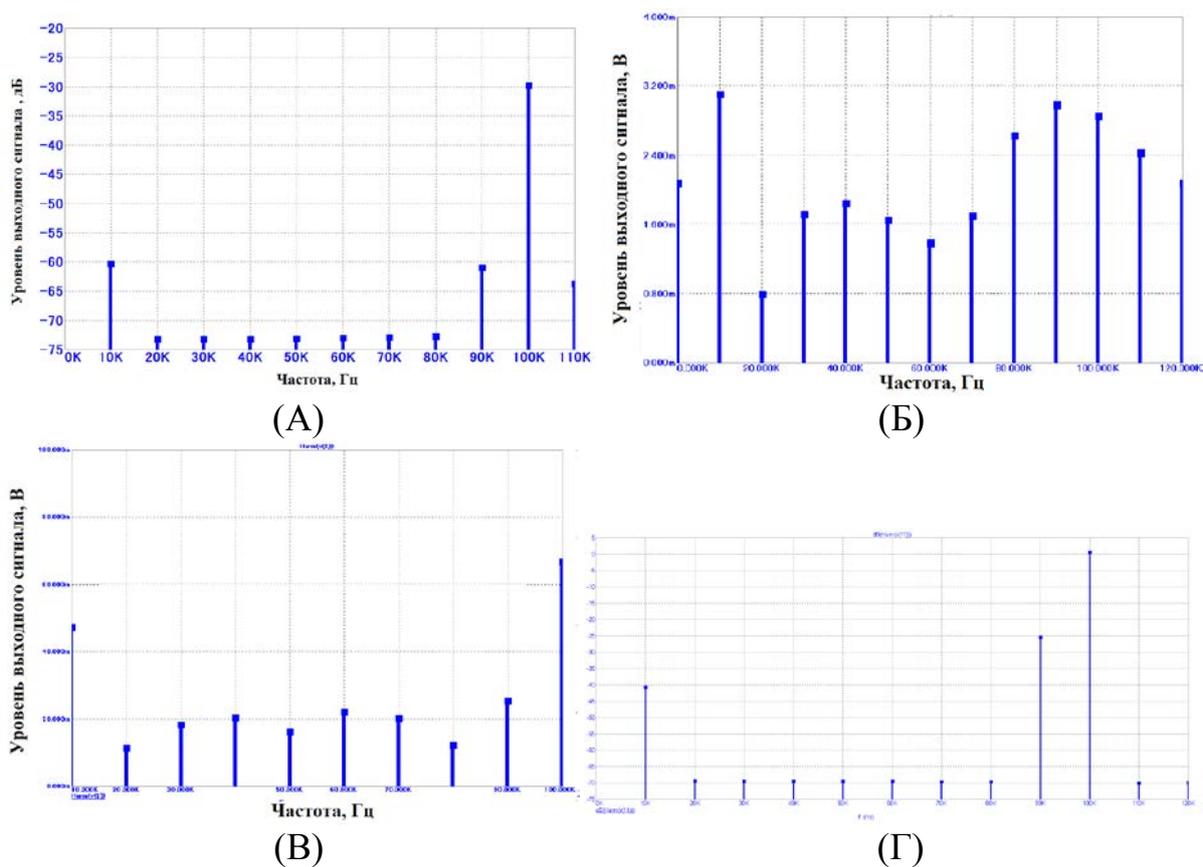


Рис. 3. Спектр на выходе диодной схемы (А), схемы с ОЭ (Б), каскада токового зеркала (В) и смесителя на полевом транзисторе (Г) при работе от генераторов синусоидального напряжения

Таким образом, в данной работе были получены спектральные характеристики выходного сигнала для схем смесителей частоты, выполненных на основе каскадов на токовом зеркале и диодной схемы и базовой ячейки на полевом транзисторе.

Из анализа спектров выходного сигнала видно, что наилучшими спектральными характеристиками преобразования обладают схемы с использованием полевого транзистора вследствие приближенности входной характеристики к квадратичной по сравнению со схемой на полупроводниковых биполярных структурах.

Следует учитывать что, чтобы смеситель по входу работал в квазилинейном режиме, уровень сигнала на его входе необходимо уменьшать. Желательно, чтобы для диодных смесителей на кремниевых диодах уровень сигнала на входе не превышал значений (5...15) мВ. В этом случае уровни комбинационных составляющих на выходе смесителя до 7-го порядка включительно будут менее  $-60$  дБн (60 дБ относительно уровня сигнала на его выходе).

Для «прореживания» комбинационных составляющих элементарные ячейки смесителей соединяют по балансной и/или кольцевой (двойной кольцевой) схемам – в этом случае компенсируются комбинации четных

порядков и, в зависимости от направления обмоток ВЧ трансформаторов, уменьшается прохождение колебания гетеродина и сигнала на выход промежуточной частоты [3, 5].

#### Список использованных источников

1. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы: учеб. для вузов. 6-е изд. СПб.: Лань, 2002. 480 с.
2. Никитин Ю. А., Юрова В. А. Моделирование преобразователя частоты на ячейке Джильберта // Труды учебных заведений связи. Т. 2, № 3. 2016. С. 93–98.
3. Никитин Ю. А. Схемотехника современных микроволновых синтезаторов частот. Часть 1. Общие положения. Пассивный синтезатор частот: учебное пособие. СПб.: СПбГУТ, 2015. 100 с.
4. Бобрешов А. М., Малежин М. И., Степкин В. А., Усков Г. К. Двойной балансный смеситель для перемножения сверхширокополосных импульсных сигналов // Вестник ВГУ. Серия: Физика. Математика. 2014. N 2. С. 5–13.
5. Никитин Ю. А. Схемотехника современных микроволновых синтезаторов частот: Часть 3. Элементы микроволновых синтезаторов. Аналоговая схемотехника: учебное пособие. СПб.: СПбГУТ, 2016. 91 с.
6. Поляков А. Е., Стрыгин Л. В. Методика измерения IP2 и IP3 двухтонового сигнала // Труды МФТИ. 2012. № 2. С. 54–63.
7. Сазоненко Н. Ю., Сединин А. Д., Никитин Ю. А., Юрова В. А. Исследование особенностей работы схем смесителей (перемножителей) частоты // Сборник: Неделя науки СПбПУ материалы научной конференции с международным участием. 2017. С. 48–50.

*Статья представлена научным руководителем, кандидатом физико-математических наук В. А. Юровой, СПбГУТ.  
Научный консультант: кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент Никитин Ю. А., СПбГУТ.*

**УДК 53.05, 53.07, 378, 621.3**

**Н. Ю. Сазоненко, П. В. Шаповалова, К. А. Груздев** (студенты, СПбГУТ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ ГЛЮКОМЕЗИМЕТРОВ

*Среди эндокринной патологии сахарный диабет занимает первое место по распространенности (более 50 % всех эндокринных заболеваний). В настоящее время распространенность явного сахарного диабета среди населения экономически развитых стран достигает 4 %. Однако массовые обследования показали, что больных скрытыми формами диабета в 2 раза больше, чем больных с явным диабетом. Для больных сахарным диабетом различного типа необходимо постоянно проводить мониторинг уровня глюкозы в крови, который, как правило, осуществляется с помощью глюкомет-*

*ров (глюкозиметров). В работе изучены физические принципы работы измерительного прибора – глюкозиметра, его основных характеристик, проведен анализ современных технологий, используемых в глюкозиметрах, и их перспективы развития.*

*светоприемное устройство, медицинская техника, интегральная схема, глюкометр, биосенсор.*

Среди эндокринной патологии сахарный диабет занимает первое место по распространенности (более 50 % всех эндокринных заболеваний). Эпидемиология сахарного диабета изучена недостаточно. В настоящее время распространенность явного сахарного диабета среди населения экономически развитых стран достигает 4 %. Однако массовые обследования показали, что больных скрытыми формами диабета в 2 раза больше, чем больных с явным диабетом. Для больных сахарным диабетом различного типа необходимо постоянно проводить мониторинг уровня глюкозы в крови, который, как правило, осуществляется с помощью глюкометров (глюкозиметров) [1]. Поэтому актуальной является задача изучения принципов работы измерительного прибора – глюкометра, его основных характеристик, проведение анализа современных технологий, используемых в глюкометрах, и их перспективы развития. Для этого был проведен теоретический анализ существующих глюкометров, рассмотрение принципа их работы, возможных направлений развития технологий измерения уровня сахара (глюкозы).

В настоящее время существует большое разнообразие моделей глюкометров, которые можно разделить по принципу действия, различных функциональных возможностей и точностью данных измерения [2, 3]. Большинство моделей глюкометров ориентированы на то, чтобы человек мог замерять уровень сахара в крови в домашних условиях самостоятельно, само устройство портативно, и в некоторых моделях есть возможность хранения данных, ведения электронной статистики и синхронизации с ПК.

В соответствии с международным стандартом ISO 15197-2015 тест-систем для диагностики *in vitro* (системы мониторинга глюкозы в крови для самоконтроля при лечении сахарного диабета) точность результатов таких замеров составляет свыше 80 % [1]. Следует учитывать, что в некоторых приборах точность измерения будет значительно ниже. Результаты одного и того же тестового образца могут значительно различаться, что связано с особенностями метода измерения – глюкоза в плазме или капиллярной крови. Поэтому на начальном этапе мониторинга, как правило, проводится контрольное измерение точности глюкометра, в котором содержится точно определенное количество глюкозы. В дальнейшем пациент самостоятельно или с лечащим врачом проводится нормирование текущих показаний относительно контрольного значения. На основе полученных результатов можно принимать решения относительно той или иной дозировки лекарств. Также глюкометры отличаются по интерфейсам связи с

ПК и другими устройствами, жидкокристаллическими экранами и обработкой данных. Разработчикам требуется найти верное соотношение между мощным микропроцессором, полным набором функций, невысокой стоимостью и низким энергопотреблением.

Измерение проводится с помощью глюкозооксидазного биосенсора, в который устанавливается на одноразовая индикаторная пластина с нанесенной на нее каплей крови. Существует несколько методов измерения – фотометрический и электрохимический. В первом случае определяют изменение окраски тест-зоны, возникающее в результате реакции глюкозы со специальными веществами, нанесенными на полоску. Это так называемые «приборы первого поколения», технология которых уже устарела. Такие приборы калиброваны по цельной капиллярной крови. В основе метода измерения глюкозы в крови тест-полосками лежит ферментативная реакция окисления глюкозы глюкозооксидазой до глюконовой кислоты и перекиси водорода. Принцип работы электрохимического метода заключается в пропорциональности показателя гликемии от величины тока, протекающего в результате реакции глюкозы крови со специальными веществами в тест-полоске (амперометрия или кулонометрия).

Все модели глюкометров проводят измерения уровня глюкозы инвазивно, то есть требуют прокола кожи для забора пробы крови и использования одноразовых тест-полосок. Поэтому ведется активный поиск возможностей создания неинвазивных глюкометров. Положительные стороны неинвазивных глюкометров – не нужно постоянно покупать новые тест-полоски, для исследования не требуется прокалывать палец. На сегодняшний день популярны системы непрерывного мониторинга глюкозы в крови freestyle libre и dexcom. Неинвазивными глюкометрами назвать их нельзя, но количество повреждений кожных покровов сводится к минимуму. Есть сведения, что ведется разработка электронного браслета компанией DexCom совместно с Apple, который с мобильным приложением для Apple Watch будет в режиме реального времени определять уровень глюкозы без прокола кожи. Метод основан на биохимическом анализе кожи.

Еще одним направлением развития современных глюкометров является разработка оптических биосенсоров. Их работа основана на явлении поверхностного плазмонного резонанса, который заключается в возбуждении внешней электромагнитной волной поверхностного плазмона на его резонансной частоте. Такие устройства представляют собой сенсорный чип, у которого одна сторона покрыта микроскопическим слоем золота, что экономически не выгодно. Бюджетнее в производстве и точнее оптические биосенсоры следующего поколения с точечным сферическим контактом. Альтернативой в этом виде глюкометров, которые проходят испытания в настоящее время, является послойная комбинация меди и оксида графена, что обеспечивает повышение чувствительности датчика и в разы удешевляет производство [4].

Выводы. В наши дни индивидуальные глюкометры пользуются большой популярностью из-за увеличения количества людей больных диабетом. Поэтому актуальной остается задача по разработке новых неинвазивных методов мониторинга уровня глюкозы в крови и увеличения точности измерений, единого подхода и системы отсчета для возможности сопоставления результатов анализов.

#### Список использованных источников

1. ГОСТ Р ИСО 15197. Тест-системы для диагностики in vitro. Национальный стандарт российской федерации. 2015.
2. Тимофеев А. В., Древаль Р. О. Глюкометры: цена точности // Эндокринология/Кардиология. Спецвыпуск. 2016. № 1.
3. Глюкометр. Свободная энциклопедия «Википедия». URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
4. Stebunov Y. V., Yakubovsky D. I., Fedyanin D. Yu. et al. Superior Sensitivity of Copper-Based Plasmonic Biosensors // Langmuir. 2018. N. 34 (15). PP. 4681–4687.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом физико-математических наук Юровой В. А., СПбГУТ.*

#### УДК 621.3

**А. Д. Сединин** (студент, СПбГУТ)

**Г. Н. Фурсей** (доктор физико-математических наук, профессор, СПбГУТ)

### АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОСТРОЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

*В работе исследована схема широкополосного транзисторного преобразователя частоты с сигналом от источника напряжения и источника тока. Были разработаны рекомендации по оптимальному режиму работы с точки зрения уровня интермодуляционных искажений.*

*преобразователи частоты, транзисторы, интермодуляционные искажения, коэффициент передачи.*

В работе современных электронных устройств независимо от сферы их применения используются сигналы различной формы, частоты, фазы. Зачастую невозможно напрямую получить сигнал с нужной частотой колебаний. В таких случаях используются электронные устройства, называемые преобразователями частот.

Для получения необходимой частоты складывают сигналы, поступающие от двух независимых источников колебаний со смежными, стабили-

ными частотами. В результате смещения в выходном сигнале преобразователя возникают составляющие суммарных, разностных и некоторых иных частот. Таким образом, в последующую электрическую цепь передаются как полезные составляющие сигнала, так и не желательные, которые могут вносить искажения. Ввиду этого чистота выходного колебания становится объектом пристального внимания при проектировании преобразователей. Имеется обширная литература, посвящённая анализу преобразователей [1, 2]. Однако исследователи используют различные подходы и математический аппарат, что усложняет сравнение результатов различных исследований.

Наиболее широкое распространение получили устройства, спроектированные на основе каскада с общим эмиттером (ОЭ). Это объясняется не только его простотой, но и невысокой сложностью проектирования и разработки на его основе более сложных схем: токового зеркала, колец импульсно-фазовой автоподстройки частоты и проч. Поэтому изучение и моделирование работы каскада с ОЭ в качестве преобразователя частоты представляет интерес. Целью работы являлось исследование работы схем преобразователей частоты на основе биполярных транзисторов и подбор амплитуды входных сигналов с наименьшим уровнем побочных искажений.

В системе Micro-Cap версии 9 с использованием встроенной базы элементов были смоделированы следующие схемы: Каскад с ОЭ; Токовое зеркало и Каскад с ОЭ с отрицательной обратной связью (ООС) (рис. 1). Каскад с ОЭ и токовое зеркало были исследованы с сигналом от генератора напряжения и генератора тока. При исследовании третьей схемы были подобраны различные резисторы, определяющие глубину ООС.

Для оценки частоты выходного спектра применяется коэффициент передачи [3], рассчитываемый по формуле

$$K_r = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1}, \quad (1)$$

где  $U_n$  – амплитуда гармоник, начиная со второй,  $U_1$  – амплитуда первой гармоники.

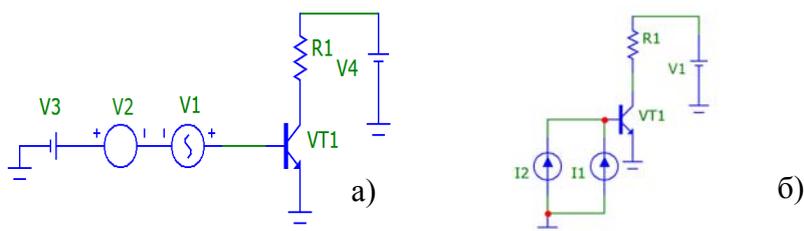
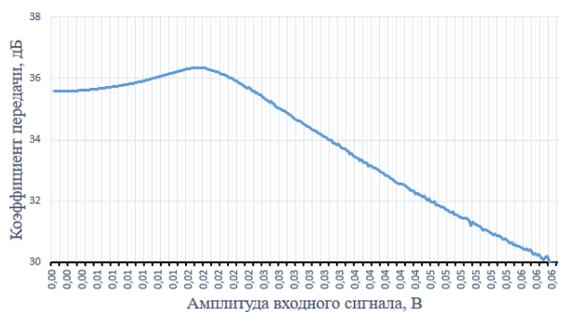
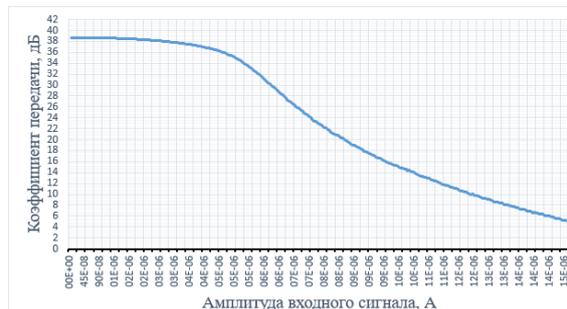


Рис. 1. Каскад с общим эмиттером: а) генератор напряжения; б) генератор тока

Изменяя амплитуду входного сигнала были получены зависимости, изображённые на рис. 2.



а)



б)

Рис. 2. Изменение коэффициента передачи в зависимости от амплитуды входного сигнала:

а) генератор напряжения; б) генератор тока

При работе каскада с ОЭ при работе от генератора напряжения видна граница линейного режима. Далее были получены зависимости коэффициента передачи для побочных гармоник, представленные на рис. 3.



а)



б)

Рис. 3. Коэффициенты передачи побочных (нечётных) гармоник:

а) генератор напряжения; б) генератор тока

Анализируя графики можно заметить, что при поступлении сигнала от генератора напряжения интермодуляционные искажения держатся на уровне  $(-60) \dots (-70)$  дБ.

Далее был смоделирован смеситель на основе токового зеркала (рис. 4).

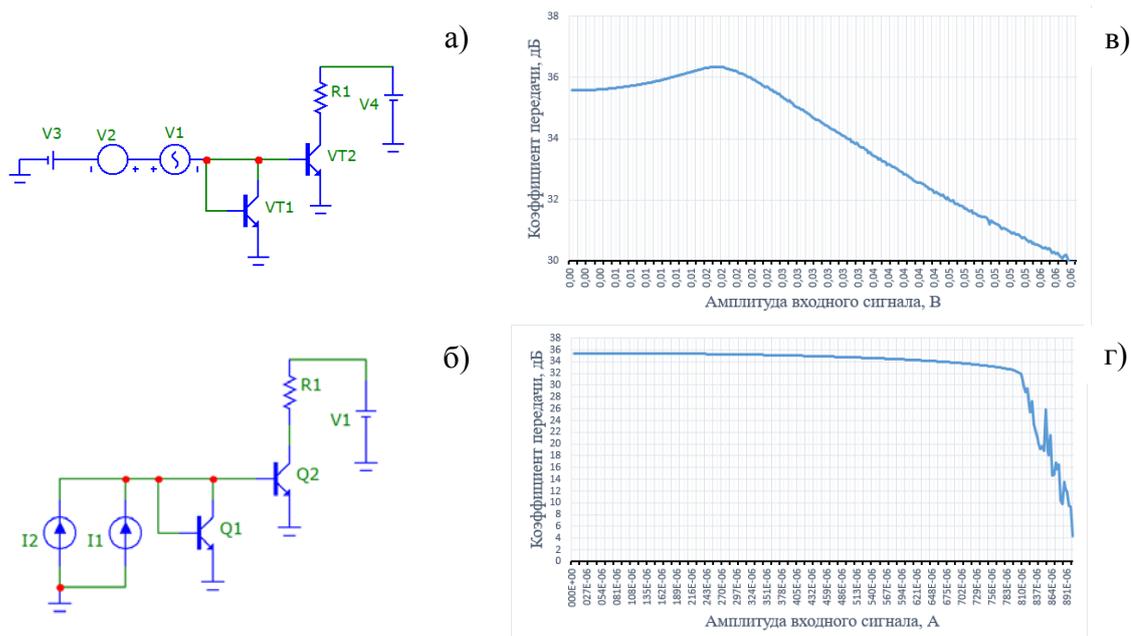


Рис. 4. Токовое зеркало при подключении на вход: а) Генератора напряжения (ГН), б) генератора тока (ГТ); и графики зависимости коэффициента передачи от амплитуды входного сигнала при подключении на вход: в) ГН, г) ГТ

Наглядно видно, что граница линейного режима при сигнале от генератора тока существенно увеличилась. Далее были получены зависимости коэффициента передачи для побочных гармоник, представленные на рис. 5.

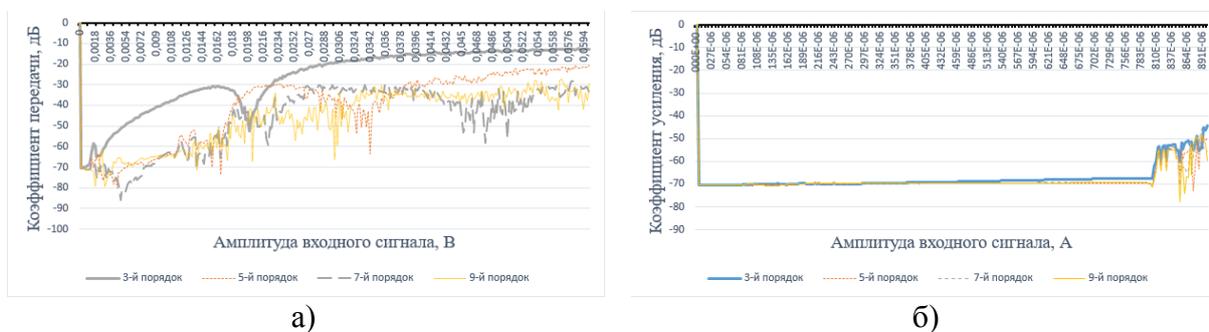


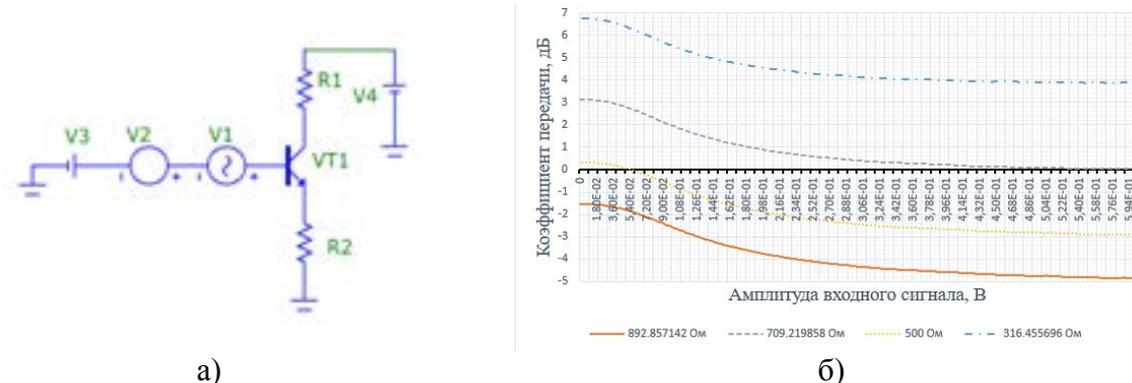
Рис. 5. Коэффициенты передачи побочных (нечётных) гармоник: а) ГН и б) ГТ

При работе от генераторов напряжения поведение коэффициента передачи не отличается от каскада с ОЭ. Однако при работе от генераторов тока удалось существенно увеличить границу линейного режима и снизить уровень интермодуляционных искажений.

Для исследования влияния обратной связи была смоделирована схема, представленная на рис. 6 а. Изменяя амплитуду входного сигнала были получены зависимости, изображённые на рис. 6 б.

Характер полученной зависимости позволяет судить только о величине коэффициента передачи, но не о характере линейности выходного

колебания. Однако очевидно, что с увеличением глубины обратной связи коэффициент передачи уменьшается.



а)

б)

Рис. 6. а) Схема с обратной связью;

б) Изменение коэффициента передачи в зависимости от амплитуды входного сигнала

На рис. 7 отражены зависимости коэффициента передачи побочных гармоник для различной глубины отрицательной обратной связи. Графики демонстрируют, что внесение ООС в каскад с ОЭ уменьшило относительный уровень побочных искажений с  $(-40)\dots(-50)$  до  $(-80)\dots(-90)$  дБ. С уменьшением глубины обратной связи уровень нелинейных искажений повышается.

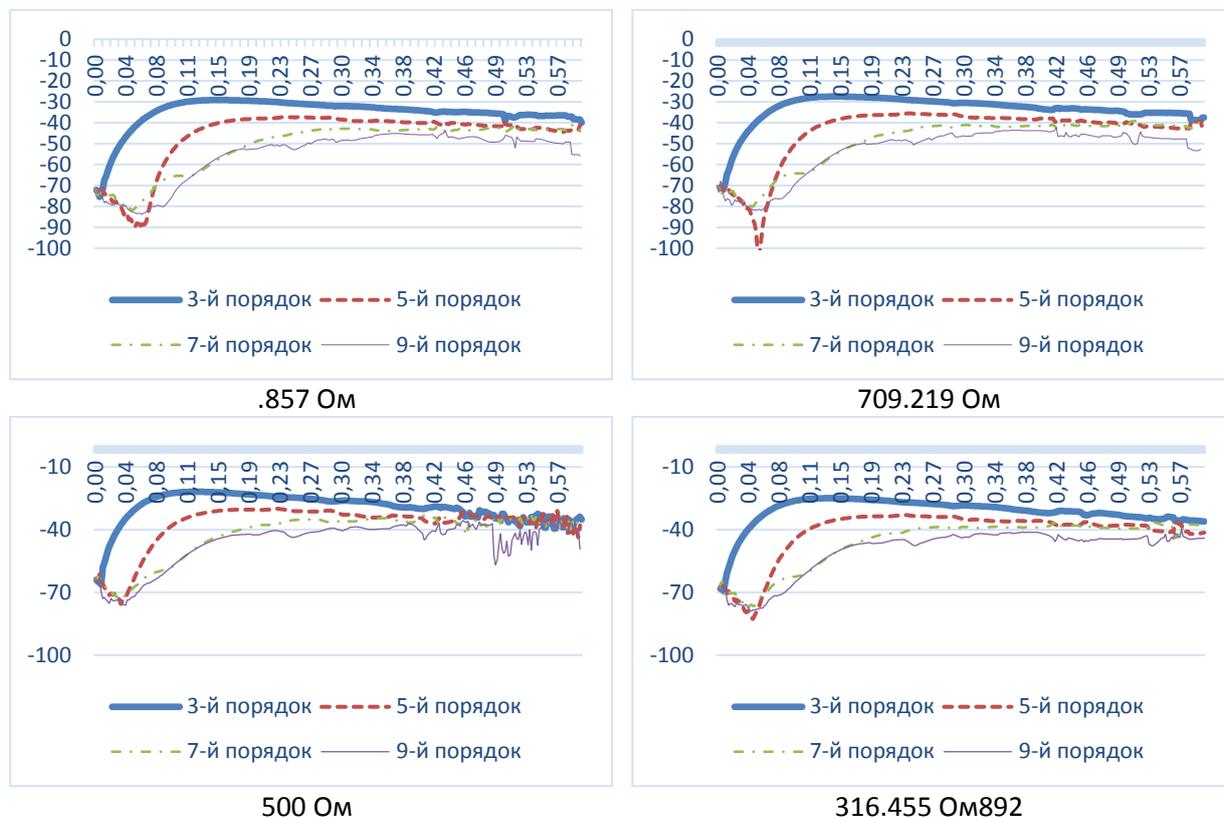


Рис. 7. Зависимости коэффициента передачи побочных гармоник для различной глубины отрицательной обратной связи

## Выводы

Запас линейности для схемы с ОЭ различается при поступлении сигнала от ГН и ГТ. Генераторы напряжения обеспечивают линейный режим до 0.144 В, после чего резко возрастают нелинейные искажения и сигнал сильно искажается. При поступлении сигнала от генераторов тока коэффициент передачи побочных гармоник держится на уровне 2 дБ, с резким падением после 3.6 мкА. Несмотря на это переходный анализ показывает, что сигнал сильно искажается, что свидетельствует о переходе схемы в нелинейный режим.

Включение в каскад ООС путём установки резистора в цепь эмиттера существенно улучшает линейность, но за это приходится расплачиваться сильным уменьшением коэффициента передачи на частоте 90 кГц. Уменьшение глубины обратной связи увеличивает его, однако линейность схемы постепенно уменьшается.

Улучшение схемы до токового зеркала путём параллельного включения такого же транзистора улучшает линейность как при сигнале от генератора напряжения, так и от генератора тока. Наилучшие показатели обеспечиваются при сигнале от генератора тока.

## Список использованных источников

1. Никитин Ю. А. Схемотехника современных микроволновых синтезаторов частот. Часть 1. Общие положения. Пассивный синтезатор частот: учеб. пособие. СПб.: СПбГУТ, 2015. 100 с.
2. Сазоненко Н. Ю., Никитин Ю. А., Юрова В. А. Моделирование перемножителей сигналов с использованием пакета MICRO CAP // Сборник трудов Всероссийской конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ. 2017. С. 270–274.
3. Поляков А. Е., Стрыгин Л. В. Методика измерения IP2 и IP3 двухтонового сигнала // Труды МФТИ. 2012. № 2. С. 54–63.

*Статья представлена научным руководителем,*

*кандидатом физико-математических наук Юровой В. А., СПбГУТ.*

*Научный консультант: кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент Никитин Ю. А., СПбГУТ.*

УДК 53.05, 53.07, 378, 621.3

П. В. Шаповалова (студентка, СПбГУТ)

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ СВЕТОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА И ЕЕ ТОПОЛОГИИ

*Во многих сферах деятельности человека, таких как медицина, производство полупроводниковой техники, материаловедение, бытовая техника и другие отрасли активно применяются устройства, активно применяются технологии, основанные на исследовании спектрального взаимодействия материи и излучения. Поэтому актуальной является задача разработки устройств регистрации излучения, обладающих высокой чувствительностью в широком диапазоне, хорошей помехоустойчивостью и возможностью работы при минимальном уровне входной мощности. В работе проведен анализ путей построения современных светоприемных устройств, особенностей полупроводниковой технологии производства интегральных схем, предложены схемы усилительной части светоприемного устройства, применяемого в детекторах пожарной безопасности, подобраны параметры схем по постоянному току и рассчитана их топология. В работе также представлены результаты проведенного компьютерного моделирования работы схем.*

*светоприемное устройство, транзистор, интегральная схема, технология МОП, полупроводник, кремний.*

В настоящее время полупроводниковая интегральная электроника является самой быстроразвивающейся отраслью современной промышленности. Это связано с повсеместным использованием электронных компонентов и устройств на их основе в различном промышленном оборудовании, в радиоэлектронике и телекоммуникационных устройствах, бытовой и вычислительной технике. Поэтому одним из направлений проектирования светоприемных приборов является разработка схем, выполненных на интегральных компонентах. Такие схемотехнические решения в проектировании устройств для регистрации излучения оптического и/или инфракрасного диапазона обеспечивают возможность применения полупроводниковых планарных технологий, что приводит к уменьшению массогабаритных параметров и стоимости устройства, упрощается процесс настройки приемной части оптических устройств различного назначения [1].

В работе было проведено компьютерное моделирование усилительной части светоприемного устройства (СПУ) в программе Micro-Cap [2].

Одним из вариантов построения усилительной части СПУ представлена на рис. 1 а. Она состоит из  $p-i-n$  фотодиода  $X_1$ , который является источником сигнала. К нему подключен источник напряжения VLIGHT, который «моделирует» световой поток.

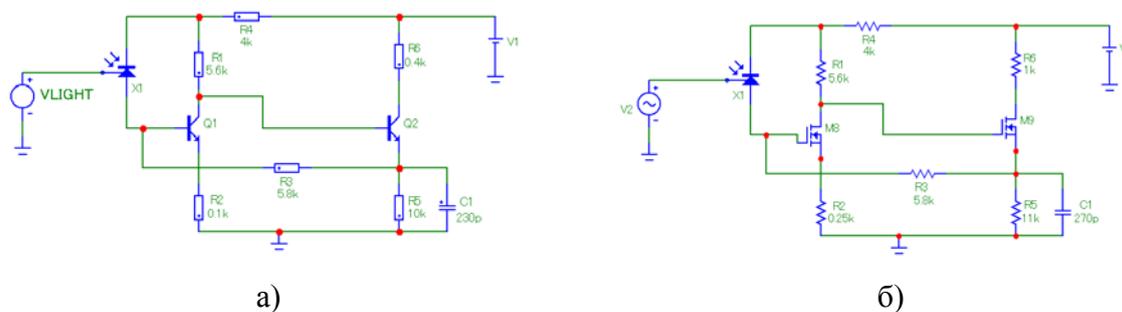


Рис. 1. Принципиальная схемы светоприемного устройства на биполярных (а) и полевых (б) транзисторах

Подобрав полевой транзистор с похожими характеристиками, была получена схема (рис. 1, б), которая по частотным характеристикам похожа по параметрам схемы на биполярных транзисторах. Подобрав нужный режим работы транзисторов, изменяя значения  $R_2$  и  $R_7$ , удалось получить такой же диапазон рабочих частот, как и в схеме с биполярными транзисторами.

Ниже представлены амплитудно-частотные характеристики исследованных схем (рис. 2 и рис. 3), работа которых была смоделирована в программе Micro-Cap.

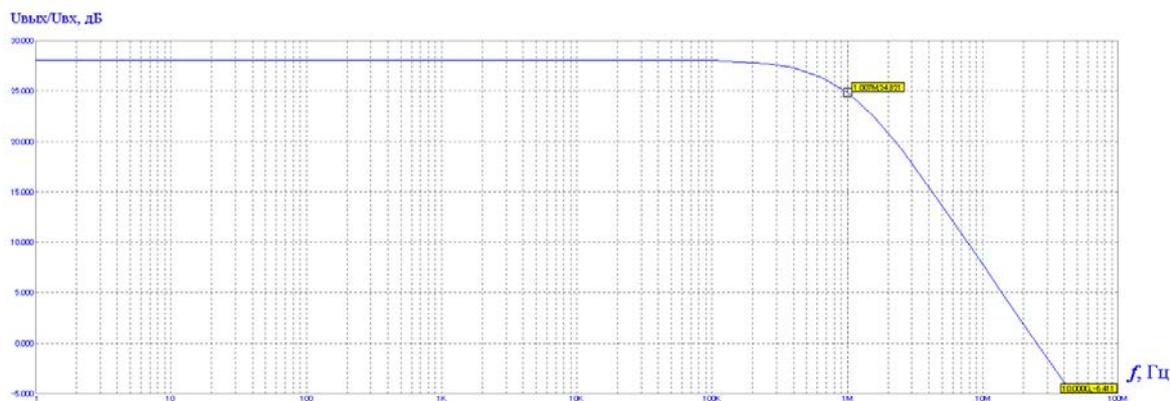


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика схемы с биполярными транзисторами

Таким образом, было получено, что предложенное устройство может работать в достаточно широком диапазоне частот от 1 Гц до 1 МГц и имеет коэффициент усиления  $K_u \approx 26$  дБ. Используя соотношение частоты верхнего среза и времени нарастания переднего фронта импульса, получим, что время нарастания переднего фронта выходного сигнала схемы составляет  $t_H = 0.35 \cdot 10^{-6}$  с.

Для того чтобы оценить шумовые свойства предварительных каскадов целесообразно использовать отношение сигнал/шум [3].

$$N = 20 \cdot \log \frac{I_1}{I_{\text{Шэкв}}},$$

где  $I_1$  – ток фотодиода,  $I_{шэкв}$  – эквивалентный шумовой ток. Тогда для предложенной схемы  $N = 92.3$  дБ.

На рис. 3 представлена полученная в ходе компьютерного моделирования АЧХ для схемы на полевых транзисторах, которая показывает, что рабочий диапазон имеет ширину от 1 Гц до 1 МГц и коэффициент усиления  $K_u \approx 27$  дБ. Время нарастания импульса составляет  $t_H = 0.35 \cdot 10^{-6}$  с,  $N = 91.8$  дБ.

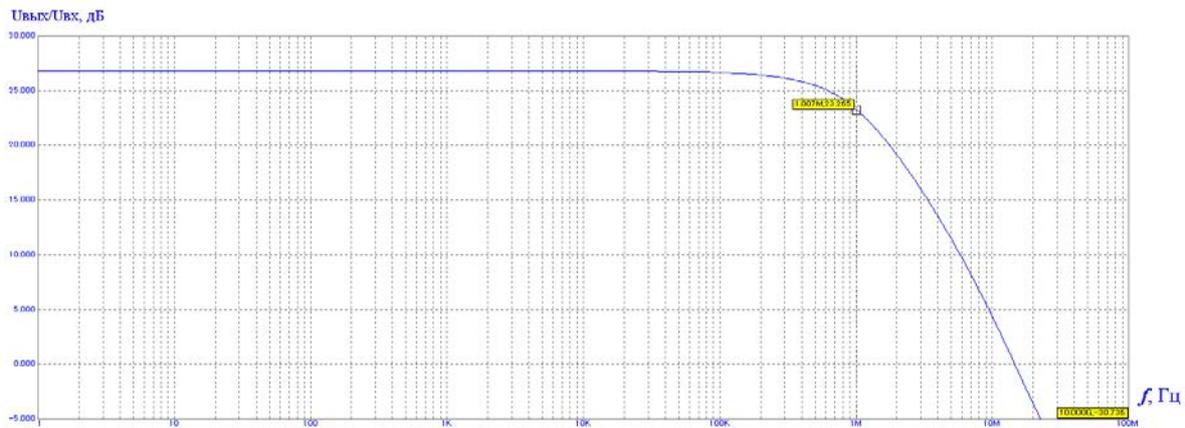


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика схемы с полевыми транзисторами

Таким образом, было получено, что рассмотренные схемы обладают схожими параметрами. Коэффициент шума в схеме на полевых транзисторах несколько ниже, чем в схеме с биполярными, что объяснимо особенностями механизмов токопереноса.

С учетом того, что схемы на полевых транзисторах возможно производить в виде интегральных схем с использованием технологии металл-диэлектрик-полупроводник (МДП), то следующим этапом работы были расчет и разработка топологии рассмотренной схемы.

Технологии МДП позволяют использовать планарные операции производства интегральных и гибридных схем [4]. Для полевого транзистора диэлектриком под затвором был выбран диоксид кремния  $\text{SiO}_2$ . Он обладает достаточно большим значением диэлектрической проницаемостью, дешев, обладает высокой электрической прочностью. Основной дилеммой в производстве СПУ является выполнение двух противоречивых условий при разработке топологии фотодиода. С одной стороны в структуре фотодиода необходимо обеспечить равномерное протекание тока по всему объему и, значит, использовать максимальную площадь поверхности структуры для формирования контактного слоя металла. С другой стороны необходимо максимально открыть  $p$ - $n$ -переход для падающего на него излучения и, значит, обеспечить работу устройства с сигналом даже очень малой интенсивности. Поэтому в предлагаемой схеме для уменьшения световых потерь в качестве электродов для фотодиода используются пленки хрома, характеризующиеся 40 % прозрачностью во всей видимой области.

Для подвода питающего напряжения поверх этого слоя формируется слой алюминиевой металлизации таким образом, чтобы поверхность подзатворного диэлектрика диоксида кремния оставалась открытой для светового сигнала. В качестве электродов для полевых транзисторов был выбран алюминий.

Определим толщину переходов стока и истока:

$$d_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_d \cdot (U_{си} + \varphi_{\Phi_i})}{q \cdot N}}; \quad d_n = \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_d \cdot \varphi_{\Phi_i}}{q \cdot N}}.$$

Подставляем значения:

$$d_c = \sqrt{\frac{2 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 3.9 \cdot (60 + 0.46)}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{15}}} = 5.11 \cdot 10^{-3} \text{ (м)};$$

$$d_n = \sqrt{\frac{2 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 3.9 \cdot 0.46}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{15}}} = 0.45 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}.$$

Минимальная длина канала определяется по формуле

$$l_{min} = k \cdot [x_{p-n} \cdot h_d \cdot (d_n + d_c)^2]^{\frac{1}{3}},$$

где  $k$  – коэффициент ( $k = 8,62 \text{ мкм}^{-1/3}$ ),  $x_{p-n}$  – глубина залегания  $p$ - $n$ -переходов стока и истока ( $x_{p-n} = 0.1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ ).

$$l_{min} = 8.62 \cdot [0.1 \cdot 10^{-6} \cdot 8 \cdot 10^{-9} \cdot (0.45 \cdot 10^{-3} + 5.11 \cdot 10^{-3})^2]^{\frac{1}{3}} = 2.5 \text{ (мкм)}.$$

Минимальная ширина канала определяется как

$$b = \frac{l_{min} \cdot S^2 \cdot \left(1 + \frac{|Q_{об}|}{4 \cdot |\varphi_{\Phi_i}| \cdot C_{з0}}\right)}{2 \cdot \mu_0 \cdot C_{з0} \cdot I_{сmax}} = \frac{2.5 \cdot 0.028^2 \cdot \left(1 + \frac{|3.2 \cdot 10^{-7}|}{4 \cdot |0.46| \cdot 0.43 \cdot 10^{-6}}\right)^2}{2 \cdot 700 \cdot 0.43 \cdot 10^{-6} \cdot 3} = 5.81 \text{ (мкм)},$$

где  $\mu_0$  – подвижность носителей заряда в канале при слабом электрическом поле ( $\mu_0 = 700 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ ),  $I_{сmax}$  – ток стока ( $I_{сmax} = 3 \text{ А}$ ),  $S$  – крутизна ( $S = 0.028 \text{ А/В}$ ).

Результаты расчета геометрических размеров пленочных резисторов схемы изображенной на рис. 1, б представлены в табл. 1. Материал резистивной пленки – Кермет К-20 ЕТО.021.033ТУ (золото с подслоем ни-хрома).

ТАБЛИЦА 1. Результаты расчета геометрических размеров резисторов

Резистор	Значение, Ом	$K_{\Phi 1}$	$b_{расч}$ , мм	$l_{расч}$ , мм	$l_{полн}$ , мм	$S$ , мм <sup>2</sup>
$R_1$	$5.6 \cdot 10^3$	2.54	0.82	2.033	2.433	1.946

Резистор	Значение, Ом	$K_{Ф1}$	$b_{расч}$ , мм	$l_{расч}$ , мм	$l_{полн}$ , мм	$S$ , мм <sup>2</sup>
$R_2$	250	0.11	5.774	0.655	1.055	6.092
$R_3$	$5.6 \cdot 10^3$	1.8	0.912	2.033	1.83	2.033
$R_4$	$4 \cdot 10^3$	2.6	0.812	2.505	2.004	2.505
$R_5$	$11 \cdot 10^3$	5	0.82	4.393	3.514	4.393
$R_6$	$1 \cdot 10^3$	0.45	1.885	0.855	1.255	2.366

Для изготовления пленочного конденсатора в качестве диэлектрика был выбран диоксид кремния  $SiO_2$ . Результаты расчета геометрических размеров пленочных конденсаторов схемы представлены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Результаты расчета геометрических размеров конденсатора

Значение, пФ	$C_0$ , пФ/мм <sup>2</sup>	$K$	$d$ , мкм	$A_{втоп}$ , мм	$A_{нтоп}$ , мм	$A_{дтоп}$ , мм	$S$ , мм <sup>2</sup>
270	95	1.129	0.75	1.65	1.95	2.25	5.07

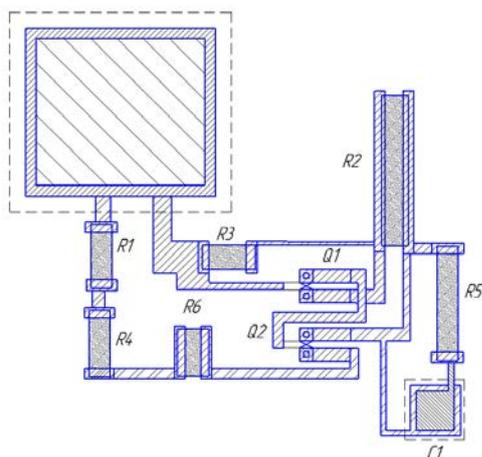


Рис. 4. Чертеж топологии светоприемного устройства

В итоге была получена схема, выполненная в виде гибридной интегральной схемы (рис. 4).

Таким образом, были рассчитаны и спроектированы схемы СПУ на биполярных и полевых транзисторах. Был произведен сравнительный анализ по таким параметрам как коэффициент усиления, полоса пропускания, уровень шумов и быстродействие устройства. Для получения более значительного усиления сигнала в усилительной части СПУ возможно последовательное подключение нескольких каскадов. Была

подобрана оптимальная схемная конструкция СПУ, которая обеспечивает наилучшие характеристики и стабильность работы в широком диапазоне частот, произведен расчет ее топологии.

#### Список использованных источников

1. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы: учеб. для вузов. 6-е изд. СПб.: Лань, 2002. 480 с.
2. Копысов А. Н., Зайцева Е. М. Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств в среде Micro-Cap: метод. указания к лабораторным работам. Ижевск, 2013. 66 с.
3. Ван дер Зил А. Шум. Источники, описание, измерение. М.: Советское радио, 1973. 228 с.
4. Королев М. А., Крупкина Т. Ю., Ревелева М. А. Технология конструкция и методы моделирования кремниевых интегральных схем. Ч. 1.: Технология конструкция

и методы моделирования кремниевых интегральных схем / М. А. Королев; под общей ред. чл.-корр. РАН проф. Ю. А. Чаплыгина. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. 397 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом физико-математических наук Юровой В. А., СПбГУТ.*

УДК 629.76

А. В. Александрова, Д. В. Молчанов, К. О. Шелко (студенты, СПбГУТ)

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ В СЕВЕРНЫХ ШИРОТАХ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АСМ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ КАНАЛА СВЯЗИ

*Проанализированы особенности построения многоканальных систем передачи в условиях северных широт, исследованы способы повышения устойчивости и пропускной способности каналов спутниковой связи для организации сети передачи данных. Рассмотрены возможности системы спутниковой связи «Гонец-Д1м» интересах пользователей сетей связи специального назначения, состояние и основные направления развития интегрированной сети спутниковой связи ВС РФ. Рассмотрены возможности технологии АСМ (Adaptive Coding and Modulation) для построения высокоскоростного канала спутниковой связи в условиях сложной помеховой обстановки.*

*системы спутниковой связи, северные широты, помехозащищенность, интегрированная система спутниковой связи, адаптивное кодирование и модуляция.*

Уникальность территорий Крайнего Севера обусловлена природно-климатическими и социальными факторами. Комплексная задача обеспечения экономического развития северных регионов требует решения множества подзадач, к которым относится, в частности, обеспечение навигации по трассе Северного морского пути, безопасности полетов воздушных судов в северных широтах. В соответствии со Стратегией развития Арктической зоны РФ, утвержденной Президентом РФ 20.02.2013, создании в Арктической зоне единой системы базирования надводных кораблей и подлодок нового поколения, укреплении границ и образовании Объединённого стратегического командования «Северный флот», а также реализация ФЦП «Мировой океан» приоритетным направлением развития северных районов является создание современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры, позволяющей оказывать услуги на всей территории Арктической зоны, как населению, так и хозяйствующим субъектам. Создание такой инфраструктуры будет способствовать ликвидации цифрового неравенства и интеграции Крайнего Севера в единое мировое информационное пространство.

С учетом сложных природно-климатических условий оперативное решение этих задач возможно только с использованием беспроводных средств связи. Анализ существующих особенностей организации радиорелейной связи в северных регионах – это модернизация унаследованной тропосферной радиорелейной линии связи «Север». ТРРЛ «Север» – советская система линий связи, созданная для обеспечения связью отдалённых регионов

страны. Линия имеет протяжённость 13 200 километров и состоит из сорока шести тропосферных радиорелейных станций (ТРРС), расположенных большей частью вдоль побережья Северного Ледовитого и Тихого океанов и крупнейших сибирских рек Енисея и Лены. Система состояла из семи линий, имела два узла, в подчинении у которых находились центры и станции. ТРПЛ «Север» служила вплоть до 1990-х. Развал СССР привели к тому, что станции начали одну за другой консервировать – по сути, закрывать. Последняя линия прекратила свою работу в 2003 году.

Отечественные производители имеют технические решения при проектировании низкоскоростных РРС, работающих в метровом и дециметровом диапазонах. Эти диапазоны позволяют работать на полузакрытых интервалах и больших расстояниях (до 75 км в реальных проектах). Но самыми распространёнными являются средне- и высокоскоростные РРС сантиметрового диапазона. Современные РРС – универсальное средство связи, обеспечивающее поддержку любого типа трафика, в том числе потоковое цифровое ТВ. Они обладают улучшенными характеристиками канала (с модуляцией до 1024 QAM) и такими функциями, как безобрывная адаптивная модуляция AMR (когда максимальная скорость передачи автоматически подбирается в зависимости от состояния среды). Наряду с высокими скоростями их преимущества – уведомительный порядок частотных присвоений, полностью внешнее исполнение и простой монтаж. Однако действуют они на ограниченных расстояниях (максимум 7–10 км). Увеличение протяжённости РПЛ в малонаселённых северных районах возможно за счёт использования автономных узлов ретрансляции.

Одной из тенденций в области УКВ-радиосвязи является переход с аналоговых систем связи на цифровые. Оптимальный путь перехода на цифровой стандарт радиосвязи, в частности DMR, предусматривает обеспечение качества связи при увеличении дальности, повышенной надёжности и безопасности, гибкого масштабирования.

Строительство интегрированной сети связи должно предусматривать многокольцевую (многосвязную) структуру, оснащение системами автоматического восстановления объектов связи, создание на базе отечественного оборудования единых систем тактовой сетевой синхронизации (M100, M101 и др.), точного времени, электропитания. При этом пропускную способность ВОЛС следует проектировать с учетом потребностей страны на перспективу развития в мирное время, в чрезвычайных ситуациях и в условиях чрезвычайного положения. Один из принципов создания сети – независимость от конкретного оператора. Среди сервисов, предлагаемых на базе созданной инфраструктуры, интернет-конференции, доступ к региональной СМЭВ (защищенному сегменту системы электронного взаимодействия). Препятствием к активному строительству является необходимость учитывать региональные климатические изменения на Арктическом побережье, значении сезонных и краткосрочных прогнозов погоды.

В стадии разработки новая программа – развитие системы спутниковой связи с использованием космических аппаратов на высоком эллипсе. Орбитальный сегмент, как ожидается, будет включать три спутника. Реализация проектов в северных широтах достигается за счет системного подхода к созданию систем связи, в частности разнообразия сервисов (TV, VoIP/GSM, Internet, PayPal, RemoteControl), использования единой инфраструктуры для стационарных и подвижных объектов, четкого взаимодействия технических служб. Российские системы спутниковой связи используют в основном космические аппараты, расположенные на геостационарной орбите, а их применение на Севере ограничено: с территорий на широтах выше  $75^\circ$  спутник виден с трудом, а выше  $82^\circ$  совсем «исчезает». Предлагается использовать для организации спутниковой связи в высоких широтах КА на высокоэллиптических орбитах. Спутник на высоком эллипсе способен обеспечить покрытие всего полярного бассейна, а его угол места в любой точке РФ составит не менее  $45^\circ$ . Обычно используются два типа высокоэллиптических орбит: 12-часовая орбита типа «Молния» и 24-часовая орбита типа «Гундра». Орбита типа «Гундра» является предпочтительной, поскольку не пересекает радиационные пояса Земли, которые сокращают срок жизни КА. Если подобрать режим, при котором спутник будет проходить петлю орбиты над территорией России за восемь часов, можно обеспечить круглосуточную связь с помощью трех космических аппаратов с возможностью роуминга между ними. Наземная станция для работы на севере должна быть малогабаритной, надежной, экономичной – этим требованиям отвечают станции VSAT. Для фиксированной связи предполагается использовать диапазон С, так как зависимость его от состояния атмосферы невелика и он нетребователен к точности наведения. Для подвижной связи оптимальны дециметровые диапазоны, но поскольку они недоступны, можно строить системы в Ки-диапазоне. Единственной проблемой на сегодня остается отсутствие на рынке недорогой компактной антенны, способной поддерживать направление на спутник в пределах  $20^\circ$ .

Россия – морская держава с самыми протяженными морскими границами. Однако такой сегмент рынка, как морской VSAT, только начинает развиваться в нашей стране.

Предлагаются технические решения в этой области на основе ресурса пяти спутников, трех центральных узлов спутниковой связи и оборудования iDirect.

Одним из решений является применение отечественной спутниковой системы "Гонец". СС "Гонец" строится на базе группировки спутников "Гонец-Д1м", располагающейся на низкой орбите, что позволяет предоставлять обслуживание в высоких широтах (рис. 1).



Рис. 1. Зона покрытия СС «Гонец-Д1м»

Предлагаемые типовые схемы позволяют решать очень широкий круг задач, таких как интеграция с бортовыми навигационными системами, электронное декларирование (электронная цифровая подпись, электронный промышленный журнал), организацию технической и информационной поддержки для экипажа судна и телемедицины. Предлагаемые решения дают возможность разделить служебную деятельность экипажа судна, служебную деятельность членов научной экспедиции и личную активность пользователей. Есть варианты с использованием точек Wi-Fi и фемтосот на судне.

Спутниковые каналы имеют 100%-ное резервирование, организованы на двух спутниках связи (NSS-12 и ABS-1). Для повышения помехоустойчивости в плохих погодных условиях один канал организован в С-диапазоне, второй – в Ku.

В качестве альтернативы рассмотрим использование перспективной ИССС (Интегрированная Спутниковая Система Спутниковой связи первого этапа).

ИССС является цифровой системой связи третьего поколения в интересах ВС РФ. Эта система, как составная часть Объединённой Автоматизированной Цифровой Системы Связи (ОАЦСС) ВС РФ, развивается в сторону создания космических бортовых информационно-транспортных платформ, в которых обеспечивается полная доступность всех стационарных и мобильных пользователей земного сегмента спутниковой сети (на суше, на море, в воздухе). Эти бортовые платформы должны связываться с территориальными узлами связи ОАЦСС высокоскоростными магистральными каналами связи.

Основными требованиями ИССС являются:

- глобальная зона обслуживания, с возможностью концентрации пропускной способности на территории Российской Федерации и перераспределением пропускной способности на 2–3 региональных участка;
- комплексное использование разрешённых Р-, С-, Х- и Ка-диапазонам (0.2/0.4, 4/6, 7/8, 20/44 ГГц);
- возможность использования широкого спектра пропускной способности – от 50 бит/с до 8 (34) Мбит/с;
- использование методов пакетной передачи информации;
- увеличение срока активного существования КА до 15-ти лет.

Спутниковая связь в условиях крайнего севера характеризуется трудными погодными и атмосферными условиями. Для их преодоления используются различные технологии, в том числе помехоустойчивые коды и др. Стоит заметить, что в текущий момент, механизмы помехозащиты, используемые в спутниковых системах ВС РФ, являются технически устаревшими. Однако, развитие ИССС может дать импульс к пересмотру аппаратного и программного обеспечения как земных станций, так и орбитальных аппаратов.

Одним из интересных новшеств, появившихся в ИССС, является использование пакетной передачи данных. Оно позволяет значительно увеличить скорость передачи данных и помехозащищенность, за счет внедрения блочных систем кодирования (БЧХ, LDPC), обеспечивающих высокий уровень помехозащищенности благодаря выдающейся способности исправления ошибок.

Поддержка пакетной передачи данных позволяет использовать технологию Адаптивного кодирования и модуляции (АСМ – *Adaptive Coding and Modulation*), хорошо зарекомендовавшую себя в стандарте спутникового телевидения DVB-S(2) для компенсации данного фактора.

Её суть заключается в том, что бортовой передатчик, анализируя параметры среды прохождения сигнала, выбирает оптимальный тип модуляции и параметры кодирования, балансируя между помехоустойчивостью и пропускной способностью канала. Это позволяет многократно повысить надежность связи в изменяющейся среде распространения, что особенно актуально для полярных регионов, где погодные условия, характеристики ионосферы и другие факторы, влияющие на прохождения сигнала, постоянно меняются и никогда не бывают статичными (см. рис. 2).

Подводя итог, для реализации современной, производительной и надежной системы связи в условиях крайнего севера, возможно использование как имеющихся военных систем спутниковой связи, так и перспективных систем, осуществляя внедрение в последних новых и зарекомендовавших себя технологий, применяемых в гражданских системах спутниковой

связи. А именно, внедрение технологии АСМ, позволит значительно увеличить качество предоставляемых услуг передачи данных в интересах Вооруженных сил Российской Федерации.

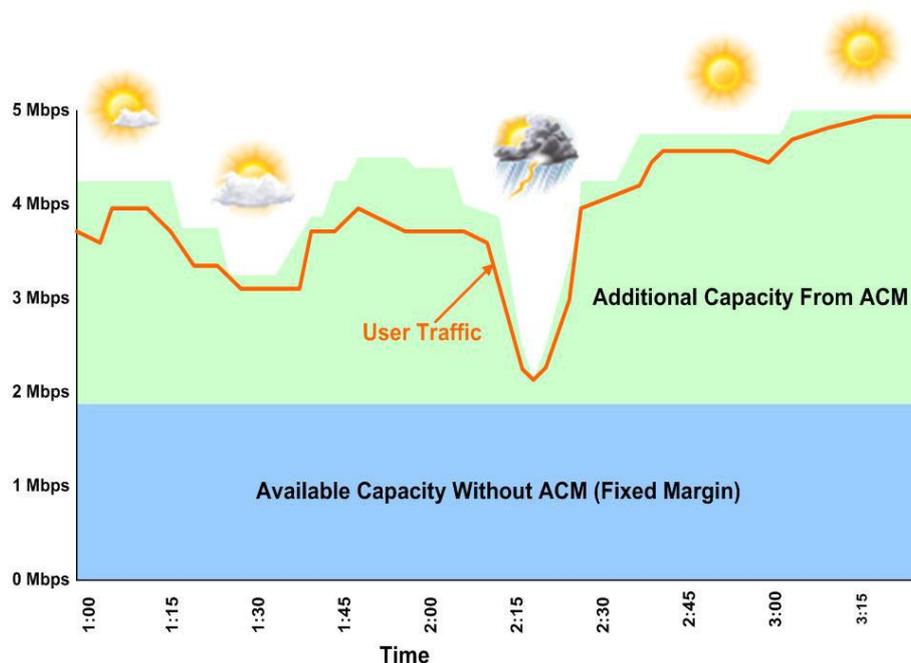


Рис. 2. Принцип работы технологии АСМ (*Adaptive Coding & Modulation*)

Для использования данной технологии потребуется внедрение в приемо-передающее оборудование земных станций и спутниковых ретрансляторов связи оборудования, позволяющего статистически анализировать состояние среды передачи и адаптировать пропускную способность канала для обеспечения высокого качества связи независимо от состояния канала.

#### Список использованных источников

1. Comtech EF Data / Adaptive Coding and Modulation (ACM). URL: <https://www.comtechefdata.com/technologies/acm>
2. Спутниковая система «Гонец» / Система «Гонец-Д1М». URL: <http://www.gonets.ru/rus/uslugi/sistema-gonets/>
3. Степанов А. А., Голуб В. М. Развитие военной системы спутниковой связи // Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации – 2010: сб. статей. Москва, 2010. С. 198–199.
4. «Север России на пути интеграции в мировое информационное пространство» материалы конференции Связь на русском Севере.

*Статья представлена научным руководителем, начальником отдела УВЦ Александровым В. А., СПбГУТ.*

УДК 621.391

**В. М. Березьянская, А. А. Мартынов, С. И. Савинский**  
(студенты, СПбГУТ)

## **ВЫБОР ФИЗИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА ПРИ ПОСТРОЕНИИ ЗАЩИЩЕННОЙ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ**

*В данной статье анализируются и сравниваются две среды передачи сигнала: кабель «витая пара» и оптически кабель, а также рассматриваются способы несанкционированного доступа для каждой из сред и делается вывод: какая же среда передачи сигнала наиболее защищена от несанкционированного доступа при построении локальной сети.*

*среда передачи сигнала, кабель «витая пара», оптический кабель, способы несанкционированного доступа, локальная сеть.*

Ключевым моментом в функционировании локальной сети является среда передачи данных, то есть физическая субстанция, по которой происходит передача информационных сигналов. От среды передачи данных зависят многие параметры сети, в частности – безопасность сети.

При построении защищенной от несанкционированного доступа (НСД) локальной сети возникает вопрос – какую среду передачи сигнала выбрать: кабель «витая пара» или оптический кабель?

Рассмотрим участок данной локальной сети, состоящий из автоматизированного рабочего места (АРМ) и криптомаршрутизатора. Между этими двумя объектами проложена линия связи, по которой передаётся охраняемая информация. Вследствие чего, для этого участка локальной сети нужно выбрать наиболее защищенную от НСД среду передачи сигнала.

Наиболее часто для построения локальной вычислительной сети в качестве физической среды передачи сигнала применяется витая пара.

Существуют следующие способы, которыми может быть осуществлен НСД при непосредственном подключении к линии:

- контактное подключение – последовательное или параллельное;
- бесконтактное (индукционное) подключение;
- помещение радиоретранслятора на линию.

Непосредственное подключение к кабелю – наиболее простой и надежный способ получения информации. Такое подключение осуществляется на любом участке линии от АРМ до криптомаршрутизатора.

Наиболее часто используется следующий способ физического подключения к локальной сети, построенной с использованием витой пары – один разъем подключается к интерфейсной карте средства злоумышленника, а

два других устанавливаются в разрыв контролируемой линии. При таком способе включения сохраняется прямое электрическое соединение между АРМ и криптомаршрутизатором. В этом случае компьютер злоумышленника является полностью пассивным устройством.

Бесконтактное подключение к локальной сети осуществляется двумя способами:

- за счет электромагнитных наводок на параллельно проложенные провода рамки;
- с помощью сосредоточенной индуктивности, охватывающей контролируемую линию.

В обоих случаях НСД реализуется за счет использования явления электромагнитной индукции. Индукционное подсоединение позволяет уклониться от непосредственного контакта с сетью, поэтому его довольно трудно обнаружить. Принцип действия такой отводки строится на том, что вокруг обычных проводов при проходе по ним электрического тока возникает электромагнитное поле, наводящее индукционный ток в расположенном поблизости проводнике.

Радиопередатчик, подключенный к локальной сети, часто используют, когда применение демаскирующих отводов вызывает некоторые затруднения. Он превосходно ретранслирует циркулирующую информацию туда, где установлен приемник.

Различают два способа такого подключения:

- последовательное;
- параллельное.

В первом случае миниатюрный передатчик включают в разрыв линии и питают его от линии. Таким образом, ретранслятор действует неограниченно долго.

Во втором варианте передатчик подсоединяют к линии и обеспечивают питанием от автономного источника питания. Данный образец сложнее обнаружить, но период его автономной работы может ограничиваться емкостью применяемых батарей.

Оптика открывает широкие возможности там, где требуются высокоскоростные коммуникации с высокой пропускной способностью. Это хорошо себя зарекомендовавшая, понятная и удобная технология. Оптика проникла во все ключевые направления – системы наблюдения, диспетчерские и ситуационные центры, на военные и медицинские объекты, в зоны с экстремальными условиями эксплуатации. ВОЛС обеспечивают высокую степень защиты конфиденциальной информации, позволяют передавать несжатые данные типа графики с высоким разрешением и видео с точностью до пикселя.

Оптоволоконный (он же волоконно-оптический) кабель – это принципиально иной тип кабеля по сравнению с рассмотренными типами электри-

ческого или медного кабеля. Информация по нему передается не электрическим сигналом, а световым. Главный его элемент – это прозрачное стекловолокно, по которому свет проходит на огромные расстояния (до десятков километров) с незначительным ослаблением.

Для перехвата информации с ВОЛС могут быть использованы следующие способы, которые можно разделить на две группы:

1. по способу подсоединения:
  - 1.1 безразрывный;
  - 1.2 разрывный;
  - 1.3 локальный;
  - 1.4 протяжённый.
2. по способу регистрации и усиления:
  - 2.1 пассивные – регистрация излучения с боковой поверхности ОВ;
  - 2.2 активные – регистрация излучения, выводимого через боковую поверхность ОВ с помощью специальных средств, меняющих параметры сигнала в ВОЛТ;
  - 2.3 компенсационные – регистрация излучения, выводимого через боковую поверхность ОВ с помощью специальных средств с последующим формированием и вводом в ОВ излучения, компенсирующего потери мощности при выводе излучения.

Пассивные способы обладают высокой скрытностью, так как практически не меняют параметры распространяющегося по ОВ излучения, но имеют низкую чувствительность. Поэтому для перехвата информации используют участки, на которых уровень бокового излучения повышен. Даже после формирования стационарного распределения поля в волокне небольшая часть рассеянного излучения все же проникает за пределы оболочки и может быть каналом утечки передаваемой информации. Возможность существования побочных оптических излучений с боковой поверхности ОВ обусловлена рядом физических, конструктивных и технологических факторов (см. рис.):

- существование вытекающих мод на начальном участке волокна, обусловленное возбуждением его источником излучения с пространственным распределением, превышающим апертуру волокна;
- излучение вытекающих и излучательных мод на всем протяжении ОВ за счет рэлеевского рассеяния на структурных неоднородностях материала ОВ, характерные размеры которых существенно меньше длины волны излучения;
- преобразование направляемых мод в вытекающие за счет локальных изменений волноводного параметра на волноводных нерегулярностях волокна: микроизгибах (радиус изгиба сравним с диаметром ОВ) и макроизгибах (радиус изгиба намного больше диаметра ОВ);
- возникновение распределенных и локальных давлений на ОВ.

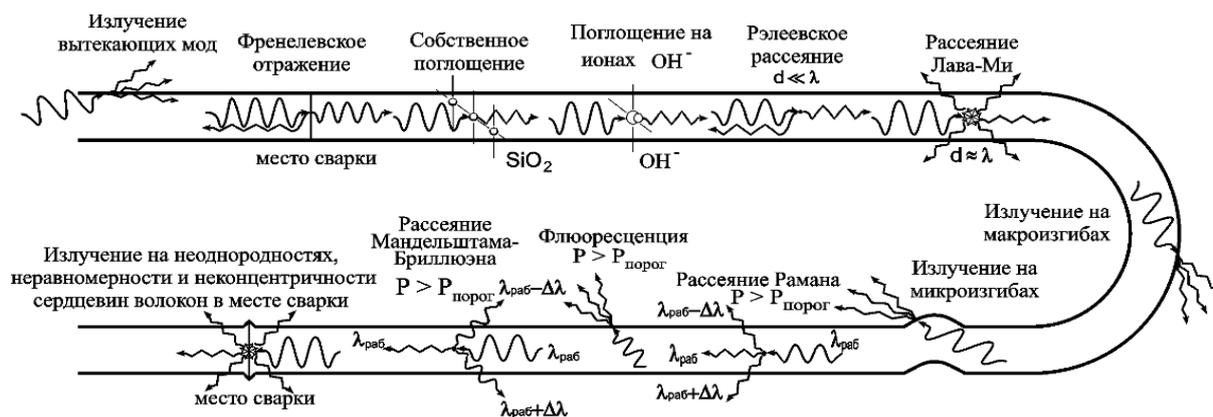


Рисунок. Причины излучения и рассеивания в ОВ

Использование вытекающих мод в местах стыковки ОВ представляет достаточную опасность с точки зрения защиты информации, т. к. имеется возможность организовать режим «прозрачности» НСИ, когда ВОЛС «не замечает» отбор достаточно большого оптического сигнала из ВОЛТ. В этом случае трудно фиксировать съем сигнала. Однако, ввиду ограниченного и известного числа и расположения таких мест на трассе ВОЛТ обеспечение защиты информации относительно просто достигается организационно-техническими мероприятиями (охрана, наблюдение таких участков).

Активные способы позволяют вывести через боковую поверхность ОВ излучение значительно большей мощности. Однако при этом происходит изменение параметров распространяющегося по ОВ излучения (уровень мощности в канале, модовая структура излучения), что может быть легко обнаружено. К способам этой группы относятся: механический изгиб ОВ, вдавливание зондов в оболочку, бесконтактное соединение ОВ, шлифование и растворение оболочки, подключение к ОВ фотоприемника с помощью направленного ответвителя, термическое деформирование геометрических параметров ОВ и формирование неоднородностей в ОВ.

Компенсационные способы принципиально сочетают в себе преимущества первых двух групп – скрытность и эффективность, но сопряжены с техническими трудностями при их реализации. Вывод излучения, формирование и обратный ввод через боковую поверхность должны осуществляться с коэффициентом передачи, близким к единице. Однако статистический характер распределения параметров ОВ по длине (диаметров, показателей преломления сердцевинки и оболочки и др.), спектральной полосы полупроводникового лазера и характеристик устройства съема приводит к тому, что разность между выведенным и введенным обратно уровнями мощности носит вероятностный характер. Поэтому коэффициент передачи может принимать различные значения. Практические устройства, реализующие компенсационные способы съема информации с боковой поверхности ОВ, в настоящее время не известны.

В волоконно-оптических линиях связи должна быть сформирована надежная, защищенная инфраструктура с использованием всех доступных средств и способов информационной защиты.

Информационная безопасность линий связи включает:

- защиту от случайных воздействий нарушителя;
- защиту от преднамеренных воздействий нарушителя;
- защиту от угроз безопасности.

Защите подлежат циркулирующие в объектах сети данные и информация управления сетью.

Самым надежным способом сокрытия информации при передаче по каналу связи является шифрование. При этом изменится и структурная схема волоконно-оптической линии связи.

Проблема состоит в том, что защита линейного тракта ВОЛС, не гарантирует исключение НСД на абонентском участке. Проблему решает разработка комплексной системы защиты информации, которая будет защищать как абонентский участок, так и линейный тракт.

Очевидно, что для построения защищенной от НСД локальной сети целесообразно использовать оптическую среду передачи сигнала, так как она наиболее надёжней и эффективней, а также способы НСД в оптической среде передачи сигнала наиболее сложны для применения их в действии и требуют использования специальных средств.

#### Список использованных источников

1. Корольков А. В., Кращенко И. А., Матюхин В. Г., Синев С. Г. Проблемы защиты информации, передаваемой по волоконно-оптическим линиям связи, от несанкционированного доступа // Информационное общество. 1997. № 1. С. 74–77.

2. Хорошко В. А., Чекатков А. А. Методы и средства защиты информации. Киев: Юниор, 2003. 502 с.

3. Радько Н. М., Скобелев И. О. Риск-модели информационно-телекоммуникационных систем при реализации угроз удаленного и непосредственного доступа. М.: Радио Софт, 2010. 232 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
начальником отдела УВЦ Александровым В. А., СПбГУТ.*

**УДК 621.396.4****К. А. Богданов** (курсант,

ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**Д. А. Журавлёв** (кандидат технических наук,

ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**Д. В. Сальников** (преподаватель,

ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**СПОСОБ НАВЕДЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ**

*Задача наведения приемопередатчиков корреспондирующих станций АОСП друг на друга интересна тем, что в стационарных условиях наведение осуществляется при заранее известных координатах – визуально и для полевых условий подходит мало. В статье рассмотрен способ первичного наведения атмосферных оптических систем передачи в полевых условиях с учетом азимутов корреспондирующих станций и их угла места. Представлен пример наведения приемопередатчиков корреспондирующих станций.*

*атмосферная оптическая система передачи, азимут, угол места, земная станция, оптическая линия связи.*

В настоящее время атмосферные оптические системы передачи (АОСП) широко применяются в стационарных условиях для организации беспроводных соединений при условии прямой видимости между приемным и передающим устройствами [1]. В данных условиях наведение приемопередатчиков корреспондирующих станций друг на друга осуществляется в два этапа. На первом этапе осуществляется «грубое» наведение – визуально, с помощью оптического прицела. На втором этапе осуществляется более точное наведение с помощью автоматической системы юстировки и пространственной стабилизации [2]. В случае применения АОСП в полевых условиях, когда координаты приемопередатчиков заранее не известны для их «грубого» наведения друг на друга необходимо дополнительно использовать систему автоматического наведения по азимуту и углу места. Таким образом, в полевых условиях эксплуатации АОСП, представляется интересным произвести расчет угла места  $\beta_{3C}$  и истинного азимута  $A_{i3C}$  между двумя корреспондирующими станциями АОСП. Данная задача должна решаться на этапе предварительной юстировки приемопередающего оборудования.

Исходными данными являются: геодезические координаты корреспондирующих АОСП. Графическая постановка задачи представлена на рис. Ал-

горитм позволяет вычислить протяженность атмосферной оптической линии связи (ОЛС)  $R_{\text{ОЛС}}$  между двумя АОСП, углы места АОСП  $\beta_{\text{ЗС1}}$ ,  $\beta_{\text{ЗС2}}$  и истинные азимуты  $A_{\text{иЗС1}}$ ,  $A_{\text{иЗС2}}$  в направлении на каждую ЗС ОЛС.

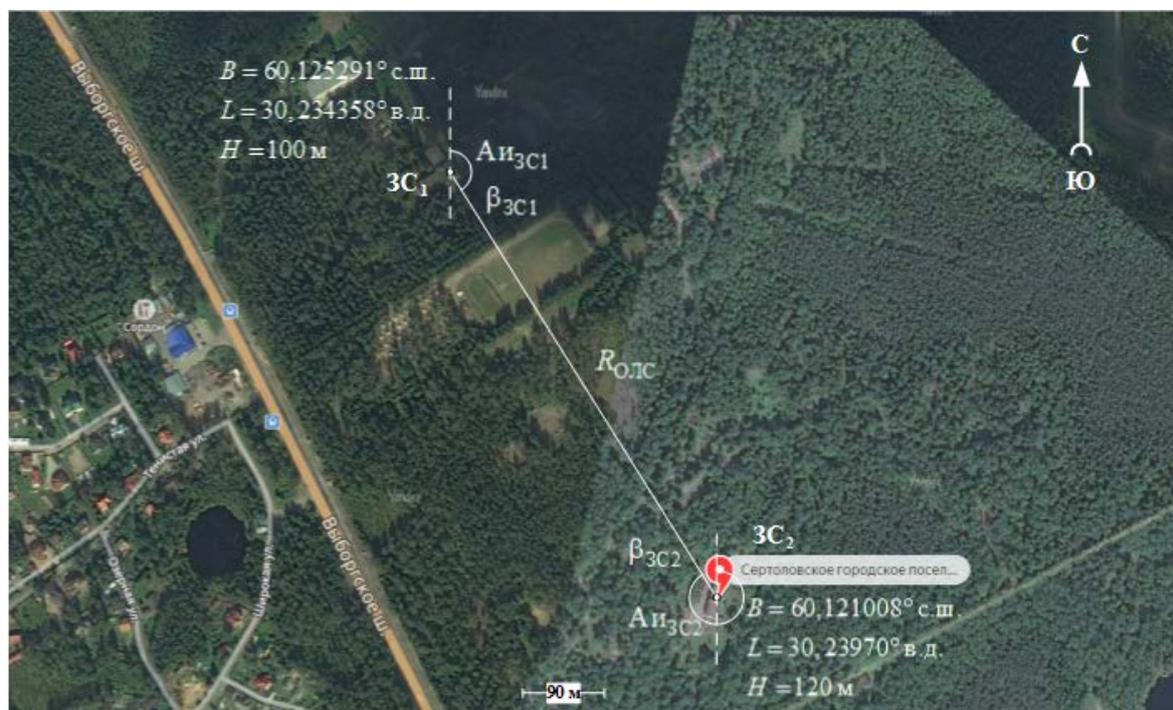


Рисунок. Постановка задачи расчета наклонной дальности, угла места, истинного азимута ЗС на РС

Для проведения расчетов используются значения некоторых фундаментальных геодезических постоянных [3]: коэффициент сжатия Земного эллипсоида  $\alpha = 1/298,25784$ ; большая полуось общеземного эллипсоида  $a = 6\,378\,136$  м.

Эксцентриситет Земного эллипсоида

$$e = 2\alpha - \alpha^2 = 6,694366 \cdot 10^{-3}. \quad (1)$$

Расчет радиуса кривизны первого вертикала для ЗС1, 2

$$N_{\text{ЗС1}} = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2(B_{\text{ЗС1}})}}, \quad (2)$$

$$N_{\text{ЗС2}} = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2(B_{\text{ЗС2}})}}. \quad (3)$$

Расчет геоцентрических координат ЗС1, 2

$$x_{3C1} = (N_{3C1} + H_{3C1}) \cdot \cos(B_{3C1}) \cdot \cos(L_{3C1}), \quad (4)$$

$$y_{3C1} = (N_{3C1} + H_{3C1}) \cdot \cos(B_{3C1}) \cdot \sin(L_{3C1}), \quad (5)$$

$$z_{3C1} = \left[ (1 - e^2) N_{3C1} + H_{3C1} \right] \cdot \sin(B_{3C1}). \quad (6)$$

$$x_{3C2} = (N_{3C2} + H_{3C2}) \cdot \cos(B_{3C2}) \cdot \cos(L_{3C2}), \quad (7)$$

$$y_{3C2} = (N_{3C2} + H_{3C2}) \cdot \cos(B_{3C2}) \cdot \sin(L_{3C2}), \quad (8)$$

$$z_{3C2} = \left[ (1 - e^2) N_{3C2} + H_{3C2} \right] \cdot \sin(B_{3C2}). \quad (9)$$

Расчет протяженности ОЛС  $R_{\text{ОЛС}}$  между двумя ЗС ОЛС

$$R_{\text{ОЛС}} = \sqrt{(x_{3C1} - x_{3C2})^2 + (y_{3C1} - y_{3C2})^2 + (z_{3C1} - z_{3C2})^2}, \quad (10)$$

Расчет углов места  $\beta_{3C}$  ЗС1, 2

$$\beta_{3C1}^{\circ} = \arccos\left(\frac{R_{\text{ОЛС}}^2 + a^2 - (a + H_{3C2})^2}{2R_{\text{ОЛС}}^2 a}\right) - 90^{\circ}, \quad (11)$$

$$\beta_{3C2}^{\circ} = \arccos\left(\frac{R_{\text{ОЛС}}^2 + a^2 - (a + H_{3C1})^2}{2R_{\text{ОЛС}}^2 a}\right) - 90^{\circ}. \quad (12)$$

Определение топоцентрического параметра  $\rho_{3C}$  для ЗС1, 2

$$\rho_{3C} = \arccos\left(\cos(|B_{3C2} - B_{3C1}|) \cdot \cos(|L_{3C2} - L_{3C1}|)\right), \quad (13)$$

Расчет истинного азимута  $A_{\text{иЗС}}$  ЗС1, 2:

Если  $L_{3C1} < L_{3C2}$

$$A_{и3C1} = \pi - \arcsin\left(\frac{\sin(|L_{3C2} - L_{3C1}|)}{\sin(\rho_{3C})}\right), \quad (14)$$

Если  $L_{3C1} > L_{3C2}$

$$A_{и3C1} = 2\pi - \arcsin\left(\frac{\sin(|L_{3C2} - L_{3C1}|)}{\sin(\rho_{3C})}\right), \quad (15)$$

Если  $L_{3C1} = L_{3C2}$  и  $B_{3C1} > B_{3C2}$  то  $A_{и3C1} = \pi = 180^\circ$ .

Если  $L_{3C1} = L_{3C2}$  и  $B_{3C1} < B_{3C2}$  то  $A_{и3C1} = 0^\circ$ .

Если  $L_{3C1} < L_{3C2}$

$$A_{и3C2} = 2\pi - (\pi - A_{и3C1}). \quad (16)$$

Если  $L_{3C1} > L_{3C2}$

$$A_{и3C2} = \pi - (2\pi - A_{и3C1}). \quad (17)$$

Если  $L_{3C1} = L_{3C2}$  и  $B_{3C1} > B_{3C2}$  то  $A_{и3C2} = 0^\circ$ .

Если  $L_{3C1} = L_{3C2}$  и  $B_{3C1} < B_{3C2}$  то  $A_{и3C2} = \pi = 180^\circ$ .

Для исходных данных, приведенных выше произведен расчет протяженности ОЛС  $R_{ОЛС}$  между двумя ЗС ОЛС, углы места ЗС ОЛС  $\beta_{3C1}$ ,  $\beta_{3C2}$  и истинные азимуты  $A_{и3C1}$ ,  $A_{и3C2}$  в направлении на каждую ЗС ОЛС.

Радиус кривизны первого вертикала для ЗС1, 2 (2), (3):

$$N_{3C1} = 6,378243 \cdot 10^6 \text{ м},$$

$$N_{3C2} = 6,378243 \cdot 10^6 \text{ м}.$$

Геоцентрические координаты ЗС1, 2 (4)–(9):

$$x_{3C1} = 2,744916 \cdot 10^6 \text{ м},$$

$$y_{3C1} = 1,599783 \cdot 10^6 \text{ м},$$

$$z_{3C1} = 5,53052 \cdot 10^6 \text{ м},$$

$$x_{3C2} = 2,745132 \cdot 10^6 \text{ м},$$

$$y_{3C2} = 1,600253 \cdot 10^6 \text{ м},$$

$$z_{3C2} = 5,5303 \cdot 10^6 \text{ м}.$$

Протяженность ОЛС  $R_{ОЛС}$  между двумя ЗС ОЛС (10):

$$R_{ОЛС} = 0,562 \text{ км}.$$

Углы места  $\beta_{3C}$  ЗС1, 2 (11), (12):

$$\beta_{3C1}^{\circ} = 12,334^{\circ},$$

$$\beta_{3C2}^{\circ} = 10,253^{\circ}.$$

Топоцентрический параметр  $\rho_{3C}$  для ЗС1, 2 (13):

$$\rho_{3C} = 1,195022 \cdot 10^{-4}.$$

Истинный азимут  $A_{и3C}$  ЗС1, 2 (14), (16):

$$A_{и3C1} = 128,721^{\circ},$$

$$A_{и3C2} = 308,721^{\circ}.$$

Таким образом, АОСП возможно эксплуатировать в полевых условиях с учетом необходимой адаптации для обеспечения «грубой» юстировки приемопередатчиков корреспондирующих станций за счет применения в оборудовании системы наведения по азимуту и углу места. В таких условиях АОСП целесообразно использовать на сетях связи специального назначения, например, для оперативной привязки мобильных узлов связи к объектам стационарной сети связи.

#### Список использованных источников

1. Журавлёв Д. А., Соколов А. С., Дунаев К. В., Седунова И. Д., Самаркин Д. С. Анализ возможности применения атмосферных оптических линий для резервирования полевых волоконно-оптических линейных трактов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4 т. Т. 1 / под. ред. С. В. Бачевского. СПб.: СПбГУТ, 2017. 580 с. С. 403–406.
2. Аппаратура атмосферной оптической линии передачи данных Artolink M1-GE-L. Руководство по эксплуатации. М.: ЗАО «МОСТКОМ».
3. Военно-топографическое управление ГШ ВС РФ «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90.11). Справочный документ. Москва, 2014.

УДК 621.396

**Ю. Н. Богданова** (курсант,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)  
**Д. А. Журавлёв** (кандидат технических наук,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)  
**Г. А. Прасько** (преподаватель,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОПРЯЖЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ УЗЛОВ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ АТМОСФЕРНО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧ

*В статье представлен расчет энергетического потенциала атмосферной оптической линии связи и определение коэффициента её готовности при сопряжении узлов связи в климатических условиях характерных для Ближнего Востока.*

*атмосферная оптическая линия связи, энергетический потенциал, коэффициент готовности, атмосферные осадки.*

Атмосферные оптические линии связи (АОЛС) применяются на сетях связи общего пользования единой сети электросвязи и предназначены для создания беспроводного канала связи. В стационарных условиях АОЛС применяются в случаях, когда требуется обеспечить высокоскоростную связь между пространственно-разнесенными объектами, например, между двумя зданиями при соединении двух сегментов локальной компьютерной сети. Основными преимуществами АОЛС являются:

- отсутствие необходимости получения разрешения на установку АОЛС и лицензирования на использование инфракрасного диапазона;
- незначительное количество документов при проведении проектных работ;
- быстрота установки и подключения АОЛС к сети связи;
- быстрота построения, наращивания и изменения разветвлённой локальной широкополосной сети в условиях плотной городской застройки;
- простота электромагнитной совместимости с другими средствами связи при размещении на одной площадке;
- высокие скорости передачи до 1 Гбит/с [1].

Анализ практического применения мобильных узлов связи показывает, что преимущества АОЛС позволяет рассматривать вопрос их применения в сетях связи специального назначения с учетом погодных факторов для различных климатических условий, в том числе, характерных для Ближнего Востока.

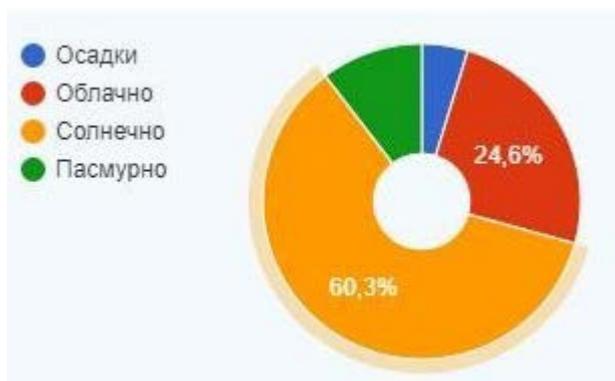


Рис. 1. Характеристики погоды

Характеристика погоды на Ближнем Востоке представлена на рис. 1 [2]. Значительное количество солнечных дней и небольшое количество осадков позволяет минимизировать воздействие климатических условий на АОЛС, которые оказывают на нее существенное влияние. Кроме того, на энергетический потенциал АОЛС влияют следующие

факторы: потери на поглощение и турбулентность атмосферы, местные эффекты, протяженность и неточность установки линии. Все эти явления влияют на ключевой параметр – энергетический потенциал линии  $M_l$ , который рассчитывается как  $M_l = P_e - S_r - A_g - A_a - A_{sc}$ , где  $P_e$  (дБм) – общая мощность излучателя;  $S_r$  (дБм) – чувствительность приемника;  $A_g$  (дБ) – геометрическое ослабление линии из-за рассеивания передаваемого луча с увеличением расстояния,  $A_a$  (дБ) – ослабление в атмосфере из-за поглощения и рассеивания,  $A_{sc}$  (дБ) – ослабление из-за турбулентности атмосферы [3].

Как показывает статистика осадков на Ближнем Востоке, там, как правило, отсутствуют осадки в виде снега, поэтому расчеты проведены только для дождя и тумана.

Ослабление в тумане вычисляется как  $\gamma_{fog}(\lambda) = \frac{3,91}{V} \left( \frac{\lambda}{550 \text{ нм}} \right)^{-q}$  [дБ/км], где  $V$  – видимость (км),  $\lambda$  – длина волны (нм),  $q$  – коэффициент, зависящий от распределения размеров рассеивающих частиц.

Ослабление в дожде определяются соотношением  $\gamma_{rain} = k \cdot R^a$  [дБ/км], где  $R^a$  – значения интенсивности дождя (мм/ч).

Расчеты осуществлены для атмосферной оптической системы передач ARTOLINK модели M1-GE-L, которую возможно использовать в качестве аппаратуры привязки полевых аппаратных связи к объектам стационарной сети на дистанции до 4400 м [4].

Значения энергетического потенциала АОЛС в условиях тумана представлены на рис. 2. Как видно из графиков, максимальная дальность связи не обеспечивается только при видимости 1 и 2 км. В остальных случаях обеспечивается дальность связи, определяемая ТТХ аппаратуры.

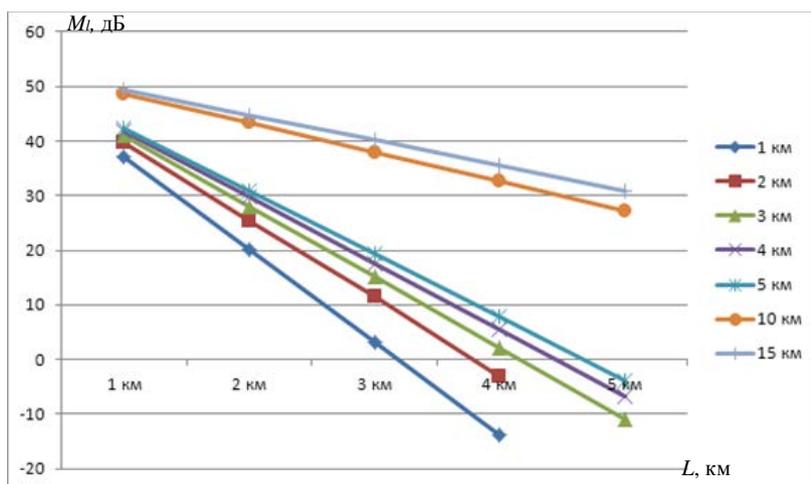


Рис. 2. Значения энергетического потенциала АОЛС в условиях тумана

Статистика осадков в виде дождя (рис. 3) показывает, что их интенсивность не значительна, что отражается и на значениях энергетического потенциала АОЛС и обеспечиваемой дальности связи (рис. 4).

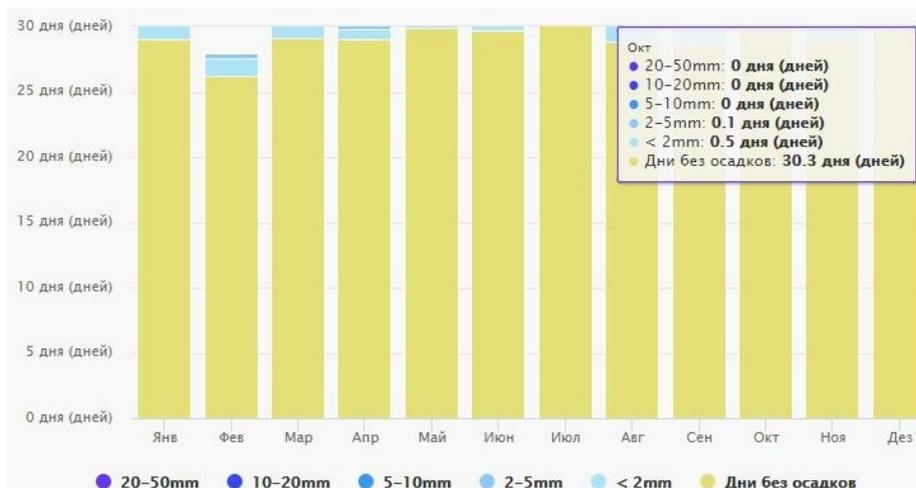


Рис. 3. Количество осадков в виде дождя

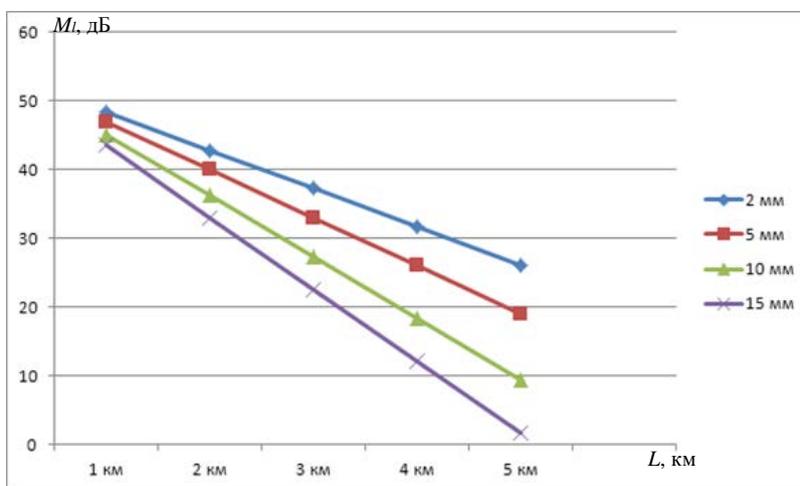


Рис. 4. Значения энергетического потенциала АОЛС в условиях дождя

Применение АОЛС в качестве аппаратуры привязки мобильных узлов связи к объектам стационарной сети связи в погодных условиях Ближнего Востока эффективно, так как практически во всех условиях достигается заявленная дальность связи, определяемая ТТХ аппаратуры. Кроме того, большое количество солнечных дней – 60,3 % (рис. 1), незначительное количество осадков, а также их низкая интенсивность (рис. 2) определяют высокий коэффициент готовности АОЛС (рис. 5, 6).

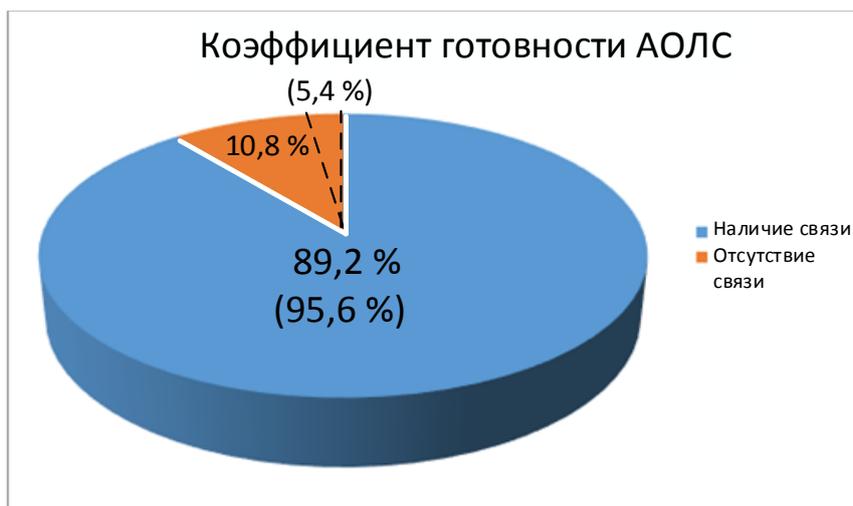


Рис. 5. Коэффициент готовности АОЛС в условиях тумана



Рис. 6. Коэффициент готовности АОЛС в условиях дождя

В условиях тумана коэффициент готовности АОЛС максимальной протяженности составляет 89,2 %. Однако такой показатель характерен для наихудшего случая с видимостью в 1 км, что, как показывает статистика, не характерно для Ближнего Востока. В условиях тумана среднестатистическая видимость составляет 2, 3 км и коэффициент готовности АОЛС 95,6 %.

В условиях дождя коэффициент готовности АОЛС максимальной протяженности составляет 95,88 %. При понижении дальности связи до 3 км коэффициент готовности АОЛС составит 100 %, что позволит эксплуатировать ее круглогодично.

#### Список использованных источников

1. Журавлёв Д. А., Соколов А. С., Дунаев К. В., Седунова И. Д., Самаркин Д. С. Анализ возможности применения атмосферных оптических линий для резервирования полевых волоконно-оптических линейных трактов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4 т. Т. 1 / под. ред. С. В. Бачевского. СПб.: СПбГУТ, 2017. 580 с. С. 403–406.
2. URL: <http://hikersbay.com/climate>.
3. Рекомендация МСЭ-R P.1814. Методы прогнозирования, требуемые для разработки наземных оптических линий для связи в свободном пространстве, 2007.
4. Аппаратура атмосферной оптической линии передачи данных Artolink M1-GE-L. Руководство по эксплуатации. М.: ЗАО «МОСТКОМ».

### УДК 621.3

М. Д. Гевель (студентка, СПбГУТ)

## РУССКИЕ ОГНЕМЁТЫ

*Вид оружия, носящий название огнемёт, способен поразить своим горящим пламенем любые силы противника. Предшественником огнемета можно считать «греческий огонь» - именно с помощью него византийцы поражали суда неприятеля в морских сражениях.*

*Таким образом, развитие огнемётного оружия привело к более эффективному выполнению боевых задач. В современных условиях высокой развязки вооруженных конфликтов требуется осуществить модернизацию огнемётов для лучшей защиты личного состава и понижения стоимости применяемого оружия.*

*огнемёт, дымозажигательное снаряжение, огнеметная система, огнесмесь.*

Вид оружия, носящий название огнемёт, способен поразить своим горящим пламенем любые силы противника. Предшественником огнемета можно считать «греческий огонь» – именно с помощью него византийцы поражали суда неприятеля в морских сражениях.

Все огнемёты, стоящие в наше время на вооружении армий, делятся на струйные, капсульно-струйные и капсульные.

Струйные огнемёты в основном использовались в годы Великой Отечественной войны, принцип действия которого заключался в метании в цель

огненной струи, поджигаемой форсом пламени у дульного среза огнемета. Данный вид огнеметного оружия эффективно поражал живые силы противника при ведении как наступательных, так и оборонительных действий. Однако, подобное оружие имело несколько недостатков, главным из которых является его неэкономичность, поскольку часть огнесмеси сгорала еще в полете, не добравшись до цели.

Наука не стояла на месте, Советские Вооруженные силы требовали изобретения новых усовершенствованных огнеметов. Так, в середине 1950-х годов стали применяться: тяжелый пехотный огнемет ТПО-50, легкий пехотный огнемет ЛПО-50 и пехотный ранцевый огнемет РОКС-3.



Рис. 1. Тяжелый пехотный огнемет ТПО-50

Тяжелый пехотный огнемет ТПО-50 (рис. 1) и его дальнейшие модификации предназначались для поражения живой силы противника, находящихся как в укрытии, так и в открытом доступе, а также для отражения атак и контратак неприятеля. Поражение цели осуществлялось горячей огнесмесью. Действие огнемета ТПО-50 было основано на выбрасывании огнесмеси давлением пороховых газов, образующихся при сгорании порохового заряда. Этот огнемет, общей массой 173 кг, состоял из трех одинаковых сменных стволов и лафета, обеспечивающих нанесение по противнику трех выстрелов по 21 л огнесмеси на расстояние до 180 м. Расчет огнемета ТПО-50 составляли два огнеметчика: наводчик и помощник наводчика огнемета.



Рис. 2. Легкий пехотный огнемет ЛПО-50

Перейдем к следующему образцу огнеметного орудия – легкому пехотному огнемету ЛПО-50 (рис. 2). Представленный вид оружия хорошо показал себя при непосредственном соприкосновении с противником.

Приоритетным способом управления огнеметания ЛПО-50 является электрический способ. Поражение цели из такого типа огнемета гарантировано на расстоянии 40–50 м. Огнемет ЛПО-50 состоял из ранца с тремя баллонами для огнесмеси, ружья и гибкого шланга из бензостойкой резины. Стоит отметить тактико-технические характеристики оружия: калибр – 14,5 мм, масса огнемета вместе с огнесмесью равна 23 кг, а без огнесмеси – 15 кг. Наибольшее расстояние пуска незагущённой смеси составляет 20 м, а загущённой смеси – 70 м. К основным недостаткам относят его неэкономичность, так как метание возможно осуществить только 3 раза.



Рис. 3. РОКС-3

Помимо вышеуказанных видов огне­мёта на вооружении советской армии во время Великой Отечественной войны находились ранцевые огне­меты РОКС-2 и РОКС-3 (ранцевый огне­мет Ключева–Сер­геева) (рис. 3). На протяжении всех лет войны данный огне­мёт являлся приорите­тным оружием такого типа. В основном, РОКС предназначался для поражения сил противника в укрепленных объектах (ДОТах, ДЗОТах), а также в окопах и ходах сообщения. Обслуживался этот огне­мет одним пехотинцем, который мог вести огонь как короткими, так и длинными выстрелами.

Огне­мет РОКС-3 (рис. 3) состоял из следующих основных боевых ча­стей: резервуар для хранения огнесмеси; баллон для сжатого воздуха; шланг; редуктор; пистолет или ружье; снаряжение для переноски огне­мета и комплект принадлежностей.

Ружье ранцевого огне­мета включает в себя: зажигалки с каркасом, ствола в сборе, ствольной накладки, патронника, приклада с костылем, предохранительной скобы спускового крючка и ружейного ремня. Общая длина ружья – 940 мм, а масса – 4 кг.

Для стрельбы из пехотного ранцевого огне­мета РОКС-3 применялись жидкие и вязкие огневые смеси. В качестве составляющих жидкой огне­смеси могли использоваться: сырая нефть, дизельное топливо и смесь ма­зута, керосина и бензина. Средний вес одной зарядки огневой смеси рав­нялся 8,5 кг. Однако, дальность ведения огне­метания жидкими огнесмесями составляла 20–25 метров, а вязкими – 30–35 метров. Воспламенение огне­смеси при стрельбе происходило с помощью специальных патронов, кото­рые находились в патроннике вблизи дульного среза ствола.

Ранцевые огне­меты показали свою высокую эффективность при борьбе с пехотой противника, которая пряталась в траншеях, ходах сообщения и других более сложных оборонительных сооружениях.



Рис. 4. Реактивный пехотный огне­мёт «Рысь»

Нужно было двигаться дальше и на основе всех имею­щихся данных советские кон­структоры разработали оружие, не похожее ни на кого из своих предшественников: реактивный пехотный огне­мет РПО «Рысь» (рис. 4). Он позволял уничтожать огневые точки противника, а также бронированную и автомобильную тех­нику. РПО относится к капсульно-струйным огне­мётам, отличие от преды­дущих моделей заключается в том, что выстрел, собранный в пластмассо-

Нужно было двигаться дальше и на основе всех имею­щихся данных советские кон­структоры разработали оружие, не похожее ни на кого из своих предшественников: реактивный пехотный огне­мет РПО «Рысь» (рис. 4). Он позволял уничтожать

вом контейнере, представлял собой «спакетированную» струю, помещенную в капсулу, на которой монтировался твердотопливный реактивный двигатель.

В боевую готовность огнемет приходил за 60 секунд: огнеметный выстрел тремя накладными замками закреплялся на корпусе огнемета. При ударе о препятствие разрушался корпус капсулы, и уже воспламененная смесь разлеталась на расстояние 30–40 метров, нанося урон всему, что попадалось на пути. К основным параметрам можно отнести: длина – 1440 мм, масса в боевом положении составляет 7,5 кг, а масса пускового устройства – 3,5 кг, объем огневой смеси достигает 4 л, прицельная дальность стрельбы составляет 190 м, а максимальное расстояние стрельбы – 400 м.

Используя опыт ведения боевых действий, российские специалисты продолжали работу по созданию улучшенных огнеметов. Так, на вооружении отечественной армии появился реактивный пехотный огнемет «Шмель» (рис. 5). «Шмель» относится к капсульным огнеметам, что означает доставку капсулы с огнесмесью до цели в «холодном» состоянии.



Рис. 5. Реактивный пехотный огнемет «Шмель»

Главным достоинством РПО «Шмель» является его высокая точность стрельбы. Помимо этого, в огнемете используется комбинированный боеприпас, кумулятивная часть которого пробивает преграду, способствуя глубокому проникновению смеси. При ударе активизируется заряд, в результате ко-

торого происходит возгорание огненной начинки и ее дальнейшего разлета.

Принцип стрельбы из этого оружия намного отличается от своих предыдущих тем, что вместо пускового устройства используется одноразовый контейнер. Прицеливание может осуществляться не только при помощи стандартной мушки, а еще и с помощью оптического прицела.

В настоящее время модернизированная модель реактивного пехотного огнемета «Шмель М» состоит на вооружении в многих огнеметных подразделениях войск России. Такой огнемет способен уничтожить все живое в объеме 80 м<sup>3</sup>, а площадь поражения достигает 50 м<sup>2</sup> на открытой местности, а в замкнутом – до 80 м<sup>2</sup>.

Изобретение боеприпасов объемного взрыва позволило огнеметным системам получить новое дыхание. Наиболее известной огнеметной системой, которая была разработана еще в СССР, а сегодня стоит на вооружении российской армии, является ТОС-1 (тяжелая огнеметная система) «Буратино» и ее модификация ТОС-1А «Солнцепек».

Система «Буратино» (рис. 6) предназначалась для вывода из строя легкобронированной и автомобильной техники, поджога и разрушения сооружений и зданий, уничтожения живой силы противника осколками и ударной

волной, создаваемыми при массированном применении неуправляемых реактивных снарядов в термобарическом и дымозажигательном снаряжении. Огнемётная система была установлена на базе танка Т-72, комплекс состоял из двух машин: непосредственно боевой машины (БМ) и заряжающей машины, которая была изготовлена на базе грузового автомобиля КраЗ.



Рис. 6. ТОС-1 «Буратино»

Первое применение данной системы было осуществлено в Афганской войне. Стоит отметить, что боеприпасы объемного взрыва, используемые для этих установок, особенно эффективны в горной местности. В таких условиях ударные волны от взрывов множества боеприпасов накладываются друг на друга и многократно усиливаются. Говорят, что применение «Буратино» производил на афганских моджахедов сильнейший психологический эффект.

Следующим конфликтом, в котором был применен «Буратино», стала первая Чеченская война. Войска применили эту тяжелую огнемётную систему в боях за село Комсомольское, где впервые попала на глаза журналистам. Также есть информация, что огнемётная система «Буратино» применялась во время штурма города Грозного.



Рис. 7. ТОС-1А «Солнцепек»

В 2001 году система «Буратино» была модернизирована и получила название ТОС-1А «Солнцепек» (рис. 7). Новая установка отличается от предыдущей: меньшим количеством снарядов, а именно 24, дальность стрельбы теперь составляет 6 километров, а вместо шасси КраЗа используется модернизированная гусеничная база танка Т-72А.

Из-за режима строгой секретности вокруг ТОС-1 «Буратино» и ТОС-1А «Солнцепек» появилось большое количество мифов. Был слух, что эти тяжелые огнемётные системы предназначены для стрельбы реактивными снарядами с отравляющими газами, по другой информации, эти установки нужны для «выжигания» зараженной химическим оружием территории.

Основным видом боеприпасов, которые используются установками «Буратино» и «Солнцепек», являются термобарические реактивные снаряды, поражающими факторами действия которых является высокая температура и сильный перепад давления.

Термобарические боеприпасы в качестве окислителя используют кислород воздуха, поэтому они гораздо мощнее обычных. Такие взрывы относятся к типу «горение», они не разрушают преграды на своем пути, а обтекают их. У подобных боеприпасов нет ни осколочного, ни кумулятивного

действия, а только один поражающий фактор – ударная волна. Ударная волна при подрыве термобарического боеприпаса стелется по земле, от нее нельзя спрятаться в окопе или блиндаже.

Таким образом, развитие огнемётного оружия привело к более эффективному выполнению боевых задач. В современных условиях высокой развязки вооруженных конфликтов требуется осуществить модернизацию огнемётов для лучшей защиты личного состава и понижения стоимости применяемого оружия.

#### Список использованных источников

1. Разящие огнем. Российское огнемётное оружие. URL: [http://weaponland.ru/publ/razjashhie\\_ognem\\_rossijskoe\\_ognemetnoe\\_oruzhie/1-1-0-235](http://weaponland.ru/publ/razjashhie_ognem_rossijskoe_ognemetnoe_oruzhie/1-1-0-235)
2. Самые распространённые виды огнемёта. Описание и тактико-технические характеристики огнемётов. URL: <http://sekach.ru/statyi/obzor/ognemety>

*Статья представлена научным руководителем,  
преподавателем УВЦ, подполковником Груздевым Д. А., СПбГУТ.*

### УДК 621.3

**М. Д. Гевель Н. А. Тельнов** (студенты, СПбГУТ)

## ИСТОРИЯ КРИПТОГРАФИИ

*Появление письменности побудило человечество к созданию определенной науки, позволяющей скрывать истинный смысл передаваемых сообщений. На протяжении всего периода времени людьми были придуманы различные способы шифрования текстов.*

*Криптографию можно считать ровесницей человеческого языка, ведь изначально письменностью владели немногие, а для остальных она представлялась криптографической системой.*

*Криптография стала неотъемлемой частью жизни современного человека. Она используется в таких обыденных ситуациях, как шифрование персональных данных при покупках в Интернете, обслуживание банковских карт, обработка паролей в социальных сетях – все это зашифровывается благодаря криптографии.*

*криптография, защита информации, криптоанализ, телеграф.*

Появление письменности побудило человечество к созданию определенной науки, позволяющей скрывать истинный смысл передаваемых сообщений. На протяжении всего периода времени людьми были придуманы различные способы шифрования текстов. Методы скрытой передачи дан-

ных можно разделить на три группы. К первой группе можно отнести способы стеганографической защиты информации, которые подразумевают скрытие от противника самого факта о наличии секретной информации. Использование данного вида защиты информации отмечалось еще в древности, когда между строчек несекретного сообщения невидимыми чернилами наносился нужный текст. Вторая группа содержит методы тайнописи или криптографии, которая предполагает преобразование информации для невозможности прочтения данных противником. И наконец, к приемам третьей группы относят специальные технические устройства для засекречивания данных.

Криптографию можно считать ровесницей человеческого языка, ведь изначально письменностью владели немногие, а для остальных она представлялась криптографической системой.

**Криптография** (от др.-греч. κρυπτός – скрытый и γράφω – пишу) – наука о методах обеспечения конфиденциальности (невозможности прочтения информации посторонним), целостности данных (невозможности незаметного изменения информации), аутентификации (проверки подлинности авторства или иных свойств объекта), а также невозможности отказа от авторства.

Изначально криптография изучала методы шифрования информации – обратимого преобразования открытого (исходного) текста на основе секретного алгоритма или ключа в зашифрованный текст (шифротекст). Традиционная криптография образует раздел симметричных криптосистем, в которых зашифровывание и расшифровывание проводится с использованием одного и того же секретного ключа. Помимо этого раздела современная криптография включает в себя асимметричные криптосистемы, системы электронной цифровой подписи (ЭЦП), хеш-функции, управление ключами, получение скрытой информации, квантовую криптографию.

Криптография не занимается защитой от обмана, подкупа или шантажа законных абонентов, кражи ключей и других угроз информации, возникающих в защищённых системах передачи данных.

Недостаточно шифровать текст, нужно еще уметь его расшифровать. Поэтому, наряду с криптографией развивается другая наука – криптоанализ. Криптоаналитикам требуется расшифровать информацию без знания ключа, что достигается различными способами, например, изучением закономерностей между зашифрованными и исходными сообщениями, поиском математически слабых звеньев криптоалгоритмов и других.

Криптография стала неотъемлемой частью жизни современного человека. Она используется в таких обыденных ситуациях, как шифрование персональных данных при покупках в Интернете, обслуживание банковских карт, обработка паролей в социальных сетях – все это зашифровывается благодаря криптографии.

Информация в процессе своей эксплуатации: хранения, передачи или других преобразований может подвергаться различным атакам. Нарушение безопасности может быть выражено потерей доступа, конфиденциальности и целостности информации. Атаки можно разделить на пассивные и активные. Атака считается пассивной, когда злоумышленник не имеет доступа изменять передаваемые сообщения, он может только прослушивать и отслеживать их. При активной атаке противник может не только изменять полученные сообщения, но и добавлять свои.

В истории развития криптографии можно выделить три этапа:

- наивная криптография;
- формальная криптография;
- математическая криптография.

Для *наивной* криптографии (до начала XVI в.) характерно использование любых, обычно примитивных, способов запутывания противника относительно содержания передаваемых сообщений. Шифровальные системы сводились к использованию перестановки или замены букв на различные символы (другие буквы, знаки, рисунки, числа и т. п.). Одни и те же способы шифрования использовались повторно, ключи были короткими, использовались примитивные способы преобразования исходной информации в зашифрованное сообщение. Это позволяло, однажды установив алгоритм шифрования, быстро расшифровывать сообщения.

Предполагается, что великий римский полководец Юлий Цезарь пользовался шифрами в своей личной переписке. Рассмотрим дошедшую до наших дней одну из самых простейших систем шифрования, которая называется «шифр Юлия Цезаря». Принцип шифра Цезаря состоит в том, что каждая буква заменяется на другую, которая следует через три буквы от исходной, то есть А заменяется на Г, В на Е, и так далее все буквы алфавита заменяют друг друга.

Например, слово ЦЕЗАРЬ после шифрования будет ЩЗКГУЯ.



Рис. 1. Считала

Это очень простой метод, однако, это шифр служит примером одной из первой систем криптографии.

Греческий поэт Архилох, живший в VII веке до н. э. упоминает устройство под названием считала (греч. σκυτάλη – жезл). Оно представляет собой цилиндр и узкую полоску пергамента, обматывавшуюся вокруг него по спирали, на которой писалось сообщение (рис. 1).

спирали, на которой писалось сообщение (рис. 1).

Для расшифровки адресат использовал палочку такого же диаметра, на которую он наматывал пергамент, чтобы прочитать сообщение. Однако, такой шифр легко поддается взлому. Например, метод взлома сциталы был предложен ещё Аристотелем. Он состоит в том, что, не зная точного диаметра палочки, можно использовать конус, имеющий переменный диаметр и перемещать пергамент с сообщением по его длине до тех пор, пока текст не начнёт читаться – таким образом дешифруется диаметр сциталы.

Этап **формальной** криптографии (конец XV – начало XX вв.) связан с появлением формализованных и относительно стойких к ручному криптоанализу шифров. В Европе этот период связан с эпохой Возрождения, когда развитие науки и торговли вызвало спрос на надежные способы защиты информации.

Отцом западной криптографии называют Леона Баттисту Альберти. Изучив методы вскрытия использовавшихся шифров однозначной замены, он попытался создать шифр, который был бы устойчив к частотному криптоанализу. Он предложил вместо единственного секретного алфавита использовать два или более, переключаясь между ними по какому-либо правилу. Однако, флорентийский учёный так и не смог оформить своё открытие в полную работающую систему, что было сделано уже его последователями.

В 1550 г. итальянский математик Джероламо Кардано предложил новую технику шифрования – решётку Кардано. Этот способ сочетал в себе как стеганографию (искусство скрытого письма), так и криптографию. Затруднение составляло даже понять, что сообщение содержит зашифрованный текст, а расшифровать его, не имея ключа (решётки) в то время было практически невозможно. Решётку Кардано считают первым *транспозиционным* шифром или *геометрическим* шифром.

Значительный толчок криптографии дало изобретение телеграфа. Сама передача данных перестала быть секретной, и сообщение, в теории, мог перехватить кто угодно. Интерес к криптографии возрос, в том числе, и среди простого населения, в результате чего многие попытались создать индивидуальные системы шифрования. Преимущество телеграфа было явным и на поле боя, где командующий должен был отдавать немедленные приказы на поле сражения, а также получать информацию с мест событий. Это послужило толчком к развитию полевых шифров.

Перед началом Второй мировой войны ведущие мировые державы имели электромеханические шифрующие устройства, результат работы которых считался невскрываемым. Эти устройства делились на два типа – роторные машины и машины на цевочных дисках. К первому типу относят «Энигму» (рис. 2), использовавшуюся войсками Германии и её союзников, второго типа – американская M-209 (рис. 3). В СССР производились оба типа машин.



Рис. 2. Энигма



Рис. 3. М-209

После Первой мировой войны правительства стран засекретили все работы в области криптографии. Ключевой вехой в развитии криптографии является фундаментальный труд Клода Шеннона «Теория связи в секретных системах» – секретный доклад, представленный автором в 1945 г., и опубликованный им в 1949 г. В этой работе, по мнению многих современных криптографов, был впервые показан подход к криптографии в целом как к *математической* науке.

В 1960-х годах начали появляться различные блочные шифры, которые обладали большей криптостойкостью по сравнению с результатом работы роторных машин. Однако они предполагали обязательное использование цифровых электронных устройств – ручные или полумеханические способы шифрования уже не использовались.

В России для шифрования с открытым ключом стандарт отсутствует, однако для электронной цифровой подписи (органически связанной с шифрованием с открытым ключом) принят ГОСТ Р 34.10-2001, использующий криптографию на эллиптических кривых.

Современная криптография образует отдельное научное направление на стыке математики и информатики – работы в этой области публикуются в научных журналах, организуются регулярные конференции. Практическое применение криптографии стало неотъемлемой частью жизни современного общества – её используют в таких отраслях как электронная коммерция, электронный документооборот (включая цифровые подписи), телекоммуникации и других.

В современном мире криптография находит множество различных применений. Кроме очевидных – собственно, для передачи информации, она используется в сотовой связи, платном цифровом телевидении при подключении к Wi-Fi и на транспорте для защиты билетов от подделок, и в банковских операциях, и даже для защиты электронной почты от спама.

#### Список использованных источников

1. Гатченко Н. А., Исаев А. С., Яковлев А. Д. Криптографическая защита информации. СПб.: НИУ ИТМО, 2012. 142 с.

2. Яковлев А. В., Безбогов А. А., Родин В. В., Шамкин В. Н. Криптографическая защита информации. Тамбов: изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. 140 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом педагогических наук, подполковником Осиповым Д. Л., СПбГУТ.*

## УДК 621.396

**И. И. Горай** (преподаватель,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)  
**Д. А. Журавлёв** (кандидат технических наук,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)  
**И. Д. Ларионова** (курсант,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

### СПОСОБ ПРОКЛАДКИ ЛИНИЙ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ В ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ С УЧЕТОМ ИХ ПРОПУСКНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ

*В статье представлен порядок размещения дополнительных линий в полевой транспортной сети. В качестве критериев оценки размещения линии выбраны пропускные способности линий, их длина, число остовных деревьев и вероятность доставки трафика в сети после ее введения. Задача выбора варианта размещения решается путем многокритериальной оптимизации.*

*маршрут, транспортная сеть, граф, остовные деревья.*

Динамика функционирования современных транспортных сетей связи характеризуются высокой вероятностью перегрузки отдельных направлений в случае выхода из строя оборудования или линий связи, входящих в маршруты доставки информации. Проблема может быть решена путем введения в транспортную сеть связи линий резервирования, например, образованных полевыми средствами связи для обеспечения заданного количества маршрутов доставки трафика между корреспондирующими узлами. Однако зачастую ресурс на развертывание таких линий ограничен временными и материальными ресурсами. Таким образом появляется необходимость в разработке способа прокладки линий резервирования в транспортной сети связи с учетом их пропускных способностей, а также с учетом ряда дополнительных параметров сети и линий.

Как правило, существует несколько вариантов  $x_i$  размещения дополнительных линий связи на сети, представляющих собой множество альтернатив  $X = \{x_i\}_{i=1}^N$ , где  $N$  – количество вариантов размещения.

Для оценки эффективности той или иной альтернативы, как правило, существует множество показателей качества. Варианты размещения дополнительных линий на сети характеризуются, прежде всего, такими показателями как:

- пропускная способность маршрутов  $\lambda$ ;
- вероятность доставки сообщений между корреспондирующими узлами  $P_d$ ;
- максимальное время доставки сообщений между корреспондирующими узлами  $t_d$ ;
- протяжённость формируемых дополнительных маршрутов  $l$ ;
- число остовных деревьев  $A$ , образуемых после введения дополнительной линии связи.

Задача выбора наилучшего варианта размещения линии резервирования на сети, представляет собой задачу многокритериальной оптимизации, которую можно сформулировать следующим образом. Из множества альтернатив  $X$  необходимо выбрать такую  $x_i$ , чтобы векторный критерий  $\mathbf{F}(x_i) = (F_1(x_i) \ F_2(x_i) \ F_3(x_i) \ F_4(x_i) \ F_5(x_i))^T$ , с частными критериями  $F_i(x) (i = \overline{1,5})$ , был оптимальным:

$$\mathbf{F}(x_i) = (F_1(x_i) \ F_2(x_i) \ F_3(x_i) \ F_4(x_i) \ F_5(x_i))^T \rightarrow \text{optim},$$

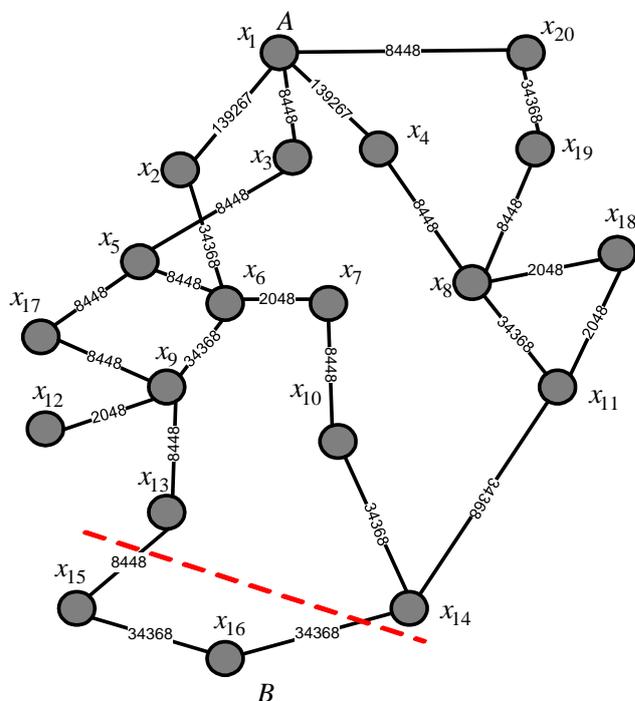


Рисунок. Вариант полевой транспортной сети связи

где  $F_1(x_i)$  – минимальное время доставки сообщений между корреспондирующими узлами;  $F_2(x_i)$  – вероятность доставки сообщений между корреспондирующими узлами;  $F_3(x_i)$  – структура формируемых дополнительных маршрутов;  $F_4(x_i)$  – число образуемых остовных деревьев, образуемых после введения дополнительной линии связи.  $F_5(x_i)$  – максимальная пропускная способность между корреспондирующими узлами.

Пример. На рис. задана сеть в которой необходимо

обеспечить между корреспондирующими узлами  $x_1$  (A) и  $x_{16}$  (B) условие  $n \geq 3$ .

Выбрать оптимальный вариант прокладки линии резервирования.

С использованием алгоритма Дейкстры вычисляются маршруты доставки сообщений между корреспондирующими узлами. В рамках заданного ограничения на ресурс сил и средств выбраны возможные 4 варианта прокладки дополнительных линий, которые представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1

Вариант прокладки	Задействованные узлы связи	Задействованные линии связи	Протяженность линий в маршруте, км	Общая протяженность маршрута, км	Пропускная способность линий	Дополнительная линия (линии)
1	$x_1, x_3, x_5, x_{17}, x_9, x_{13}, x_{16}$	$a_3, a_7, a_{10}, a_{25}, a_{26}, a_{27}$	20, 40, 20, 20, 40, 30	170	8448, 8448, 8448, 8448, 139264, 139264	$x_9 - x_{13}, x_{13} - x_{16}$ (40, 30 км)
2	$x_1, x_3, x_5, x_6, x_7, x_{10}, x_{16}$	$a_3, a_7, a_{11}, a_{14}, a_{18}, a_{26}$	20, 40, 20, 15, 35, 60	190	8448, 8448, 8448, 2048, 8448, 139264	$x_{10} - x_{16}$ (60 км)
3	$x_1, x_3, x_5, x_{17}, x_9, x_{12}, x_{16}$	$a_3, a_7, a_{10}, a_{25}, a_{16}, a_{26}$	20, 40, 20, 20, 20, 60	180	8448, 8448, 8448, 8448, 2048, 139264	$x_{12} - x_{16}$ (60 км)
4	$x_1, x_3, x_5, x_6, x_7, x_{10}, x_{14}, x_{16}$	$a_3, a_7, a_{11}, a_{14}, a_{18}, a_{21}, a_{26}$	20, 40, 20, 15, 35, 40, 35	207	8448, 8448, 8448, 2048, 8448, 139264	$x_{14} - x_{16}$ (35 км)

Время доставки по каждому маршруту представлено в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2

Номер варианта прокладки	1	2	3	4
$t_d$ , мс	270,51	270,57	270,54	300,62

Вероятность доставки сообщений на линиях и в сети в целом после введения линий резервирования представлена в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3

Номер варианта прокладки	1 маршрут	2 маршрут	3 маршрут 1 вариант	3 маршрут 2 вариант	3 маршрут 3 вариант	3 маршрут 4 вариант
$P_d$ маршрута	0,885	0,832	0,894	0,876	0,913	0,867
$P_c$ сети	Без линии резервирования (без 3 маршрута) 0,981		0,996	0,9974	0,996	0,9971

Число остовных деревьев для каждого варианта представлено в табл. 4.

ТАБЛИЦА 4

Вариант прокладки линии	Число остовных деревьев
Без дополнительной линии	3 373
1	218 269
2	52 872
3	23 754
4	93 459

Векторные критерии, полученных альтернатив  $x_1, x_2, x_3$  и  $x_4$  в пространстве критериев принимают следующие значения:

$$\begin{cases} \mathbf{F}(x_1) = (-270,51 & 0,996 & -170 & 218269 & 52,05)^T, \\ \mathbf{F}(x_2) = (-270,57 & 0,9974 & -190 & 52872 & 29,2)^T, \\ \mathbf{F}(x_3) = (-270,55 & 0,992 & -185 & 23754 & 56,4)^T, \\ \mathbf{F}(x_4) = (-300,62 & 0,9971 & -207 & 93459 & 29,2)^T. \end{cases}$$

Множество возможных вариантов размещения  $X_S = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$  дискретно и конечно, следовательно используя алгоритм попарного сравнения альтернатив в критериальном пространстве и аксиому Парето (в терминах решений) [2], сформируем множество Парето-оптимальных решений  $X_P$ .

На первом шаге сравним альтернативу  $x_1$  со всеми остальными решениями. Решения  $x_1$  и  $x_2$  несравнимы, также как не сравнимы и решения  $x_1$  и  $x_3$ . Однако, решение  $x_1$  доминирует решение  $x_4$ . Следовательно решение  $x_4$  исключается из множества возможных решений  $X_S$ . Таким образом  $X_S$  преобразуется в  $X'_S = \{x_1, x_2, x_3\}$ .

На втором шаге сравним альтернативу  $x_2$  со всеми остальными решениями. Решения  $x_2$  и  $x_3$  несравнимы, следовательно из множества возможных решений  $X'_S$  ничего не исключается. Полученное множество возможных решений  $\{x_1, x_2, x_3\}$  состоит из недоминируемых альтернатив и является Парето-оптимальным [3]:

$$X_p = \{x_1, x_2, x_3\}.$$

Полученное множество Парето-оптимальных решений  $X_p$  состоит из трёх альтернатив из которых необходимо выбрать единственное эффективное решение, для чего используем метод идеальной точки [4]. Для этого все компоненты векторных критериев  $\mathbf{F}(x_1)$ ,  $\mathbf{F}(x_2)$  и  $\mathbf{F}(x_3)$  приведём к нормированным (безразмерным) величинам.

Векторные критерии Парето-оптимальных решений  $X_p$  с нормированными компонентами принимают следующие значения:

$$\begin{cases} \hat{\mathbf{F}}(x_1) = (-0.999 & 0.998 & -0.89 & 1 & 0.923)^T \\ \hat{\mathbf{F}}(x_2) = (-1 & 1 & -1 & 0.12 & 0.517)^T \\ \hat{\mathbf{F}}(x_3) = (-0.999 & 0.994 & -0.97 & 0.11 & 1)^T \end{cases}.$$

Определим идеальную точку как вектор, состоящий из максимальных значений каждого показателя качества:

$$\mathbf{F}_{\text{ид}} = \left( \max_{x \in X_p} F_1(x) \quad \max_{x \in X_p} F_2(x) \quad \max_{x \in X_p} F_3(x) \quad \max_{x \in X_p} F_4(x) \right)^T.$$

Тогда решением задачи многокритериального выбора будем считать альтернативу, от которой евклидово расстояние до идеальной точки в пространстве критериев минимально:

$$\left\| \hat{\mathbf{F}}(x^*) - \mathbf{F}_{\text{ид}} \right\| \rightarrow \min, \quad x^* \in X.$$

Тогда евклидовы расстояния между идеальной точкой и векторными критериями оказываются равными:

$$\begin{aligned} \left\| \hat{\mathbf{F}}(x_1) - \mathbf{F}_{\text{ид}} \right\| &= 2.0035 \\ \left\| \hat{\mathbf{F}}(x_2) - \mathbf{F}_{\text{ид}} \right\| &= 3.001 \\ \left\| \hat{\mathbf{F}}(x_4) - \mathbf{F}_{\text{ид}} \right\| &= 2.944 \end{aligned}$$

Следовательно, решение  $x_1$ , обладающее в пространстве критериев наименьшим расстоянием до идеальной точки, является оптимальным.

#### Список использованных источников

1. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход / пер. с англ. Э. В. Вершкова и И. И. Коновальцева. под ред. Г. П. Гаврилова. М.: Мир, 1978. 432 с.
2. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. М.: Физматлит, 2002. 144 с.
3. Михалевич В. С., Волкович В. Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. Монография. М.: Наука, 1982. 288 с.
4. Ланнэ А. А., Улахович Д. А. Многокритериальная оптимизация. ВАС, 1984. 94 с.

УДК 654.026

А. А. Долгомер (студентка, СПбГУТ)

### ОПТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ. «Plug&Play» СИСТЕМЫ

*Квантовая криптография – наука на стыке квантовой механики и традиционной криптографии. В настоящее время она является одним из перспективных методов защиты информации. Для развития и внедрения квантовых криптографических систем (ККС) применяются технологии волоконной оптики, а также свободное воздушное и космическое пространство. В данной работе будет рассмотрена реализация квантовой криптографической системы с помощью оптического волокна.*

*квантовая криптография, квантовое распределение ключей.*

В начале двадцатого века немецкий физик Макс Планк установил, что излучение или поглощение электромагнитного поля происходит только определёнными порциями – квантами, или фотонами. В квантовой криптографии может использоваться любая элементарная частица, но преимущественно используются фотоны оптического диапазона. Это связано с простотой исполнения подобных систем.

У фотона, как и у других квантовых частиц, есть несколько важных свойств. Для их описания вводится понятие волновой функции  $\psi$ . Квадрат модуля волновой функции  $|\psi|^2$  пропорционален вероятности нахождения частицы в данной точке пространства. Фотон может быть в нескольких областях пространства одновременно, а его состояние в конкретный момент времени является суперпозицией всех возможных состояний. Измерение

фотона вызывает непренебрежимо малое возмущение, приводящее к изменению его состояния. При этом волновая функция суперпозиции перейдет в одно из чистых состояний. Кроме того, согласно теореме о запрете клонирования невозможно сделать копию неизвестного квантового состояния.

Вышеуказанные свойства лежат в основе квантового распределения ключей (КРК) – криптографического примитива для квантового канала связи [1]. Данный криптографический примитив применяется в целях установления информационного обмена между двумя, не связанными до этого, пользователями. При формировании секретного ключа отправитель посылает получателю ряд фотонов. Каждый фотон является носителем одного бита информации. Если в информационный обмен вторгнется третья сторона и перехватит часть из последовательности фотонов, то при измерении ею фотонов изменятся их квантовые состояния. Это будет зафиксировано в виде шума в канале, и участники информационного обмена смогут вовремя прекратить передачу секретного ключа.

В коммерческой реализации квантовое распределение ключей представляет собой дополнительный уровень безопасности для классического канала связи. Случайный секретный ключ, сформированный в квантовом канале связи, комбинируется с ключами открытого канала. Таким образом, передача секретной информации происходит в классическом канале связи.

Необходимость согласования квантового и классического каналов предполагает в самом начале информационного обмена аутентификацию с заданием короткого начального ключа.

Среди множества протоколов квантового распределения ключей самым распространённым является протокол BB84. Для кодирования информации в данном протоколе используются четыре состояния поляризации, образующие два неортогональных друг другу базиса: прямоугольный и диагональный. Отправитель генерирует случайную строку битов и строку битов, отвечающих за базис кодирования квантового сигнала. Затем он вырабатывает одиночные фотоны и выбирает базис поляризации с помощью генератора случайных чисел, после чего отправляет фотоны по квантовому каналу. Получатель на приёмной стороне случайным образом определяет базис для измерения фотонов и с вероятностью, равной пятидесяти процентам, генерирует строку битов, соответствующую строке базисов. Так происходит формирование «сырого» ключа.

Далее следует согласование измеренной получателем информации по классическому открытому каналу связи с аутентификацией. Для этого получатель сообщает базисы измерений полученных фотонов, а отправитель отмечает, какие базисы были угаданы правильно. В ответ он высылает получателю индексы битов, измеренных в «правильных» базисах. Затем отправитель и получатель удаляют записи о битах, измеренных в неверных базисах. Получается «просеянный» ключ, который в отсутствие прослушивания должен быть одним и тем же у обеих сторон.

Для того чтобы учесть шум, проводится дополнительная процедура обработки ключей (постобработка). Она предусматривает оценку уровня ошибок, исправление ошибок и усиление секретности. «Исправленный» ключ можно использовать в реальных системах.

С практической точки зрения рассмотренная схема квантового распределения ключей по протоколу BB84 не эффективна [2]. Для того чтобы она стала эффективной, должны быть учтены следующие замечания:

1. Лучше иметь дело с пучками (или импульсами) фотонов, чем с одиночными фотонами.
2. Некоторые из фотонов при передаче будут переполаризованы.
3. Не исключены ошибки в измеряющем оборудовании.

Кроме того, в квантовых криптографических системах на основе оптического волокна важно учитывать поляризационные эффекты в одномодовых волокнах. Всего выделяют четыре различных поляризационных эффекта: эффект геометрической фазы, двулучепреломление, дисперсия мод по поляризации, зависимость потерь от поляризации [3].

Геометрическая фаза меняет направление поляризации. Для её преодоления отправителю и получателю изначально необходимо повернуть свои системы на некоторый угол. Двулучепреломление также сказывается на состоянии поляризации. Оно основано на том, что одномодовый волновод является «одномодовым» только в первом приближении. При более точном рассмотрении оказывается, что он может поддерживать две вырожденные моды, поляризованные в двух ортогональных направлениях. В идеальных условиях ортогонально поляризованные моды не взаимодействуют, однако на практике происходит смешивание двух поляризационных состояний, снимающее вырождение мод. Дисперсия мод по поляризации приводит к наличию двух различных групповых скоростей для ортогонально поляризованных мод. Вызываемая этим эффектом деполаризация схожа с потерей когерентности.

В настоящее время в коммерческих реализациях оптоволоконных квантовых криптографических систем в основном используется система с самокомпенсацией «Plug&play».

На рис. показан принцип действия системы «Plug&Play» для протокола BB84 [3].

Передатчик (отправитель) и приёмник (получатель) соединены между собой одномодовым оптическим волокном SMF-28, длиной 23 км. Важной особенностью данной криптосистемы является то, что световой импульс излучает получатель, а не отправитель. Лазер получателя генерирует многофотонный оптический импульс с линейной поляризацией ( $\lambda_{\text{ИОФ}} = 1,55$  мкм;  $\tau = 1$  нс), который проходит через циркуляр и направляется на светоделитель Дел. 1. Здесь импульс расщепляется. Первая половина импульса идёт по короткому плечу интерферометра Маха-Цендера МЦ через поляризационной светоделитель (ПСД). Благодаря контроллеру поляризации эта часть

расщеплённого импульса проходит через ПСД полностью. Затем он распространяется к отправителю, где снова расщепляется на Дел. 2 для формирования синхросигнала. Далее он проходит через аппаратуру отправителя и отражается обратно к получателю.

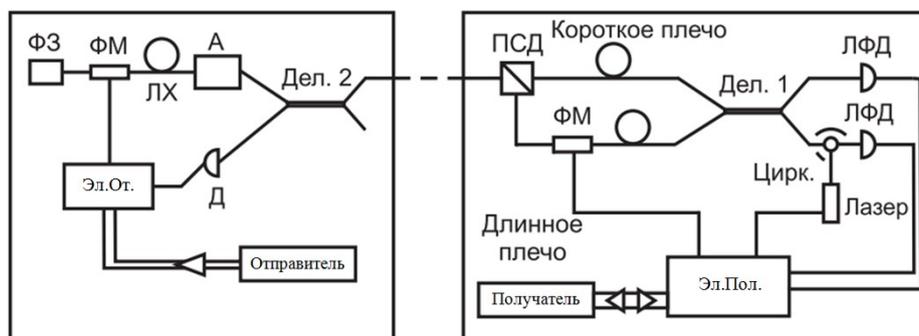


Рисунок. Квантовая криптографическая система «plug&play»

Отражатели выполнены на основе фарадеевских зеркал (ФЗ). ФЗ, то есть  $45^\circ$  ротатор фарадея и отражающее назад зеркало, формирует отражённую поляризацию, ортогональную поляризации света, направляемого в волокно. Любые изменения поляризации внутри интерферометра эффективно подавляются.

Действие ФЗ компенсирует двулучепреломление оптического звена, и импульс возвращается назад ортогонально поляризованным. Затем он отражается ПСД и идёт в длинное плечо, где получатель вводит фазовый сдвиг с помощью модулятора ФМ.

Второй импульс распространяется по двум плечам в обратной последовательности. Отправитель вводит фазовый сдвиг (ФМ) и с помощью аттенюатора А ослабляет лазерный импульс до однофотонного состояния.

Оба импульса с идентичными поляризациями соединяются на выходе Дел. 1, где они интерферируют. Результат интерференции регистрируется ЛФД.

Поскольку оба импульса проходят одинаковый путь, этот интерферометр автоматически скомпенсирован.

Достоинствами данной криптосистемы являются:

1) Фазовое кодирование вместо поляризационного, которое из-за поляризационных эффектов трудно контролировать в волноводе. Схема фазового кодирования представляет собой развёрнутый интерферометр Маха-Цендера с двумя фазовыми модуляторами (ФМ).

2) Использование фарадеевского зеркала (ФЗ) вместо обычного позволяет избавиться от двулучепреломления в волноводе.

Системы «Plug&Play» являются новейшими разработками криптосистем с устойчивым квантовым распределением ключей на предельных расстояниях, определяемых потерями в волокне.

**Список использованных источников**

1. Килин С. Я., Хорошко Д. Б., Низовцев А. П. Квантовая криптография: идеи и практика. Минск: Беларуская навука, 2007. 391 с.
2. Мазуренко Ю. Т., Чивилихин С. А., Трифанов А. И., Орлов В. В., Егоров В. И. Квантовая информатика. Лабораторный практикум: учебное пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. 58 с.
3. Рябцев И. И., Курочкин В. Л., Зверев А. В., Третьяков Д. Б. Квантовая криптография как перспективный метод абсолютно защищённой передачи данных для новых поколений РЛС // Вестник СибГУТИ. 2015. № 2.

*Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцент Красов А. В., СПбГУТ.*

**УДК 621.396**

**К. В. Дунаев** (курсант,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)  
**Д. А. Журавлёв** (кандидат технических наук,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)  
**А. А. Муравцов** (начальник кафедры,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

## **ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ПРИМЕНЕНИЯ АОЛС В СЕТЯХ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*В статье описаны варианты применения атмосферных оптических линий связи в сетях связи специального назначения, а также осуществлен выбор для этих вариантов аппаратуры отечественных и зарубежных производителей на основе расчета энергетического потенциала в различных погодных условиях.*

*атмосферная оптическая линия связи, атмосферная оптическая система передачи, энергетический потенциал, атмосферные осадки.*

В настоящее время атмосферные оптические системы передачи (АОСП) широко применяются для организации беспроводных соединений по схеме «точка – точка» при условии прямой видимости между приемным и передающим устройствами. Использование АОСП позволяет минимизировать шансы обнаружения факта передачи информации, так как эти системы, в отличие от радиолиний, формируют оптическое излучение с узкой диаграммой направленности. Кроме того, АОСП не создают электромагнитных помех, что облегчает их электромагнитную совместимость, обладают высокой мобильностью, малым временем развертывания и высокой скоро-

стью передачи до 1 Гбит/с [1]. Пропускная способность не определена частотой передачи сигнала, а зависит от энергетического потенциала атмосферной оптической линии связи (АОЛС). Достоинства АОЛС позволяют рассматривать следующие варианты их применения:

- резервирование кабельных оптических линий связи;
- восстановление кабельных оптических линий связи в случае их выхода из строя;
- совместное применение АОЛС и высокоскоростных радиорелейных мостов;
- использование АОЛС в качестве линии привязки полевых аппаратных связи к стационарным объектам.

Во всех вариантах целесообразным является вопрос по обеспечению значительной дальности АОЛС при требуемом коэффициенте готовности, что во многом определяется возможностями и ТТХ аппаратуры АОЛС. В данной статье в качестве аппаратуры АОЛС выбрана аппаратура отечественных и зарубежных производителей с дальностью связи до 5 км. В табл. представлена аппаратура АОЛС и ее основные характеристики.

Во всех вариантах применения АОЛС необходимо учитывать влияние на нее следующих явлений: погодные условия (дождь, туман, снег), турбулентность атмосферы и протяженность линии. Все эти явления влияют на ключевой параметр – энергетический потенциал линии  $M_l$ .

ТАБЛИЦА. Аппаратура АОЛС и ее основные характеристики

Параметры	ArtoLink	TS 5000G/XYL/F	SONAbeam™ 1250-M	DT-130
Длина волны излучения, нм	1 550	785	1550	850
Мощность излучателя $P_e$ , дБм	24	30	25	10,4
Чувствительность приемника, дБм	-50	-40	-55	-40
Суммарная площадь приемника, см <sup>2</sup>	60	40	20	45
Угол расхождения луча, мрад	0,1	0,1	0,1	0,1

Расчет энергетического потенциала в различных погодных условиях осуществляется по методике, изложенной в [2].

Графики (рис. 1, 2, 3) показывают, что максимальная дальность связи аппаратуры АОЛС достигается в идеальных условиях, а именно при слабой турбулентности и при отсутствии осадков.

В сетях связи специального назначения технически выгодно применять аппаратуру отечественного производителя ArtoLink, так как она обладает достаточной дальностью связи и в условиях воздействия погодных факторов способна обеспечить связь с коэффициентом готовности 100 % на дальности до 3 км.

### Дождь

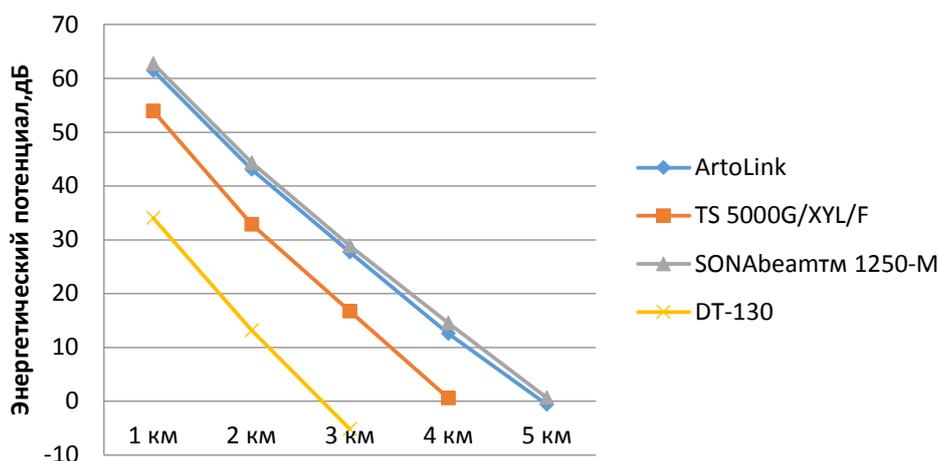


Рис. 1. Энергетический потенциал АОЛС в условиях дождя

### Туман

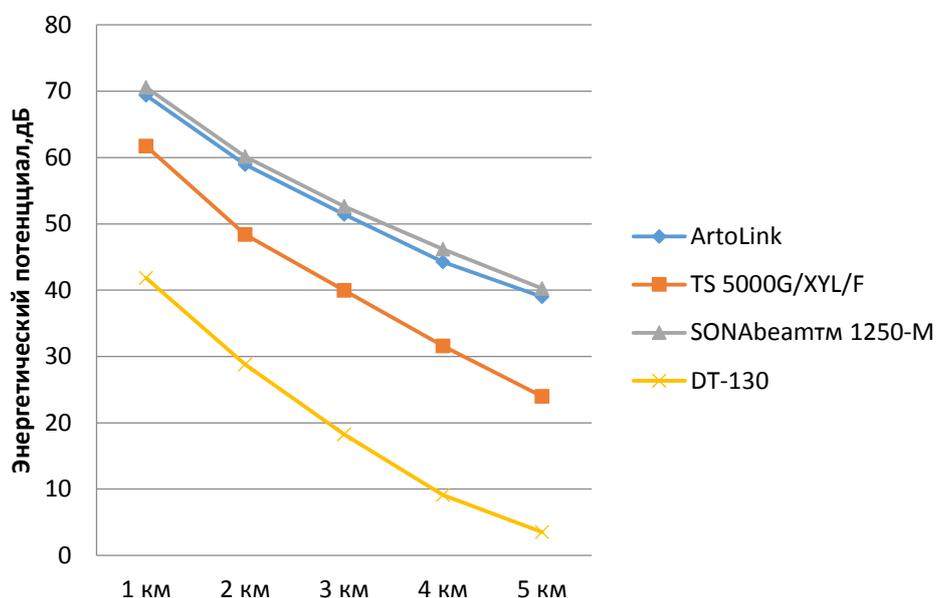


Рис. 2. Энергетический потенциал АОЛС в условиях тумана

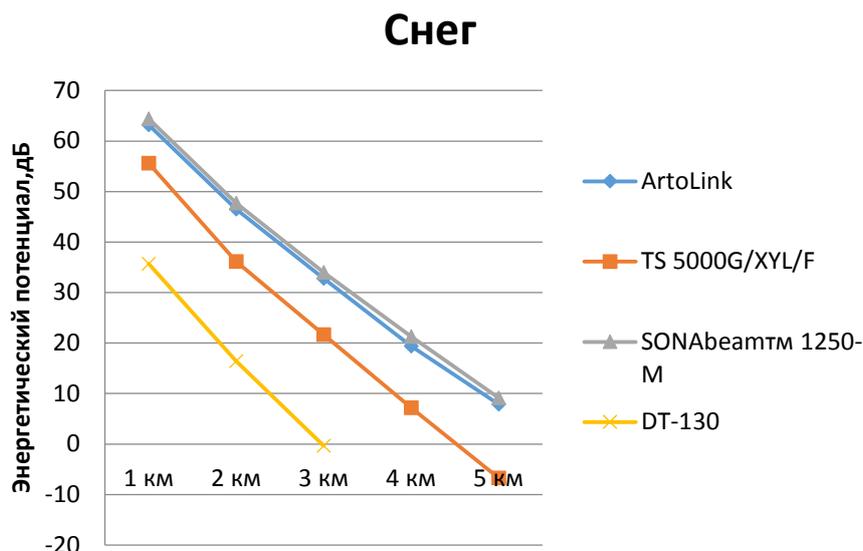


Рис. 3. Энергетический потенциал АОЛС в условиях снега

#### Список использованных источников

1. Журавлёв Д. А., Соколов А. С., Дунаев К. В., Седунова И. Д., Самаркин Д. С. Анализ возможности применения атмосферных оптических линий для резервирования полевых волоконно-оптических линейных трактов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4 т. Т. 1 / под. ред. С. В. Бачевского. СПб.: СПбГУТ, 2017. 580 с. стр. 403–406.
2. Рекомендация МСЭ-R P.1814. Методы прогнозирования, требуемые для разработки наземных оптических линий для связи в свободном пространстве, 2007 г.
3. Аппаратура атмосферной оптической линии передачи данных Artolink M1-GE-L. Руководство по эксплуатации. М.: ЗАО «МОСТКОМ».

**УДК 621.396.4**

**Д. А. Журавлёв** (кандидат технических наук,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**Н. А. Савушкин** (курсант,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**Ю. А. Семуков** (преподаватель,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПОЛЕВОЙ  
ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ТРЕБУЕМОЙ  
ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ**

*В статье представлен способ размещения дополнительных линий в полевой транспортной сети, в которой узлы в любой момент времени могут быть взаимно корреспондирующими, для обеспечения требуемой отказоустойчивости. В качестве критерия оценки размещения линии выбрано число остовных деревьев в сети после ее введения. Приведен пример, поясняющий последовательность решения конкретной задачи по построению структуры сети требуемой отказоустойчивости.*

*способ, транспортная сеть, граф, остовные деревья.*

Задача построения структуры полевой транспортной сети связи является важнейшей, поскольку наличие именно структуры позволяет рассчитать и ряд других связанных с ней задач:

- определения структурной живучести сети;
- определение маршрутов между выделенными корреспондирующими узлами связи и алгоритмов маршрутизации;
- выработка рекомендаций по решению потоковой задачи;
- оценка эффективности применимости той или другой технологии;
- решение задач резервирования и управления [1].

Классическая задача размещения дополнительных линий в полевой транспортной сети связи решается методом корреспондирующих узлов. В современных условиях, как правило, обмен трафиком осуществляется между всеми узлами в сети, т.е. узлы по отношению друг к другу будут корреспондирующими. Если в качестве показателя эффективности варианта размещения дополнительных линий на сети выбрать число остовных деревьев (структурной живучести сети), то задача по их размещению может быть сформулирована следующим образом: при заданных ограничениях на длину линий резервирования необходимо выбрать такой вариант их размещения, чтобы число остовных деревьев было максимальным.

Для размещения линии резервирования полевая транспортная сеть связи (рис. 1) представляется в виде неориентированного графа  $G$  с множеством вершин  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , в качестве которых выступают сетевые узлы и станции, а также ребер  $U = \{u_{ik}\}$  в качестве которых выступают линии связи. Каждой линии присваивается вес, в качестве которого выступает их длина и составляется матрица смежности  $A = \|a_{ik}\|$ . Для представленной сети из 20 узлов существует 190 вариантов соединения пары узлов линиями связи и  $2^{190}$  вариантов расположения линий связи, включая и множество тривиальных случаев. При современной производительности компьютеров на решение такой задачи потребуются несколько сотен лет, что порождает необходимость поиска других способов вычисления работающих в реальном времени. Решение задачи за приемлемое время возможно за счет использования эвристических (приближенных) способов вычисления, позволяющих получить решение не хуже заданного.

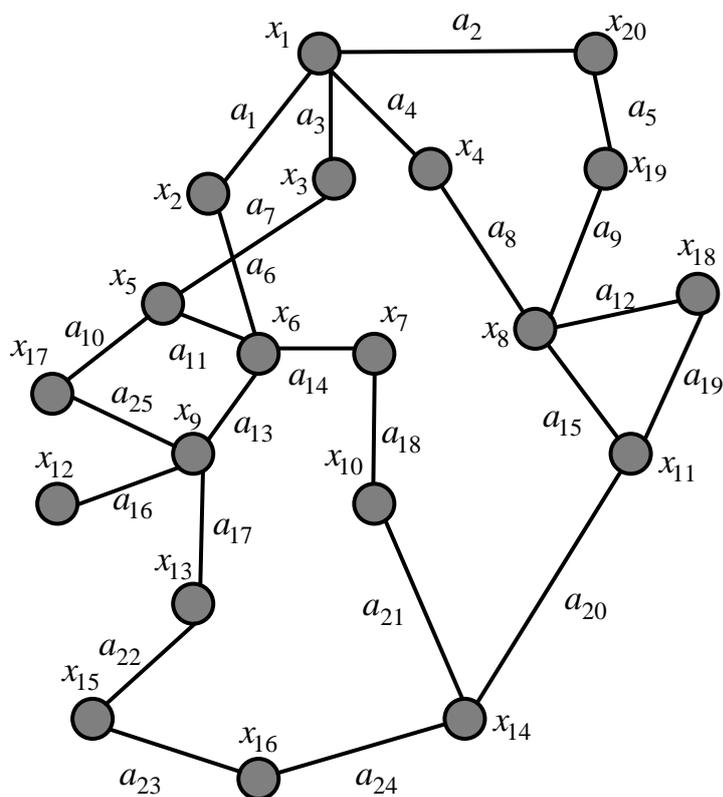


Рис. 1. Вариант полевой транспортной сети связи

чиненность или ведомственная принадлежность и т. д.

Второй этап: определение центрального узла связи в подсети. Эта задача может быть решена по типу минисуммных задач, если представить сеть в виде неориентированного графа (первый вариант) или нахождения внешне-внутреннего центра, если представить подсеть в виде ориентированного графа (второй вариант) [1]. Первый вариант применяется, когда

Для упрощения переборной задачи и сокращения операций по вычислению сформулирован способ построения структуры полевой транспортной сети требуемой отказоустойчивости за счет соответствующего размещения дополнительных линий ограниченной длины в ее структуре.

Способ включает в себя следующие этапы.

Первый этап: деление структуры полевой транспортной сети на подсети. В качестве критерия такого деления может выступать территориальное размещение узлов, их под-

необходимо осуществлять оценку между всеми корреспондирующими узлами в подсети. Второй вариант целесообразно использовать, если в подсети заранее определены корреспондирующие узлы.

Третий этап: вводятся дополнительные линии между центральными узлами подсетей и вычисляется связность полевой транспортной сети связи.

Четвертый этап: оценивается выполнение условия  $A^* \leq A$ , где  $A^*$  – требуемое число остовных деревьев,  $A$  – число остовных деревьев, после введения линии резервирования.

Пример. На рис. 1 задана сеть, в которую необходимо ввести дополнительные линии. Приняты ограничения: ресурс сил и средств позволяет построить линию длиной не более 150 км. Требуемое число остовных деревьев  $A^* = 20\ 000$ .

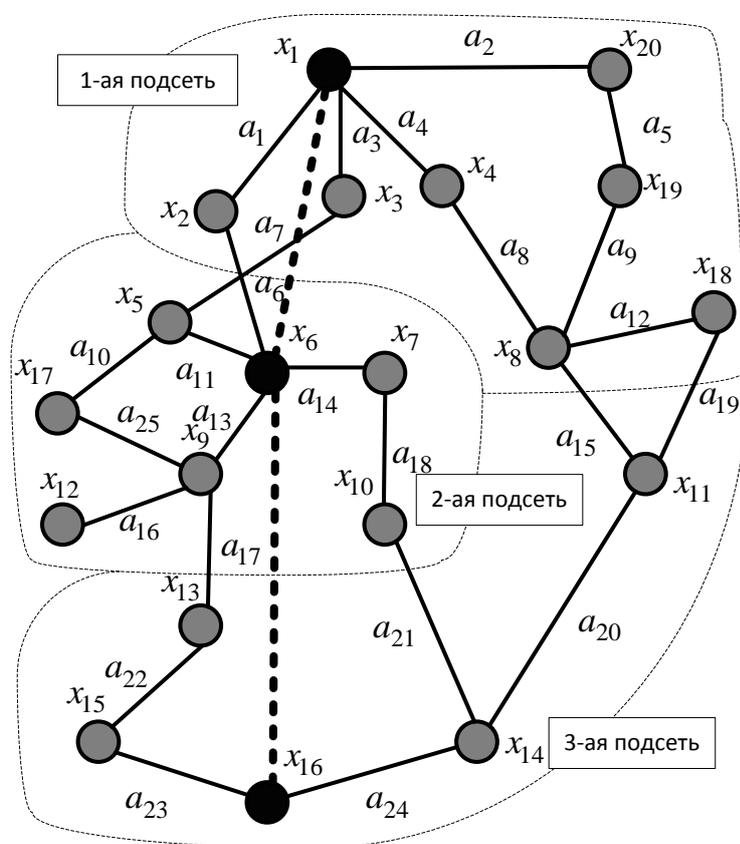


Рис. 2. Деление сети на подсети и размещение линии резервирования в полевой транспортной сети связи

В первой подсети центральным узлом связи является  $x_1$ . Во второй подсети центральным узлом связи является  $x_6$ . В третьей подсети центральным узлом связи является  $x_6$ .

Структура полевой транспортной сети связи с введенной линией резервирования между центральными узлами связи представлена на рис. 2.

На первом этапе разобьем заданную сеть на подсети, по ведомственной принадлежности (рис. 2) и определим узлы связи, входящие в каждую подсеть.

В подсети входят следующие узлы: первая  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_8, x_{16}, x_{18}, x_{19}, x_{20}$ ; вторая  $x_5, x_6, x_7, x_9, x_{10}, x_{12}, x_{17}$ ; третья:  $x_{11}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}$ .

На втором этапе определим центральный узел связи в подсети с помощью решения минисуммной задачи. Исходя из расстояний до всех узлов связи в первой подсети центральным узлом связи является  $x_1$ . Во второй подсети центральным узлом

Третий этап. Перейдем к оценке изменения (улучшения) общей связности сети через расчет и оценку величины числа остовных деревьев.

Для построения полного списка остовных деревьев графа  $G$  использована теорема, представленная в [1]. Пусть  $G$  –  $n$ -вершинный граф без петель и  $B_0$  – его матрица инцидентий с одной удаленной строкой (т. е. с  $n-1$  независимыми строками). Пусть  $B'_0$  – транспонированная матрица к  $B_0$ . Тогда определитель  $|B_0 \cdot B'_0|$  равен числу различных остовных деревьев графа  $G$ .

Варианты прокладки дополнительных линий представлено на рис. 3. Число остовных деревьев для каждого варианта представлено в табл.

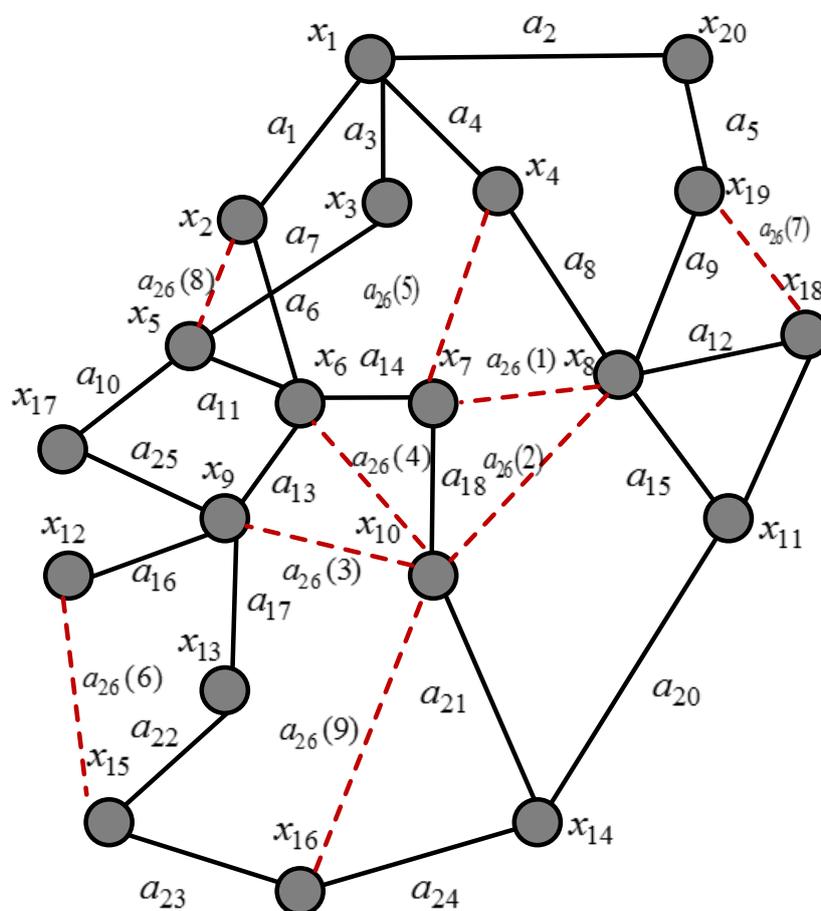


Рис. 3. Варианты прокладки дополнительных линий

Четвертый этап. Сравним полученное число оставных деревьев с требуемым  $A^* \leq A$ . В примере  $20000 \leq 62852$ . Условие выполняется.

Представленный в статье способ позволяет сократить время на вычисление размещения дополнительных линий в полевой транспортной сети связи, при условии того, что они в каждый момент времени по отношению к друг к другу могут быть корреспондирующими.

ТАБЛИЦА. Число оставных деревьев

вариант	Число оставных деревьев
Без дополнительной линии	12 741
С 1 дополнительной линией	
$a_{26}(1)$	33 755
$a_{26}(2)$	34 785
$a_{26}(3)$	33 041
$a_{26}(4)$	28 475
$a_{26}(5)$	36 606
$a_{26}(6)$	42 956
$a_{26}(7)$	42 524
$a_{26}(8)$	26 547
$a_{26}(9)$	31 550
С 2 линиями резервирования	
X4x7 x7x8	73 785
X7x8 x8x10	71 106
X6x10 x9x10	58 875
X9x10 x10x16	74 806
X12x15 x8x10	113 764
X12x15 x4x7	123 400
X12x15 x9x10	107 292

**Список использованных источников**

1. Журавлёв Д. А., Горай И. И., Прасько Г. А. Повышение живучести полевой транспортной сети методом развёртывания дополнительных линий // Труды учебных заведений связи. 2018. Том 1. № 1. С. 40–47.

2. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход / пер. с англ. Э. В. Вершкова и И. И. Коновальцева. под ред. Г. П. Гаврилова. М.: Мир, 1978. 432 с.

3. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах: Пер с англ. М.: Мир, 1981. 323 с.

**УДК 004.7**

**А. В. Курмазов** (старший оператор научной роты,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**Н. Е. Турков** (оператор научной роты,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**Д. О. Федосеев** (заместитель начальника научно-исследовательского  
центра, ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

**МЕХАНИЗМЫ ПРИОРИТЕЗАЦИИ ПАКЕТНОГО ТРАФИКА  
В СЕТЯХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Узлы связи на объектах специального назначения обладают сложной структурой. В их состав входит оборудование различного уровня коммутации и используются разнообразные методы и алгоритмы приоритизации трафика. Необходимо стандартизировать набор оборудования и настроек, позволяющий активно передавать трафик с приоритетом. Предложена модель опытного стенда, протестировано оборудование и конфигурации.*

*мультисервисные сети, сетевое оборудование, сигналы, трафик, приоритизация, абонент.*

В настоящее время при общем прогрессе в сфере сетевых технологий заметно отстаёт научно-технический уровень методов, моделей и средств автоматизации структурно-сетевых синтезов современных телекоммуникационных сетей, в том числе комплексного расчётного обоснования состава оборудования.

Сети военного назначения обладают сложной структурой. В их состав входят различные «конкурирующие объекты» – от сигналов до распоряжений и команд. На уровне коммутации пакеты информации делятся по приоритету исходя из рода трафика. Обработка пакетов каждой очереди организуется с помощью маршрутного процессора и основной ресурс выделяется на более приоритетную очередь. Данное решение не в полной мере учитывает разнородность передаваемой информации и пачечную природу трафика мультисервисных сетей.

Из-за специфики организации сетей связи военного назначения возникает необходимость решать оперативные задачи, учитывая разнородность трафика в множестве альтернатив в целях выбора предпочтительного варианта. Поэтому требуются приоритетные модели способные учитывать важность, скорость, объём передаваемой информации и его класс, а также время прибытия в очередь.

Своевременность информационных обменов в структуре абонентов сетей связи военного назначения – актуальная и достаточно сложная задача,

учитывая потенциальную опасность, исходящую на цифровые системы связи специального назначения со стороны противника.

В современном мире успешность выполнения задач в мирное и военное время находится в прямой зависимости от используемых средств телекоммуникации, которые применяются в процессе организации взаимодействия командиров и подчинённых. В виду больших различий по выбору оборудования и отсутствия стандартизации на узлах связи, необходимо выбрать общедоступное сетевое-аппаратное решение, имеющие допуск для передачи данных в сетях специального назначения.

Чтобы задать приоритет используются определенные классы обслуживания, данные технологии называют QOS (*Quality of Service*). Способы их внедрения в локальные и вычислительные сети различны. На уровне кадров существует возможность включения поля TAG, значение которого определяет требуемый уровень обслуживания. В сетях WAN в IP-пакете предусмотрено специальное поле ToS (*Type of Service* – тип обслуживания), которое используется в сетях обслуживания [1]. Коммутаторы, используемые на малых и средних предприятиях, а также коммутаторы уровня доступа в больших сетях обычно используются для приоритизации только поле QoS Ethernet-кадра. Коммутаторы уровня предприятия могут приоритизировать трафик с учётом всех действующих стандартов [2].

Для настройки приоритизации трафика создаются правила, позволяющие выделять часть трафика, для передачи с особыми условиями. Данный процесс называют классификацией, в ходе которого каждый пакет оказывается промаркированным. Когда выполнена классификация трафика, необходимо начать процесс применения правил приоритизации. Стандарт включает в себя восемь уровней приоритета. Отдельный уровень содержит лишь рекомендации к применению, а правила формируются самим пользователем самостоятельно. Для приоритизированной передачи пакетов на коммутаторе создаются буферы временного хранения пакетов на каждом из портов. Это и есть очередь. Количество буферов соответствует количеству очередей, поддерживаемых коммутатором (по числу уровней приоритизации их должно быть восемь). Размер буфера не является фиксированным. Далее трафик маркируется и если канал связи свободен, то пакет сразу передаётся по назначению, если занят – коммутатор помещает данный пакет в очередь на временное хранение. Очередь определяется по заданным правилам. Линия связи освобождается, и коммутатор начинает передавать пакеты из очередей. Существует несколько алгоритмов для передачи таких данных с настраиваемыми параметрами: Strict Priority Queuing (SPQ) и Weighted Round Robin (WRR).

Суть каждого алгоритма или механизма заключается в том, что происходит обработка информационных пакетов с функцией предпочтения для рассматриваемого класса объектов на основе использования принципа их идентификации.

Для тестирования модели использован симулятор сети передачи данных CiscoPacketTracer, графический эмулятор сети GNS3, генератор трафика Iperf и утилита IxChariot (рис.).

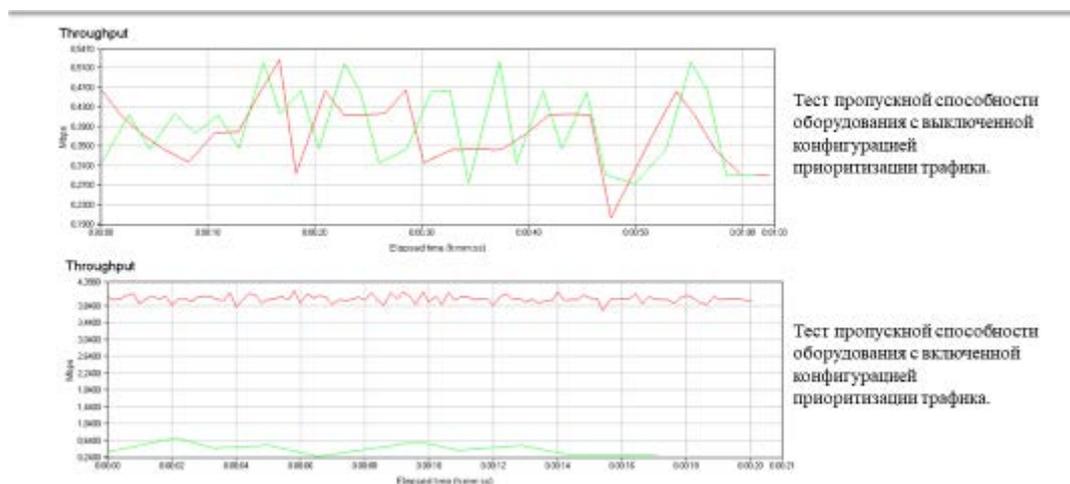


Рисунок. Результаты работы конфигурации стенда

Используемое стендовое оборудование (табл.):

ТАБЛИЦА. Состав оборудования

Наименование	Предназначение
коммутаторы dlink L1	Для подключения АРМ
маршрутизаторы Juniper-SRX240	Для создания узла связи
АТС - Протей	Аудио-связь
ВКС - Поликом	Видео-конферец связь

Данный метод и реализуемая модель позволяют усовершенствовать используемые алгоритмы обработки пакетных трафиков в центрах коммутации военных сетей связи и снизить процент потери пакетов у абонентов при высокой нагрузке на канал.

#### Список использованных источников

1. Битнер В. И., Попов Г. Н. Нормирование качества телекоммуникационных услуг: учебное пособие / под ред. профессора В. П. Шувалова. М.: Горячая линия-Телеком, 2004. 312 с.

2. ITU-T E.800. Telephone network and ISDN quality of service, network management and traffic engineering. Terms and definitions related to quality of service and network performance including dependability. 08/94 sector.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом военных наук Ивановым В. Г.,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного.*

УДК 358.421

Н. В. Пылов, А. А. Соколов (студенты, СПбГУТ)

## БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ В ВОЕННОЙ СФЕРЕ

*Разработка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – одно из наиболее перспективных направлений развития современной военной авиации. Беспилотники или дроны уже привели к значительным изменениям в тактике ведения боевых действий, ожидается, что уже в ближайшем будущем их значение увеличится еще больше. Прогресс в развитии беспилотных летательных аппаратов – это, вероятно, самое важное достижение в современной авиации последних десятилетий.*

*Тема беспилотных летательных аппаратов с каждым месяцем набирает все большую актуальность. Рассмотрение данной темы особенно важно сегодня, когда происходят военные действия на территории некоторых стран и необходимость качественной и достоверной информации имеет огромное значение.*

*БПЛА, дрон, беспилотные летательные аппараты, летательные аппараты.*

Разработка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – одно из наиболее перспективных направлений развития современной военной авиации. Беспилотники или дроны уже привели к значительным изменениям в тактике ведения боевых действий, ожидается, что уже в ближайшем будущем их значение увеличится еще больше. Прогресс в развитии беспилотных летательных аппаратов – это, вероятно, самое важное достижение в современной авиации последних десятилетий [1].

Цель: обзор текущего положения производства, распространения беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА) развитых стран.

Методы: абстрактно-логический, обобщение, сравнительный анализ.

Результаты: анализ преимуществ и недостатков БПЛА, анализ международного рынка БПЛА.

Научная новизна: до настоящего времени публикации в научных журналах, касающиеся БПЛА, затрагивали лишь технические аспекты, оставляя экономические вопросы вне поля зрения. В предлагаемой работе уточняется терминология, анализируются вопросы политической области, рассматриваются статистические данные по производству и торговле, рассматриваются проблемы законодательной базы, связанные с этим быстро растущим сегментом рынка.

Практическая значимость: ввиду недостатка значимых публикаций в области рынка БПЛА данная работа представляет собой обзор современного состояния в перспективной военной области.

Беспилотный летательный аппарат – это аппарат многоразового или условно-многоразового использования, не имеющий на борту экипажа

и способный самостоятельно перемещаться в автономном режиме или посредством дистанционного управления. Преимущества и недостатки БПЛА Анализ достигнутого уровня развития БПЛА, а также опыт их боевого применения позволили выявить их преимущества и недостатки перед пилотируемой авиацией [2].

К сильным сторонам беспилотников можно отнести:

- низкую стоимость по сравнению с пилотируемыми авиационными средствами, о которых говорилось выше;
- возможность длительное время находиться над заданными районами, собирая информацию о противнике и передавая её в масштабе времени, близком к реальному;
- возможность вести наблюдение на малой высоте полёта с разных направлений, что позволяет получить детальное изображение объектов в различных ракурсах;
- высокую мобильность комплексов БПЛА, которые можно достаточно быстро перебрасывать в любой регион в специальных контейнерах;
- трансграничность действия БПЛА ввиду их возможности проникать в глубь территории государств под предлогом борьбы с повстанцами и террористами, а также с разведывательными целями;
- исключение потерь экипажей пилотируемой авиации при большей эффективности выполнения задач беспилотниками, чем пилотируемой авиацией, так как БПЛА могут выполнять задания в глубоком тылу противника по разведке и поражению хорошо защищённых объектов, что считается трудно выполнимой задачей для пилотируемых летательных аппаратов.

В то же время к недостаткам БПЛА следует отнести следующие факторы:

1) Большая зависимость от качества управления и связи в боевой обстановке и ограниченность вариантов действий, определяемых программой беспилотника при полёте в автоматическом режиме.

2) Зависимость от спутниковой навигационной системы GPS для определения собственных координат беспилотника. Дело в том, что при ведении телевизионной разведки необходимо давать точные географические координаты разведанных объектов, которые можно получить только с помощью систем спутниковой навигации. Всё это делает беспилотник зависимым от работы спутниковой навигационной системы, без которой его функционирование в дистанционном режиме управления невозможно. Поэтому одним из способов противодействия БПЛА является создание радиоэлектронных помех для системы навигации, что приведёт не только к нейтрализации находящегося на борту высокоточного оружия, но и к потере аппаратом ориентировки на местности [3].

3) Пока не до конца решены многие вопросы связи, посадки, спасения аппарата.

4) Уровень надежности дронов уступает традиционным летательным аппаратам.

5) Полеты дронов в мирное время во многих районах ограничены по разным причинам.

Опыт применения беспилотников в Афганистане, свидетельствует о повышении роли миниатюрных БПЛА при решении задач тактической войсковой разведки в интересах боевых подразделений, когда войскам крайне важно видеть всё, что происходит за линией фронта в реальном масштабе времени. С начала нынешнего века Соединённые Штаты начали широко применять беспилотные летательные аппараты для целенаправленной ликвидации террористов, боевиков нелегальных вооружённых формирований и наркоторговцев в Афганистане, Пакистане, Йемене, Сомали, Ливии и Мексике. Технический прогресс в военном деле позволил избирательно и точно наносить внезапные дистанционные удары беспилотниками по объектам на территориях государств, не находящихся в состоянии войны с инициаторами таких операций, без соответствующих санкций, а зачастую и без уведомления руководства данных государств о подобных акциях. Дополнительным стимулом для развития беспилотников является их двойное назначение, т. е. пригодность для решения, как военных, так и гражданских задач. Конструктивно беспилотные аппараты гражданского и военного назначения близки, но при этом первые стоят значительно дешевле ввиду отсутствия вооружения. В случае необходимости при незначительных затратах гражданские аппараты могут быть переоборудованы для решения боевых задач.

Одной из основных тенденций развития современных БПЛА является их дальнейшее уменьшение. Ярким примером этого дрон PD-100 Black Hornet, разработанный норвежской компанией Prox Dynamics. Этот дрон вертолетного типа имеет длину 100 мм и вес 120 гр. Дальность его полета не превышает 1 км, а продолжительность – 25 минут. Каждый PD-100 Black Hornet оснащен тремя видеокамерами. Серийный выпуск этих беспилотников начался в 2012 году, военное ведомство Англии закупило 160 комплектов PD-100 Black Hornet за 31 млн долларов. Данные дроны применялись в Афганистане.

Сегодня самым массовым дроном армии является RQ-11 Raven, который может подниматься на высоту до 5 км. Электрический двигатель дрона обеспечивает ему скорость до 95 км/ч, в воздухе RQ-11 Raven может находиться от 45 минут до одного часа. На беспилотнике установлена цифровая видеокамера дневного или ночного видения, аппарат запускается с руки, он не нуждается в специальной площадке для приземления. Аппарат может летать по заданному маршруту автоматически, ориентируясь на сигналы GPS, или управляться оператором. Данный беспилотник находится на вооружении более десяти стран мира. «Дозор-85». Этот разведывательный беспилотник прошел испытания в 2007 году, годом позже была заказана первая

партия из 12 машин. БПЛА разработан специально для пограничной службы. Он имеет массу 85 кг, может находиться в воздухе 8 часов.

На вооружении российской армии находится БПЛА «Форпост». Это лицензионная копия израильского Searcher 2. Данные аппараты были разработаны в середине 90-х, так что их сложно назвать современными. «Форпост» имеет взлетную массу около 400 кг, дальность полета 250 км, оснащен системой спутниковой навигации и телевизионными камерами [4].

Что дальше? Существует несколько наиболее перспективных направлений развития беспилотных летательных аппаратов. Одним из таких направлений (*Optionally Piloted Vehicles*) является создание комбинированных аппаратов, которые можно использовать как в пилотируемой модификации, так и в беспилотной.

Другой тенденцией является уменьшение размеров ударных БПЛА и создания для них более миниатюрных видов управляемого вооружения. Такие аппараты дешевле и в изготовлении, и в эксплуатации. Отдельно следует упомянуть о дронах-камикадзе, способных барражировать над полем боя, а после обнаружения цели по команде оператора пикировать на нее. Подобные системы разрабатывают и для нелетального оружия, которое должно мощным электромагнитным импульсом выводить из строя вражескую электронику. Интересной идеей является создание большой группы (роя) боевых дронов, которые бы совместно выполняли какую-либо миссию. Беспилотники, входящие в подобную группу, должны уметь обмениваться информацией и распределять задачи между собою. Функции могут быть абсолютно разными: от сбора информации, до атаки на объект или подавления вражеских РЛС.

Довольно пугающей выглядит перспектива появления полностью автономных беспилотных аппаратов, которые будут самостоятельно находить цели, идентифицировать их и принимать решение об их уничтожении. Подобные разработки ведутся в несколько странах и находятся на завершающих этапах. Также сейчас проводятся работы над возможностью дозаправки БПЛА в воздухе.

#### Список использованных источников

1. Ганин С. М., Карпенко А. В., Колногоров В. В., Петров Г. Ф. Беспилотные летательные аппараты. М. ; СПб.: Невский бастион, 1999. С. 30–62.
2. Авиация и время. 2007. № 2. 44 с.
3. Электронный журнал rusnauka. URL: [http://www.rusnauka.com/16\\_NTP\\_2008/Tecnic/34039.doc.htm](http://www.rusnauka.com/16_NTP_2008/Tecnic/34039.doc.htm)
4. Военные беспилотники. URL: <http://www.airwar.ru/enc/bpla/pchela.html>

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом исторических наук, доцентом Мосеевым В. И., СПбГУТ.*

УДК 623.61

И. С. Решетова (студентка, СПбГУТ)

## ОЦЕНКА СКРЫТНОСТИ ВОЕННЫХ СИСТЕМ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СВЯЗИ

*Актуальность статьи обуславливает то, что скрытность является важнейшей составляющей помехозащищенности. В представленной статье рассмотрена энергетическая, временная и пространственная скрытность военных систем радиорелейной связи. Приведены основные параметры и характеристики аппаратуры, от которых зависит каждая из них. Оценены возможности и методы её повышения.*

*военная связь, радиорелейная связь, скрытность.*

В условиях современного боя противник в первую очередь стремится уничтожить систему управления войсками. Система связи является подсистемой управления войсками, поэтому при ведении боя и при подготовке к нему необходимо обеспечить её устойчивость, непрерывность, оперативность и скрытность.

Проведём оценку скрытности военных систем радиорелейной связи.

Под скрытностью системы связи понимают показатель, характеризующий вероятность обнаружения ее работы и измерения основных параметров излучаемого радиосигнала. Именно скрытность в большей степени определяет защищенность системы радиорелейной связи от преднамеренных помех. Различают энергетическую, временную и пространственную скрытность.

Энергетическая скрытность связана с обнаружением спектра излучаемого сигнала. При этом дальность обнаружения (разведки) сигналов при заданном отношении сигнал/шум с некоторым приближением оценивается формулой:

$$D_p \approx \frac{\lambda}{4\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{P_{с.эқв}}{P_{пр.эқв} \cdot q^2} - K_{н.п} \cdot K_{п.э}\right)},$$

где  $\lambda$  – длина волны (м);  $P_{с.эқв}$  – эквивалентная мощность передатчика системы радиосвязи (СРС) (Вт);  $P_{с.эқв} = P_{пер} \cdot G_{пер}$ ;  $P_{пер}$  – мощность передатчика СРС (Вт);  $G_{пер}$  – КНД антенны СРС на станцию радиотехнической разведки (РТР);  $P_{пр.эқв}$  – эквивалентная чувствительность приемника станции РТР (Вт);  $P_{пр.эқв} = \frac{P_{пр.}}{G_{пр.}}$ ;  $P_{пр.}$  – предельная чувствительность приемника станции РТР (Вт);  $G_{пр.}$  – КНД антенны приемника станции РТР в направлении

на передатчик СРС;  $q^2$  – отношение сигнал-шум на входе приемника станции РТР, при котором обеспечиваются заданные вероятности обнаружения сигналов СРС  $P_d$  и ложной тревоги  $P_f$ ;  $K_{н.п}$  – коэффициент несовпадения поляризаций входного сигнала и антенны приемника станции РТР;  $K_{п.э}$  – коэффициент передачи энергии по антенно-фидерному тракту приемника станции РТР.

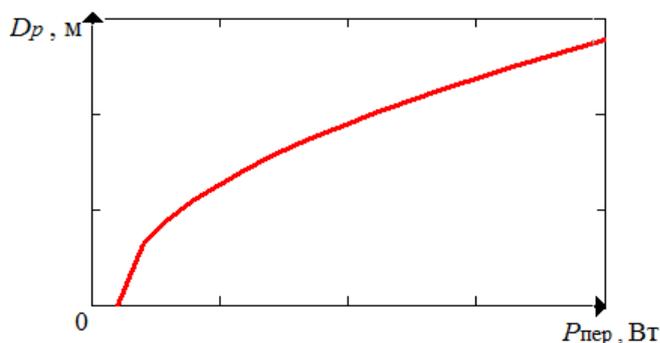


Рис. 1. Зависимость дальности обнаружения сигналов радиосвязи от мощности передатчика

Таким образом, несложно заметить, что основным параметром, регулирующим значение энергетической скрытности, будет мощность передатчика радиорелейной станции. На рис. 1 представлена зависимость дальности обнаружения сигналов от мощности передатчика станции.

Регулировка мощности передатчика осуществляется выставлением минимальной мощности станции на излучение, при которой обеспечивается передача сигнала с требуемым отношением сигнал/помеха.

Помимо регулировки мощности передатчика энергетическая скрытность в системах радиорелейной связи (РРС) достигается путем применения шумоподобного сигнала (ШПС).

Временная скрытность РРС определяется временным интервалом, необходимым для сбора информации о СРС, которая включает совокупность данных о виде и параметрах сигналов, назначении и режимах работы станции. Вероятность получения станцией РТР  $P$  информации о СРС за среднее время  $\bar{t}_d$  может быть определена и выражения:

$$P(\Delta\bar{t}_c) = 1 - e^{-\bar{\Omega} \cdot \bar{t}_d},$$

где  $-\bar{\Omega}$  – средняя частота совпадения потоков;  $\bar{\Omega} = \bar{\Omega}_p \bar{\Omega}_c (\Delta\bar{t}_p + \Delta\bar{t}_c)$ ;  $\bar{\Omega}_c, \Delta\bar{t}_c$  – средняя частота и длительность включения СРС на излучение;  $\bar{\Omega}_p, \Delta\bar{t}_p$  – средняя частота и длительность пребывания СРС в диаграмме направленности антенны станции РТР; для подвижных станций РТР параметр  $\bar{\Omega}_p$  численно равен средней частоте их появления в зоне разведки СРС;  $\bar{t}_d$  – среднее время, за которое происходит совпадение импульсов двух потоков.

Совпадение потоков излучений СРС и станции РТР для наглядности и понимания изображено на рис. 2.

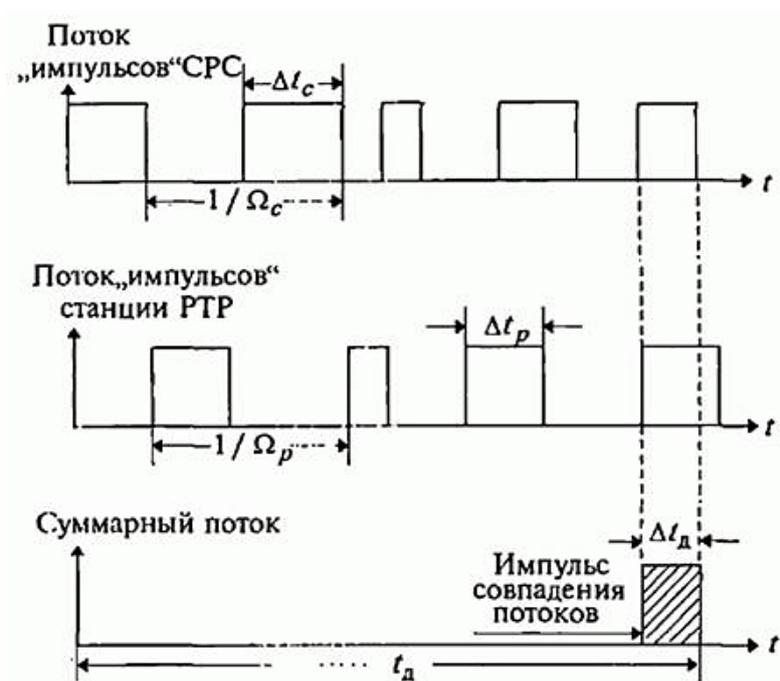


Рис. 2. Совпадение потоков «импульсов» станции СРС и РТР

Тогда зависимость для среднего времени сбора станцией РТР данных о СРС принимает вид:

$$\bar{t}_d = \frac{1}{\bar{\Omega}_p \bar{\Omega}_c (\Delta \bar{t}_p + \Delta \bar{t}_c)} \cdot \ln[1 - P]$$

при условии, что носитель станции РТР находится в пределах дальности действия передатчика СРС.

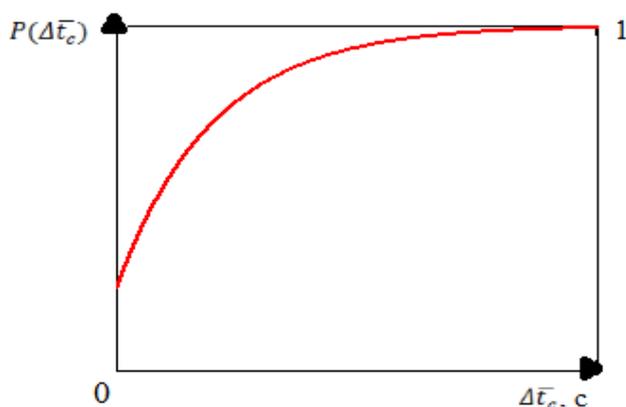


Рис. 3. Зависимость вероятности получения станцией РТР информации о СРС от длительности включения РРСт на излучение

Основным параметром, который мы можем регулировать для достижения временной скрытности, является длительность включения станции на излучение. Зависимость вероятности получения станцией РТР информации о СРС от длительности включения радиорелейной станции (РРСт) на излучение представлена на рис. 3.

Таким образом, с увеличением длительности включения РРСт на излучение вероятность получения станцией РТР информации о СРС будет стремиться к единице. Отсюда следует, что временная скрытность достигается путем сокращения

времени излучения сигнала, а также программной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ) радиорелейной станции.

Пространственная скрытность СРС характеризуется точностью определения направления прихода радиосигнала и местоположения СРС при заданном отношении сигнал/шум. Пространственная скрытность СРС может быть оценена радиусом зоны  $R_M$ , в пределах которой с заданной вероятностью  $P_M$  может находиться разведываемая СРС:

$$R_M = \sigma_{R_M} \sqrt{-\ln(1 - P_M)},$$

где  $\sigma_{R_M}$  – среднеквадратическая ошибка измерения местоположения СРС, которая зависит от метода определения местоположения СРС и условий ведения РТР.

Из формулы видно, что с уменьшением радиуса предполагаемой зоны нахождения нашей станции, среднеквадратичная ошибка измерения местоположения СРС пропорционально убывает. При обеспечении высоких показателей энергетической и временной скрытности будет увеличиваться значение пространственной скрытности, так как она связана в первую очередь с обнаружением сигнала и только потом с определением направления его излучения.

Высокие показатели пространственной скрытности достигаются сужением диаграмм направленности передающих антенн, снижением уровня их боковых лепестков. Помимо этого, при работе передающих систем учитывается предполагаемое местонахождение разведывательных приемников и исключается по возможности излучение в их направлении.

Таким образом, чтобы достигнуть требуемого значения помехоустойчивости военных систем РРС при условии воздействия преднамеренных помех противника, внедрения им ложной информации и в условиях её перехвата, а также в условиях уничтожения противником системы связи, необходимо обеспечить одновременно хорошие показатели временной, энергетической и пространственной составляющей скрытности.

#### Список использованных источников

1. Борисов В. И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. М.: Радио и связь, 2000. 384 с.
2. Соломатин С. Б., Семашко П. Г., Мартинович А. В., Ходыко Д. Л. Методы и средства радиоэлектронной защиты информации. Минск: БГУИР, 2009. 80 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Сагдеевым А. К., СПбГУТ.*

**УДК 004.71****Д. В. Рыжаков, А. А. Шевченко, А. О. Широков, С. О. Широков**  
(студенты, СПбГУТ)**ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ  
ЛИНИЙ СВЯЗИ В РЕГИОНАХ С РАЗЛИЧНЫМИ  
КЛИМАТИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ**

*В работе оценивается возможность применения технологии атмосферных оптических линий связи для цифровой передачи данных в различных климатических условиях с целью определения наиболее благоприятного района для применения рассматриваемой технологии.*

*атмосферные оптические линии связи, бюджет линии, FSO.*

В настоящее время использование атмосферных оптических линий связи (АОЛС) является наиболее перспективной в области телекоммуникаций, связанной с передачей цифровых потоков со скоростями до терабит в секунду, а также выступать в качестве аппаратуры каналообразования. На данном этапе развития данная технология позволяет обеспечивать передачу цифровых потоков до 10 Гбит/с. Несмотря на все достоинства данная технология имеет ряд значительных недостатков: строгий лимит по расстоянию, необходим качественный монтаж оборудования, зависимость от погодных условий. Основным из представленных недостатков являются погодные условия. В работе проанализировано два региона с различными климатическими условиями: город Санкт-Петербург и город Кисловодск, с целью установить, как сильно зависит функционирование атмосферных оптических линий связи (АОЛС) от погодных условий.

Город Санкт-Петербург характеризуется следующими погодными характеристиками: умеренный и влажный, переходный от континентального к морскому. Для данного региона характерна частая смена воздушных масс, обусловленная в значительной степени циклонической деятельностью. Среднегодовое количество осадков высокое, высокая облачность.

Город Кисловодск характеризуется благоприятным климатом. Климат умеренно-континентальный с большим количеством солнечных дней. В среднем за год количество исключительно ясных дней в Кисловодске составляет около 150. Среднегодовое количество осадков среднее, осадки характеризуются кратковременностью, большая часть из них выпадает весной, в начале лета.

Для расчета бюджета потерь и дальнейшего анализа АОЛС с учетом влияния погодных условий для выбранных регионов приведена следующая методика [1, с. 16].

Ключевым параметром при разработке линий FSO является расчет бюджета линии. Запас на линии  $M_{link}$  (дБ), который представляет собой доступную мощность, превышающую чувствительность приемника, рассчитываем из уравнения (1):

$$M_{link} = P_e - S_r - A_{geo} - A_{atmo} - A_{scintillation} - A_{system}, \quad (1)$$

где  $P_e$  (дБм) – общая мощность излучателя;  $S_r$  (дБм) – чувствительность приемника, которая также зависит от ширины полосы (скорости передачи данных);  $A_{geo}$  (дБ) – геометрическое ослабление линии из-за рассеивания передаваемого луча с увеличением расстояния;  $A_{atmo}$  (дБ) – ослабление в атмосфере из-за поглощения и рассеяния;  $A_{scintillation}$  (дБ) – ослабление из-за турбулентности атмосферы;  $A_{system}$  (дБ) – представляет все остальные потери в системе.

Одним из факторов для оптимальной работы системы является ее правильный монтаж, так как даже при ясной погоде луч расходится и, в результате, детектор принимает сигнал меньшей мощности. Ослабление из-за рассеивания передаваемого луча с увеличением расстояния называется геометрическим ослаблением, и оно вычисляется по следующей формуле:

$$A_{geo}(\text{дБ}) = 10 \log_{10} \left( \frac{S_d}{S_{capture}} \right), \quad (2)$$

где  $S_{capture}$  – поверхность захвата приемника ( $\text{м}^2$ );  $S_d$  – площадь поверхности луча передачи на расстоянии  $d$ , которая аппроксимируется формулой

$$S_d = \frac{\pi}{4} (d \cdot \theta)^2,$$

где  $\theta$  – угол расхождения луча (мрад);  $d$  – расстояние между излучателем и приемником (км);  $A_{atmo}$  (дБ) – ослабление в атмосфере из-за поглощения и рассеяния.

Первым по значимости фактором, влияющем на функционирование системы, является внешняя среда, а именно поглощения и рассеяния в атмосфере, последовательно рассмотрим их далее.

Основным фактором является специфическое ослабление в атмосфере из-за поглощения и рассеяния  $\gamma_{atmo}$ . Специфическое ослабление в атмосфере  $\gamma_{atmo}$  (дБ/км) можно записать в виде суммы двух слагаемых:

$$\gamma_{atmo} = \gamma_{clear\_air} + \gamma_{excess}, \quad (3)$$

где  $\gamma_{clear\_air}$  – специфическое ослабление в условиях чистого воздуха (из-за наличия газов);  $\gamma_{excess}$  – специфическое ослабление из-за возможного наличия тумана, водяных брызг, дымки, измороси, дождя, снега, града и т. п.

Обычно, длины волн лазера выбираются так, чтобы они попадали в атмосферные окна передачи, поэтому величина  $\gamma_{clear\_air}$  является незначительной и в дальнейших расчетах учитываться не будет.

Далее рассмотрено дополнительное специфическое ослабление. Наличие частиц в атмосфере приводит к угловому перераспределению падающего светового потока, которое называется рассеянием, и уменьшает дальность распространения потока в заданном направлении. Данное специфическое ослабление определяется по формуле:

$$\gamma_{excess} = \gamma_{fog} + \gamma_{rain} + \gamma_{snow}, \quad (4)$$

где 1)  $\gamma_{fog}$  – ослабление в тумане (дБ/км), определяемое формулой:

$$\gamma_{fog} = \frac{3,91}{V} \left( \frac{\lambda}{550\text{нм}} \right)^{-q},$$

где:  $V$  – видимость (км);  $\lambda$  – длина волны (нм);  $q$  – коэффициент, зависящий от распределения размеров рассеивающих частиц. Он определен на основании данных экспериментов и имеет значения:

$$\begin{aligned} q &= 1,6 & V > 50 \text{ км} \\ q &= 1,3 & 6 \text{ км} < V < 50 \text{ км} \\ q &= 0,585V^{1/3} & V < 6 \text{ км} \end{aligned}$$

2)  $\gamma_{rain}$  – ослабление в дожде (дБ/км), определяемое соотношением [2, с. 23]:

$$\gamma_{rain} = k \cdot R^\alpha,$$

где  $R$  – интенсивность дождя  $R(p)$  (мм/ч);  $k$  и  $\alpha$  – коэффициенты дождя и определяются с учетом климатических особенностей исследуемого региона;

3)  $\gamma_{snow}$  – ослабление в снеге (дБ/км), описывается следующим соотношением:

$$\gamma_{snow} = \alpha \cdot S^b,$$

где  $S$  – интенсивность снегопада (мм/ч);  $\alpha$  и  $b$  – функции от длины волны  $\lambda$  (нм). Оценочные значения для мокрого и сухого снега приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Параметры, используемые для оценки ослабления в снеге [3, с. 34]

	$\alpha$	$b$
Мокрый снег	$0,000102\lambda + 3,79$	0,72
Сухой снег	$0,0000542\lambda + 5,50$	1,38

Второй по значимости атмосферный процесс, влияющий на качество лазерных систем связи – обусловленное турбулентностью атмосферное мерцание, которое приводит к заметным колебаниям мощности принимаемого сигнала.

Для плоской волны и слабой турбулентности изменение мерцания  $\sigma_{\chi}^2$  (дБ<sup>2</sup>) может быть выражено следующим соотношением:

$$\sigma_{\chi}^2 = 23,17 \cdot k^{7/6} \cdot C_n^2 \cdot L^{11/6}, \quad (5)$$

где  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  – номер волны, (м<sup>-1</sup>);  $L$  – протяженность линии связи, (м);  $C_n^2$  – структурный параметр индекса рефракции (м<sup>-2/3</sup>).

На оптических частотах значение  $C_n^2$  примерно равно  $2 \times 10^{-15}$  м<sup>-2/3</sup> при слабой турбулентности, обычно, на оптических частотах  $C_n^2$  принимает значение от  $10^{-16}$  до  $10^{-13}$  м<sup>-2/3</sup>).

Принимая во внимание вышеприведённые выражения и упрощения, уравнение для запаса на линии (1) преобразуется следующим образом:

$$M_{link} = P_e - S_r - A_{system} - A_{geo} - \gamma_{fog} \cdot d - \gamma_{rain} \cdot d - \gamma_{snow} \cdot d. \quad (6)$$

Для исследуемого региона с учетом климатических особенностей и характеристик оборудования компании «Мостком» ARTOLINK модель M1 FE-R численно определены основные характеристики уравнения (6):

ТАБЛИЦА 2. Полученные теоретические значения основных параметров для выбранных регионов

Параметр	г. Кисловодск	г. Санкт-Петербург
$\gamma_{fog}$ , дБ <sub>м</sub>	4,87	10,69
$\gamma_{rain}$ , дБ <sub>м</sub>	7,85	10,4
$\gamma_{snow}$ , дБ <sub>м</sub>	4,87	6,18
$A_{system}$ , дБ <sub>м</sub>	15	18
$A_{geo}$ , дБ <sub>м</sub> при $S_{capture} = 72 \text{ см}^2$	16,8	16,8
$P_e$ , дБ <sub>м</sub>	17	17
$S_r$ , дБ <sub>м</sub>	-30	-30

На основе полученных результатов возможно сделать вывод о том, что применение технологии АОЛС с выбранным оборудованием в Санкт-Петербурге невозможно, в связи с большими потерями, вызванными климатическими условиями, решение данной проблемы возможно только с использованием более дорого оборудования, что является экономически невыгодным. Для города Кисловодск, наоборот, даже с учетом выбранного оборудования возможно обеспечить надежную связь при оптимальном расстоянии между терминалами:  $d = 1$  км.

#### Список использованных источников

1. Рекомендация МСЭ-R P.1814.
2. Рекомендация МСЭ-R P.1817.
3. Рекомендация МСЭ-R P.837-5.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Стахеевым И. Г., СПбГУТ.*

#### УДК 003.295.1

**Д. В. Рыжак**, **С. О. Широков** (студенты, СПбГУТ)

#### ДЕКОДЕР АЗБУКИ МОРЗЕ В СРЕДЕ MATLAB

*В работе представлен декодер кода Морзе, построенный на основе программы, разработанной в среде MATLAB. Возможности программы заключаются в декодировании поступающего сигнала, загруженного в формате tr3, tr4, wav, в буквенные последовательности. Декодирование возможно в буквенные последовательности как русского, так и латинского алфавита.*

*азбука Морзе, декодер, код Морзе.*

Азбука Морзе (рис. 1) – способ знакового кодирования, представление букв алфавита, цифр, знаков препинания, и других символов последовательностью сигналов: длинных («тире») и коротких («точек»). За единицу времени принимается длительность одной точки. Длительность тире равна трём точкам. Пауза между элементами одного знака – одна точка, между знаками в слове – 3 точки, между словами – 7 точек.

Существует немало количество способов декодирования Азбуки Морзе. В подавляющем большинстве случаев – это технические средства преобразования сигнала в текст. И в частном случае – это программные обеспечения, написанные на различных языках программирования и в различных средах. Код Морзе был и остается наиболее надежным способом для

передачи сообщения, именно поэтому так велика важность его применения и разработка новых методов обработки. На данный момент известно множество различных реализаций декодера кода Морзе в текст, представленных в различных средах с использованием различных программных обеспечений [1, с. 24]:

1. Простота реализации;
2. Распознавание разных форматов сообщений;
3. Повсеместное использование и легкий доступ к программному обеспечению.

А .-	Б -...	В .-.-	Г -.-.	Д -...-	Е .
Ё .	Ж ...-	З -...-	И ..	Й .-.-.-	К -.-
Л .-...-	М -.-	Н -..	О -.-.-	П .-.-.	Р .-.-.
С ...-	Т -	У ...-	Ф ...-	Х ....	Ц -.-.-.
Ч -.-.-.	Ш -.-.-.-	Щ -.-.-.-	Ъ .-.-.-.-	Ы .-.-.-.-	Ь -.-.-.-
Э ...-.-	Ю ...-.-	Я .-.-.-	Азбука Морзе		

Рис. 1. Азбука Морзе

Основная идея данного метода состоит в работе непосредственно с синусоидальным сигналом. Его разложению и преобразовании. Рассмотрим поэтапно преобразование аудиосигнала. Программа различает три формата аудиодорожек: mp3, mp4, wav.

Входной сигнал (после удаления начального участка, записывается только в момент приема, после того убираем помехи). Запись эфира может искажаться, и в запись попадает часть ненужного текста (или обрывки букв, их мы удаляем).

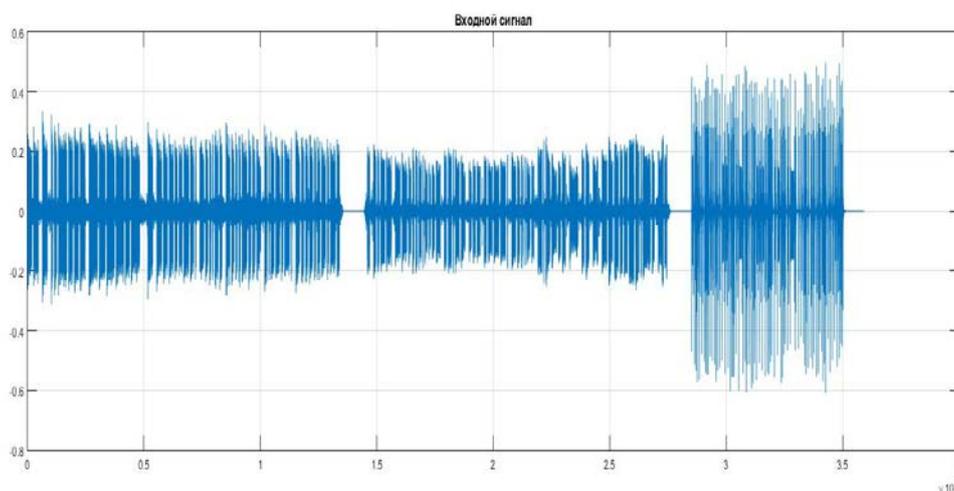


Рис. 2. Входной сигнал

Звуковая дорожка, выбрали часть сигнала после удаления сигнала. Часть аудиосигнала. Видно тире (примерно, в 3 раза больше) и две точки.



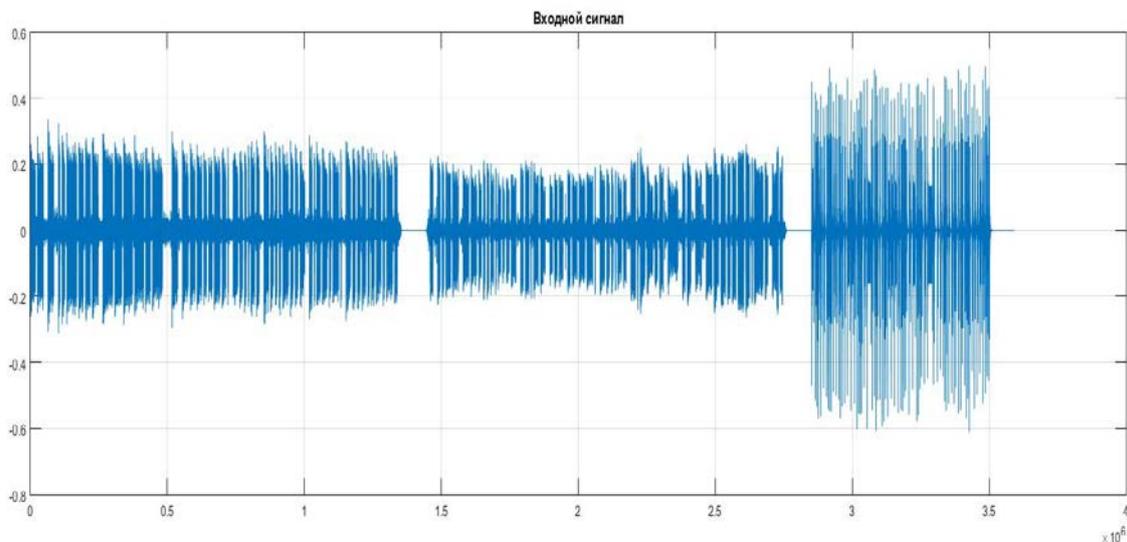


Рис. 6. До преобразования

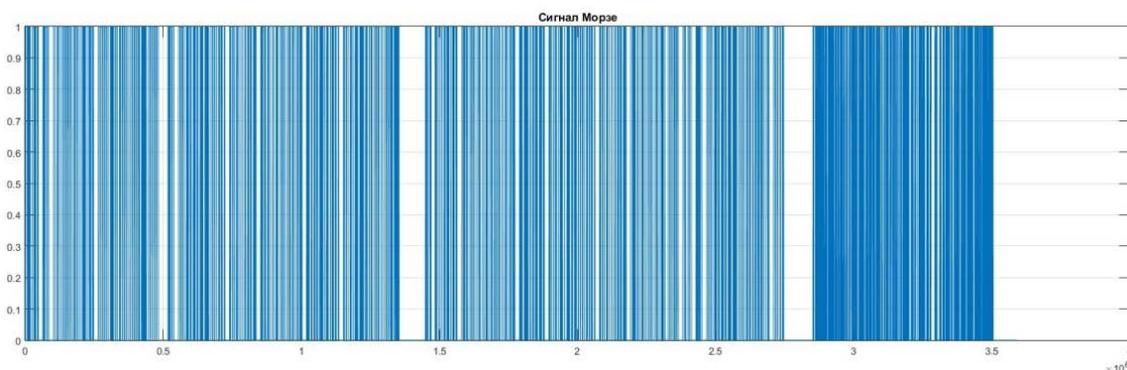


Рис. 7. После преобразования

Программа распознает длительности интервалов, заданных изначально, и на основе этих данных формирует последовательности из точек и тире, коротким и широким интервалам соответственно [3, с. 89].

Таким образом, в работе рассмотрен принцип работы декодера кода Морзе, спроектированный в среде Matlab, представлены его преимущества, а также приведены этапы преобразования сигнала на каждом этапе.

#### Список использованных источников

1. Ануфриев И. Е. Самоучитель MatLab. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 736 с.
2. Дьяконов В. П. MatLab+Simulink. Основы программирования. М.: СОЛОН-Пресс, 2005. 800 с.
3. Чен К., Джиглин П., Ирвинг А. MatLab в математических исследованиях. Учебное издание, Пер. с англ. М.: Мир, 2001. 346 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Сагдеевым А. К., СПбГУТ.*

**УДК 654.1****А. А. Суюндукова** (студентка, СПбГУТ)**МОНИТОРИНГ ВСЕМИРНОГО РЫНКА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ  
4G-СРАВНЕНИЕ И АНАЛИЗ**

*С появлением сети 4G человечеству открылся мир доступного и высокоскоростного интернета благодаря ее усовершенствованной технологии. Динамику распространения 4G можно рассмотреть по двум критериям – скорость подключения и доступность. Изучив всемирный рынок потребителей, Россия на данный момент не занимает лидирующие места. На это есть ряд причин. Развитие технологий ускорит внедрение данной сети на российском потребительском рынке.*

*сеть 4G, интернет, LTE, скорость подключения, доступность, частота расположения станций, территориальный охват, гаджеты, операторы связи, производители смартфонов, рефарминг, монополизация, мощность сети.*

Сектор телекоммуникаций на сегодняшний день наиболее динамичная и перспективная сфера экономики, без развития которой мы не представляем современную жизнь. С появлением глобальной сети Интернет, которая подарила безграничные возможности, человеку открылся невероятный объем информации. После – люди сразу стали нуждаться в скоростном доступе к Интернету. Не так давно мы удивлялись и радовались появлению возможностям 3G, как в 2012 году нам предложили еще более усовершенствованную, модернизированную технологию 4G (LTE) (*Long Term Evolution*). Она представляет собой перспективное (четвертое) поколение мобильной связи с повышенным качеством голосовой связи, скорость передачи данных которой превышает 100 Мбит/с подвижным абонентам и 1 Гбайт/с стационарным.

Впервые коммерческая сеть 4G (LTE) была запущена в Швеции телекоммуникационной компанией TeliaSonera совместно с Ericsson. По различным источникам, в 2013 году насчитывалось 150–230 млн абонентов LTE. Наибольшее количество, чуть больше половины, абонентов находились в Северной Америке, 39 % – развитые страны Азиатско-Тихоокеанского региона (Япония, Южная Корея)<sup>1</sup>. В России 4G сеть для абонентов впервые появилась в 2012 году благодаря оператору «Мегафон» на скорости до 150 Мбит/с.

На мой взгляд, интересно проанализировать сложившуюся ситуацию в мире, связанную с развитием и внедрением 4G.

Выбрано два критерия – скорость подключения, доступность.

На диаграмме (рис. 1) представлены средние значения скорости, которые пользователи видят, подключаясь к сети 4G. Лидирующее место занял

<sup>1</sup> По мнению великобританского агентства OpenSignal.

Сингапур – 45,86 Мбит/с, второе место Южная Корея – 45,77 Мбит/с, замыкает тройку Венгрия – 40,61 Мбит/с. Этому способствуют ряд факторов, например, развитие LTE, LTE Advanced, частота расположения станций, количество перезагрузок в сети [1].

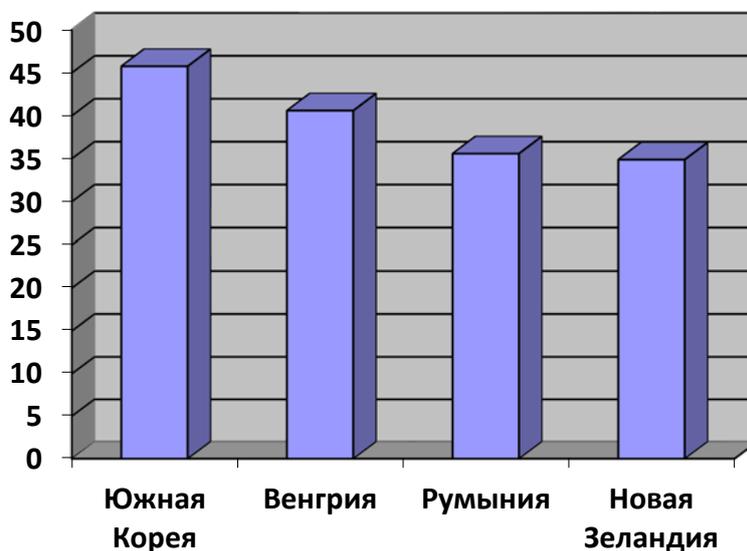


Рис. 1. Диаграмма. Пятёрка стран с наиболее высокими скоростями

Вторым критерием является доступность. Лидер по данному признаку стала Южная Корея – 95,71 %, Япония – 92,03 %, Литва – 84,73 %. При оценивании данного критерия учитывалось территориальный охват (внутри страны), временной интервал, когда люди беспрепятственно могут воспользоваться сетью. То есть доступность заключается в широте (площади) покрытия. На мой взгляд, причины развития данных стран заключаются в уровне экономического развития страны; научно-техническом, интеллектуальном потенциале; государственном регулировании и др. (рис. 2) [2].

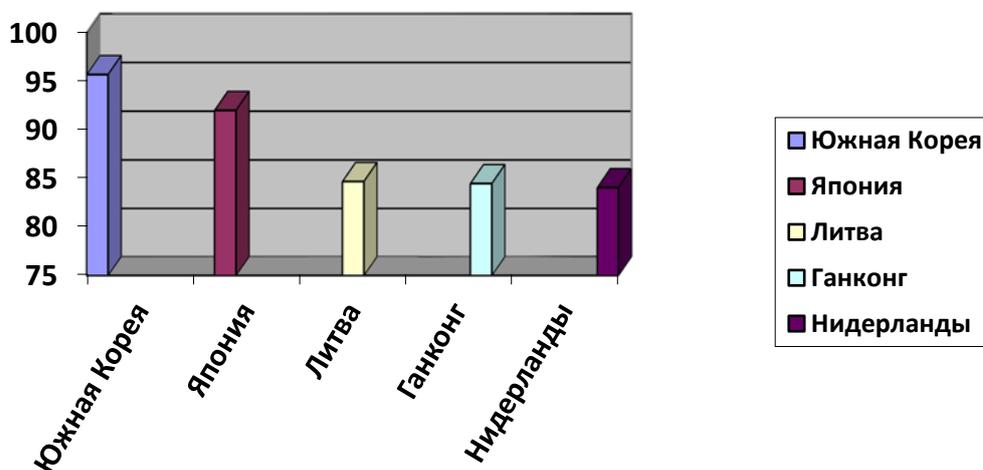


Рис. 2. Сравнение доступности 4G

К сожалению, Россия не занимает лидирующие места по данным критериям, на, то есть причины [4]:

- Неприспособленность гаджетов для российских частот LTE (на данный момент около 20 моделей смартфонов и планшетов поддерживают данный диапазон);
- Отсутствие синтеза в работе производителей смартфонов и операторов связи;
- Невозможность проведения рефарминга (необходимо расчистить выделенные новые диапазоны частот LTE – 2 600 и 800 МГц, многие из которых заняты гос. службами и коммерческими компаниями)
- Низкий уровень экономического развития в данной сфере (ограниченный бюджет, недостаточность инвестиций в данную сферу, отсутствие развитой инфраструктуры);
  - Монополизация рынка (слабая конкуренция, рынок «контролируют» операторы «большой тройки» – МТС, Мегафон, ВымпелКом(Билайн));
  - Слабое развития научно-технической базы в сфере сети;
  - Законодательно-правовые ограничения (регулирование рефарминга, дополнительные ограничения операторов, связанные с внедрением LTE сетей);
- Географические особенности (трудности в установке станций, прокладке сетей).

На сегодняшний день во многих странах 4G более распространённая сеть, чем 2G, 3G. При этом скорость исследуемой сети только увеличивается, т. к. многие операторы добились повышения мощности сети и приняли новейшие технологии LTE-Advanced. Россия, решив ряд проблем, связанных с внедрением данной сети на потребительский рынок, через несколько лет может ожидать широкое распространение сети LTE, а также повышения скорости передачи данных, что приведет к здоровой конкуренции с крупными мировыми державами [3].

Все данные взяты из отчета аналитическое агентство OpenSignal «Государство LTE» (за ноябрь 2016 года).

#### Список использованных источников

1. Отчет аналитического агентства OpenSignal «Государство LTE» (за ноябрь 2016 года).
2. <http://mediasat.info/2016/11/17/countries-fastest-4g-lte/>
3. 4G LTE – новый технологический прорыв // Комсомольская правда. 9–16 февраля 2017 года.
4. [http://json.tv/ict\\_telecom\\_analytics\\_view/seti-4g-lte-i-perspektivy-poyavleniya-i-razvitiya-setey-mobilnoy-svyazi-pyatogo-pokoleniya-5g](http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/seti-4g-lte-i-perspektivy-poyavleniya-i-razvitiya-setey-mobilnoy-svyazi-pyatogo-pokoleniya-5g)
5. <http://expert.ru/northwest/2013/47/4g-nikuda-ne-speshit/>

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Сагдеевым А. К., СПбГУТ.*

**УДК 004.7**

**Д. М. Шадрин, Е. С. Нуштаев** (операторы научной роты, ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного)

## **ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СЕТЯХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*В статье рассматривается построение автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов, состоящей из устройства сбора и передачи данных, преобразователя сигнала и линии связи, сервера, базы данных, интерфейса пользователя. Также показывается значимость подобной системы для обеспечения постоянного контроля ресурсопользования и энергосбережения.*

*автоматизированная система контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ), инфокоммуникационная сеть, устройства сбора и передачи данных.*

В настоящее время достаточно остро стоит проблема оперативного контроля потребления ресурсов. Министерство обороны устанавливает новые правила ресурсопользования и энергосбережения, что требует постоянного наблюдения за расходом электроэнергии, тепловой энергии и воды. Однако, в большинстве воинских частей учёт расхода ведётся разрозненно, несистематично, а зачастую даже с искажением реальных данных. Чтение показаний производится вручную посредством обхода всех приборов учёта, что приводит к значительным потерям времени. Все эти факторы приводят к неправильному учёту потребления. Допущенные ошибки нарушают процесс управления планированием запаса ресурсов, затрудняется работа служб войск, что в конечном итоге приводит к снижению обороноспособности всей страны.

Для решения данной проблемы создаются автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ). Они, как правило, представляют собой некоторую распределенную инфотелекоммуникационную сеть, образованную специально разработанным программно-аппаратным комплексом. Такой комплекс представляет собой одно или несколько устройств, объединенных общей сетью для единого управления сервером и обмена с ним данными. Автоматизированная сеть учета строится по принципу строгой иерархии и обладает несколькими уровнями, что позволяет легко вносить конструктивные и программные изменения в систему, проводить сервисные и служебные работы, а также диагностику и испытания отдельных узлов сети.

Такие системы предназначены для выполнения следующих задач:

- автоматизация и контроль за фактическим потреблением электроэнергии, тепловой энергии и расхода воды по каждому объекту;
- внедрение достоверного учета фактических потерь ресурсов и реализация программ по их снижению;
- прозрачность, полнота и оперативность взаимодействия с пользователями;
- повышение скорости и качества принимаемых управленческих решений в области энергосбережения и сокращения совокупных издержек за счет аналитических возможностей системы.

В табл. приведён состав самой простой АСКУЭ, которую можно представить в виде иерархической структуры, состоящей из трех уровней (табл.).

ТАБЛИЦА. Уровни образования автоматизированной системы контроля за потреблением ресурсов

1 уровень	УСПД – устройство сбора и передачи данных
2 уровень	Преобразователь сигнала (конвертер интерфейсов) и линии связи
3 уровень	Сервер, база данных, интерфейс пользователя

Как правило, УСПД представляет собой цифровой счётчик потребления того или иного ресурса, оснащённый не только традиционным визуальным индикатором расхода для ручного пользования (циферблат или ЖК-дисплей), но и цифровыми интерфейсами для передачи данных во внешние системы. Многие модели счётчиков оснащаются сразу несколькими интерфейсами для различных сред передачи данных для возможности интеграции с большим кругом АСКУЭ. Благодаря использованию сертифицированных счётчиков, прошедших поверку и имеющих необходимые сертификаты, обеспечивается высокая достоверность данных.

Преобразователь сигнала требуется в тех случаях, когда имеющиеся у УСПД интерфейсы не могут быть напрямую использованы в используемой АСКУЭ по тем или иным причинам. В некоторых случаях, преобразователи сигналов не требуются и УСПД могут напрямую соединяться с сервером.

Сервер является ключевой фигурой АСКУЭ, поскольку именно он выполняет опрос УСПД, собирает и хранит полученные данные. Сервер включает в себя модуль сбора данных через различные интерфейсы, модуль хранения (базу данных) и модуль взаимодействия с пользователями (пользовательский интерфейс). В целях повышения отказоустойчивости системы, может применяться несколько серверов, объединённых в кластер.

Операторы АСКУЭ работают с системой на своих АРМ, которые обмениваются информацией с сервером.

На рис. изображен пример простейшей схемы инфотелекоммуникационной сети контроля и мониторинга потребления энергоресурсов, где отчётливо видно разделение на уровни.



Рисунок. Простейшая схема распределенной сети автоматизированного мониторинга и контроля

Сервер в установленное время формирует и отправляет запрос к УСПД на чтение показаний и прочих требуемых параметров. Запрос через конвертер интерфейсов поступает на УСПД, обрабатывается, после чего УСПД формирует ответ с данными и отправляет его обратно. Информация, поступившая от устройства сбора информации, записывается в базу данных и накапливается там для дальнейшего анализа. Для просмотра текущих и архивных показаний, оператор со своего АРМ обращается к серверу, откуда получает всю необходимую информацию.

Учитывая специфику применения в Вооружённых силах Российской Федерации, АСКУЭ может быть развёрнута и в сетях специального назначения. Благодаря использованию различных адаптеров интерфейсов, существует возможность соединения компонентов системы различными каналами связи, в том числе защищёнными. Многоуровневая иерархия системы, заключающаяся в разделении её на уровни и узлы, позволяет проводить сервисные и служебные работы без разрыва всей сети, а только лишь в изолированном ее участке.

Использование АСКУЭ в воинских частях и иных подразделениях Министерства Обороны позволит улучшить работу служб тыла, повысить скорость и качество принимаемых управленческих решений в области энергосбережения.

#### Список использованных источников

1. Втюрин В. А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. СПб.: изд-во Санкт-Петербургской Государственной Лесотехнической Академии им. С. М. Кирова, 2006. 152 с.
2. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. СПб.: Питер, 2007. 958 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
доктором технических наук, профессором Паращуком И. Б.,  
ВАС им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного.*

УДК 004.896

А. А. Шмидт, А. А. Южакова (студенты, СПбГУТ)

## БИОМЕТРИЯ КАК СПОСОБ АУТЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА

*В данной статье рассмотрены биометрическая система аутентификации, а также статические и динамические методы биометрии. Приведены основные понятия, принципы, достоинства и недостатки биометрической системы. Определены способы аутентификации личности для защиты от несанкционированного доступа на режимном объекте.*

*биометрическая система аутентификации, биометрия, статический метод аутентификации, динамический метод аутентификации.*

В современном мире немаловажным являются обеспечение безопасности автоматизированной системы управления и защита от несанкционированного доступа на режимном объекте.

Вопросы охраны и обнаружения на автоматизированных системах управления представляют собой сложную задачу, которую также можно отнести к задачам распознавания образов [1].

Необходимость в таком распознавании возникает в самых разных областях – от военного дела и систем безопасности до оцифровки аналоговых сигналов.

Распознавание определенных черт человека и доказывание легального пользования системой при их помощи называется биометрической системой аутентификации.

Принцип биометрической системы заключается в сравнении с шаблоном заявленной личности предоставленных ею данных, после чего составляется рейтинг соответствия и осуществляется доступ/отказ в доступе пользователю.

Биометрические данные должны удовлетворять следующим требованиям:

- всеобщность (каждый человек имеет биометрические характеристики);
- уникальность (не существует двух или нескольких людей с одинаковыми физическими параметрами или поведенческими признаками);
- постоянство (биометрические характеристики неизменны во времени);
- измеряемость (биометрические характеристики доступны для измерения каким-либо физическим считывающим устройством);
- приемлемость (общество не должно быть против сбора биометрических параметров).

Биометрические методы аутентификации можно разделить на два вида: статические и динамические [2].

### Статические методы аутентификации

Статическими называются методы, основанные на физиологической характеристике человека, данной ему при рождении и неизменной на протяжении всей его жизни. К ним можно отнести аутентификацию по радужной оболочке глаза, по сетчатке глаза, по отпечаткам пальцев, по геометрии руки, по термограмме лица [3].

- Аутентификация по радужной оболочке глаза.

Аутентификация по радужной оболочке глаза является одним из наиболее эффективным методом распознавания человека [4]. Радужная оболочка состоит из эластичной материи – трабекулярной сети (сетчатое образование, которое сформировывается к концу восьмого месяца беременности). Трабекулярная сеть состоит из углублений, гребенчатых стяжек, борозд, колец, морщин, веснушек, сосудов и других черт. Благодаря такому количеству составляющих «узор» сети довольно случаен. Это позволяет отобрать около 200 точек, что ведёт к большой вероятности верного распознавания человека. Время распознавания занимает несколько секунд.

- Аутентификация по сетчатке глаза.

Аутентификация по сетчатке глаза нашла своё применение в начале 50-х годов прошлого века. Метод стал популярным, так как даже у близнецов узор кровеносных сосудов в сетчатке не совпадал. Для того чтобы пройти регистрацию, достаточно посмотреть в глазок камеры менее минуты. В это время система успевает подсветить сетчатку и получить обратно отраженный сигнал. Для сканирования сетчатки используется инфракрасное излучение низкой интенсивности, направленное через зрачок к кровеносным сосудам на задней стенке глаза. Из полученного сигнала выделяется несколько сотен первоначальных характерных точек, информация о которых усредняется и сохраняется в шаблоне.

- Аутентификация по отпечатку пальца.

Аутентификация по отпечатку пальца (дактилоскопия) является наиболее распространённым и изученным методом распознавания человека. Каждый человек имеет уникальный узор отпечатков пальцев. Алгоритмы распознавания используют около 50–60 характерных точек, таких как окончание линии узора, разветвлении линии, одиночные точки. Дополнительно привлекается информация о морфологической структуре отпечатка пальца: относительное положение замкнутых линий папиллярного узора, «арочных» и спиральных линий. Особенности папиллярного узора преобразовываются в уникальный код, который сохраняет информативность изображения отпечатка. И именно «коды отпечатков пальцев» хранятся в базе данных, используемой для поиска и сравнения. Время распознавания около 1–3 с.

- Аутентификация по геометрии руки.

Аутентификация по геометрии руки основана на сканировании профиля ладони. Данный метод появился и получил распространение в 70-х годах XX века. Кисть руки, помещенная в специальный терминал, сканируется с помощью специального оборудования, которое состоит из камеры и подсвечивающих диодов. Причем при сканировании диоды включаются по очереди, что позволяет получить различные проекции руки. Затем строится трехмерный образ кисти руки. Считывающее устройство, которому таким образом задаётся конкретный образ ладони, производит сравнение оригинала и шаблона, занесённого ранее в память.

Главными достоинствами являются: простота процедуры получения изображения, малый размер шаблона (несколько байт), мала вероятность ошибки из-за большого количества точек сравнения, результат никак не зависит от температуры, влажности, либо загрязнённости, а также простота автоматизации подсчётов ввиду простоты обработки данных.

- Аутентификация по термограмме лица.

Аутентификация по термограмме лица довольно редкий вид аутентификации, основанный на уникальности инфракрасного излучения лица каждого человека. Термографические камеры обнаруживают излучение в инфракрасном диапазоне электромагнитного спектра и на основе этого излучения создают изображения, позволяющие определить перегретые или переохлаждённые места. Использование специальных масок, проведение пластических операций, старение организма человека, температура тела, охлаждение кожи лица в морозную погоду не влияют на точность термограммы.

### **Динамические методы аутентификации**

Динамические методы основаны на анализе особенностей поведения, то есть характерных черт, подсознательно демонстрируемых человеком в процессе воспроизведения какого-либо обыденного действия. Эти методы лишь недавно стали активно применяться и распространяться, так как раньше технологии не позволяли в полной мере организовать и реализовать аутентификацию, основанную на привычках и поведении человека [5].

- Аутентификация по голосу.

Метод аутентификации по голосу является простым в применении и экономически выгодным. Такие системы можно устанавливать с оборудованием (микрофоном), поставляемым в стандартной комплектации со многими компьютерами и мобильными устройствами.

Системы аутентификации по голосу при записи образца и в процессе последующей идентификации опираются на особенности голоса такие как высота, модуляция и частота звука. Эти показатели определяются физическими характеристиками голосового тракта и уникальны для каждого человека.

Основными достоинствами являются дешевизна и простота, а также отсутствие специальных требований к организации.

- Аутентификация по клавиатурному почерку.

Клавиатурный почерк – уникальный для каждого пользователя набор характеристик, присущих только конкретному пользователю, таких как количество пальцев, задействованных при печати, длительность нажатия клавиш и интервал между их нажатиями, использование основной или дополнительной части клавиатуры при вводе цифр и символов, характер одновременных (сдвоенных или строенных) нажатий, излюбленные сочетания «горячих клавиш» при работе с текстовыми редакторами или в интернете.

Для учёта всех вышеперечисленных характеристик, необходимо обучить систему аутентификации. Наиболее целесообразным является нейросетевой метод, который позволяет быстро и безошибочно обучить систему. После обучения происходит обработка полученных данных.

Первым этапом обработки данных является фильтрация. Входной поток данных преобразуется таким образом, чтобы он не содержал информацию о "служебных" клавишах – клавишах управления курсором и функциональных клавишах.

Вторым этапом является выделение информации, относящейся к характеристикам пользователя, таких как количество опечаток при наборе, время удержания клавиш, количество перекрытий между клавишами, скорость набора и ритмичность при наборе. Далее данные сохраняются в базу как эталонные.

Основным достоинством системы является невозможность повтора эталонного почерка, а также крайне высокая надежность самой системы.

Итак, преимущество динамической биометрии заключается в возможности смены образа личности за счет быстрой смены воспроизводимого слова (парольной фразы). Статический образ личности (отпечаток пальца) нельзя сохранить в тайне или изменить, он дан личности единожды и навсегда. Иначе обстоит дело с образами динамической биометрии, они легко поддаются изменению, и могут быть сохранены пользователем в тайне. Последнее делает динамическую биометрию предпочтительной для удаленной аутентификации (идентификации) личности в открытом информационном пространстве.

В качестве еще одного достоинства следует отметить относительно низкую стоимость систем динамической биометрии. Они могут быть построены с использованием стандартных, уже имеющихся на компьютере средств мультимедиа: стандартного графического планшета или стандартной звуковой карты. В этом случае стоимость системы будет определяться только стоимостью программного обеспечения.

Недостатком систем динамической биометрии является то, что на их работу влияет психофизическое состояние личности: испуг, стресс, психо-

тропные препараты. Тем не менее системы динамической биометрии оказываются эффективными длительное время, существующие данные свидетельствуют о стабильном сохранении отработанных двигательных навыков у человека в течение нескольких десятилетий.

В результате исследований биометрии как способа аутентификации личности и защиты от несанкционированного доступа на режимном объекте, можно смело сказать, что использование динамического метода биометрии способно существенно расширить горизонты представлений человека о возможных применениях технологий. Это позволит создавать автоматизированные системы управления и средства их охраны принципиально новых конструкций, не требующих дорогого обслуживания, но при этом надёжных, прочных и долговечных.

#### Список использованных источников

1. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. М.: Мир, 1978. 412 с.
2. Гинце А. А. Биометрические технологии: мифы и реальность // Защита информ. Инсайд. 2005. № 1. С. 59–63.
3. Прохоров А. Биометрия на службе безопасности. [Системы контроля доступа по биометрическим признакам (лицу, голосу, отпечаткам пальцев и т. п.)] // Компьютер-Пресс. 2000. № 3. С. 68–73.
4. Хитренко Ю. Н. Биометрическая система идентификации личности по радужной оболочке глаза // Дальневосточные криминалист. чтения. Владивосток: Изд-во Дальневосточного университета, 2004. Вып. 9. С. 69–70.
5. Панканти Ш., Болле Р. М., Джейн Э. Биометрия: будущее идентификации // Открытые системы. 2000. С. 46–49.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Сагдеевым А. К., СПбГУТ.*

#### УДК 621.391.8

А. А. Шмидт, А. А. Южакова (студенты, СПбГУТ)

### ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ЕГО ВОЗМОЖНОСТИ В ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ

*В данной статье рассмотрены основные понятия и возможности вейвлет-преобразований в Цифровой Обработке Сигналов. Разъяснены основные отличия от оконного преобразования Фурье. Также в статье выделены разновидности вейвлет-преобразований с их краткой характеристикой, преимуществами и недостатками, а также целесообразностью их применения в различных сферах.*

*вейвлет-преобразование, вейвлет-анализ, преобразование Фурье, цифровая обработка сигналов.*

В современном мире средства цифровой обработки сигналов (ЦОС) играют большую роль в развитии информационных технологий.

Цифровая обработка сигналов – способы обработки сигналов на основе численных методов с использованием цифровой вычислительной техники. Основным содержанием цифровой обработки сигнала является извлечение полезной информации относительно объекта, который является источником информации, либо относительно среды, через которую сигнал проходит.

Применение нового направления в области ЦОС – вейвлет-анализа, в отличие от традиционно измененного преобразования Фурье, позволяет разрабатывать средства с большей эффективностью.

Вейвлет-преобразование – интегральное преобразование, которое представляет собой свертку вейвлет-функции с сигналом [1].

Вейвлет-анализ позволяет перейти к представлению сигналов в частотно-временной области.

Первый вейвлет известен с начала прошлого столетия – это базис Хаара, однако распространение вейвлеты получили лишь в последние десятилетия.

Вейвлеты позволяют выявлять локальные особенности анализируемых сигналов, которые не могут быть выявлены с помощью традиционных преобразований Фурье. Во временном и частотном представлении вейвлеты занимают промежуточное положение между гармоническими функциями, локализованными по частоте, и функцией Дирака, локализованной во времени.

Признаки вейвлета:

1. Локализация. Вейвлет-преобразование в отличие от преобразования Фурье использует локализованные базисные функции.

2. Нулевое среднее. График вейвлет-функции должен осциллировать вокруг нуля на оси времени и иметь нулевой интеграл.

3. Ограниченность. Квадрат нормы функции должен быть конечным.

4. Характерным признаком базиса вейвлет-преобразования является его самоподобие.

Вейвлет-анализ есть логическое продолжение оконного преобразования Фурье. Однако если в случае Фурье анализа в качестве базиса используются гармонические функции, бесконечные во времени, то для вейвлет-анализа используются функции в виде «маленькой волны», которые ограничены по времени [2]. Успешное изменение вейвлет-преобразования в ЦОС стимулирует поиск новых идей и решений его использования в различных научно-технических областях знаний, в том числе и в системах военного назначения.

В свете сказанного исключительно актуальными являются исследования, ориентированные на применение модулярной арифметики и нейронных сетей для ЦОС, при этом первостепенное значение имеют математические модели, которые включают в себя совокупность множества модульных и немодульных операций и алгоритмы вычислений.

Вейвлет-преобразование (ВП) – это преобразование, похожее на преобразование Фурье (или гораздо больше на оконное преобразование Фурье) с совершенно иной оценочной функцией. Основное различие лежит в следующем: преобразование Фурье раскладывает сигнал на составляющие в виде синусов и косинусов, т. е. функций, локализованных в Фурье-пространстве; ВП, напротив, использует функции, локализованные как в реальном, так и в Фурье-пространстве.

Вейвлет-преобразование является бесконечным множеством различных преобразований в зависимости от оценочной функции, использованной для его расчёта. Это является основной причиной, почему термин «вейвлет-преобразование» используется в весьма различных случаях. Также существует множество типов классификации вариантов ВП.

Существуют *ортогональные вейвлеты* для разработки дискретного ВП и *не ортогональные вейвлеты* для непрерывного. Эти два вида преобразования обладают следующими свойствами [3]:

1. Дискретное вейвлет-преобразование возвращает вектор данных той же длины, что и входной. Обычно, даже в этом векторе многие данные почти равны нулю. Это соответствует факту, что он раскладывается на набор вейвлетов (функций), которые ортогональны к их параллельному переносу и масштабированию. Следовательно, мы раскладываем подобный сигнал на то же самое или меньшее число коэффициентов вейвлет-спектра, что и количество точек данных сигнала. Подобный вейвлет-спектр весьма хорош для обработки и сжатия сигналов, поскольку мы не получаем здесь избыточной информации.

2. Непрерывное вейвлет-преобразование, напротив, возвращает массив на одно измерение больше входных данных. Для одномерных данных мы получаем изображение плоскости время-частота. Можно легко проследить изменение частот сигнала в течение длительности сигнала и сравнивать этот спектр со спектрами других сигналов. Поскольку здесь используется не ортогональный набор вейвлетов, данные высоко коррелированы и обладают большой избыточностью. Это помогает видеть результат в более близком человеческому восприятию виде.

## Дискретное вейвлет-преобразование

Дискретное вейвлет-преобразование (ДВП) – реализация ВП с использованием дискретного набора масштабов и переносов вейвлета, подчиняющихся некоторым определённым правилам. Другими словами, это преобразование раскладывает сигнал на взаимно ортогональный набор вейвлетов,

что является основным отличием от непрерывного вейвлет-преобразования (НВП), или его реализации для дискретных временных рядов, иногда называемой непрерывным вейвлет-преобразованием дискретного времени [4].

Существует несколько видов реализации алгоритма дискретного вейвлет-преобразования. Самый старый и наиболее известный – алгоритм Малла (пирамидальный). В этом алгоритме два фильтра – сглаживающий и не сглаживающий составляются из коэффициентов вейвлета и эти фильтры рекуррентно применяются для получения данных для всех доступных масштабов.

Дискретное вейвлет-преобразование может использоваться для простого и быстрого удаления шума с зашумлённого сигнала. Если мы возьмём только ограниченное число наиболее высоких коэффициентов спектра дискретного вейвлет-преобразования, и проведём обратное вейвлет-преобразование (с тем же базисом) мы можем получить сигнал, более или менее очищенный от шума.

### Непрерывное вейвлет-преобразование

Непрерывное вейвлет-преобразование (НВП) – реализация вейвлет-преобразования с использованием произвольных масштабов и практически произвольных вейвлетов. Используемые вейвлеты не ортогональны и данные, полученные в ходе этого преобразования высоко коррелированы. Для дискретных временных последовательностей также можно использовать это преобразование, с ограничением что наименьшие переносы вейвлета должны быть равны дискретизации данных. Это иногда называется непрерывным вейвлет-преобразованием дискретного времени и это наиболее часто используемый метод расчёта НВП в реальных применениях.

В принципе непрерывное вейвлет-преобразование работает, используя напрямую определение вейвлет-преобразования, т. е. мы рассчитываем свёртку сигнала с масштабированным вейвлетом. Для каждого масштаба мы получаем этим способом набор той же длины  $N$ , что и входной сигнал. Используя  $M$  произвольно выбранных масштабов, мы получаем поле  $N \times M$ , которое напрямую представляет плоскость время-частота. Алгоритм, используемый для этого расчёта, может быть основан на прямой свёртке или на свёртке посредством умножения в Фурье-пространстве (иногда называется быстрым вейвлет-преобразованием).

Это разложение можно повторить несколько раз для дальнейшего увеличения частотного разрешения с дальнейшим прореживанием коэффициентов после НЧ и ВЧ-фильтрации.

Вейвлеты нашли широкое применение в цифровой обработке изображения, обработке сигналов и анализе данных.

Под «анализом» сигналов имеется в виду не только их чисто математические преобразования, но и получение на основе этих преобразований выводов о специфических особенностях соответствующих процессов и объектов.

Целями анализа сигналов обычно являются:

- определение или оценка числовых параметров сигналов (энергия, средняя мощность, среднеквадратическое значение);
- разложение сигналов на элементарные составляющие для сравнения свойств различных сигналов;
- сравнение степени близости, «похожести», «родственности» различных сигналов, в том числе с определенными количественными оценками.

Математический аппарат анализа сигналов весьма обширен, и широко применяется на практике во всех без исключения областях науки и техники.

С понятием сигнала неразрывно связан термин регистрации сигналов, использование которого также широко и неоднозначно, как и самого термина сигнал. В наиболее общем смысле под этим термином можно понимать операцию выделения сигнала и его преобразования в форму, удобную для дальнейшего использования, обработки и восприятия. Так, при получении информации о физических свойствах каких-либо объектов, под регистрацией сигнала понимают процесс измерения физических свойств объекта и перенос результатов измерения на материальный носитель сигнала или непосредственное энергетическое преобразование каких-либо свойств объекта в информационные параметры материального носителя сигнала (как правило – электрического). Но также широко термин регистрации сигналов используют и для процессов выделения уже сформированных сигналов, несущих определенную информацию, из суммы других сигналов (радиосвязь, телеметрия), и для процессов фиксирования сигналов на носителях долговременной памяти, и для многих других процессов, связанных с обработкой сигналов.

Таким образом, вейвлеты обладают существенными преимуществами по сравнению с преобразованием Фурье, потому что вейвлет-преобразование позволяет судить не только о частотном спектре сигнала, но также о том, в какой момент времени появилась та или иная гармоника [5]. С их помощью можно легко анализировать прерывистые сигналы, либо сигналы с острыми всплесками. Кроме того, вейвлеты позволяют анализировать данные согласно масштабу, на одном из заданных уровней (мелком или крупном). Уникальные свойства вейвлетов позволяют сконструировать базис, в котором представление данных будет выражаться всего несколькими ненулевыми коэффициентами. Это свойство делает вейвлеты очень привлекательными для упаковки данных, в том числе видео- и аудиоинформации. Мелкие коэффициенты разложения могут быть отброшены в соответствии

с выбранным алгоритмом без значительного влияния на качество упакованных данных. Вейвлеты нашли широкое применение в цифровой обработке изображения, обработке сигналов и анализе данных.

#### Список использованных источников

1. Воробьев В. И., Грибунин В. Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. СПб.: Изд-во ВУС, 1999. 208 с.
2. Блаттер К. Вейвлет-анализ. Основы теории. М.: Техносфера, 2006. 272 с.
3. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 464 с.
4. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М.: ДМК Пресс, 2005. 304 с.
5. Чуи К. Введение в вейвлеты: пер. с англ. М.: Мир, 2001. 412 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Сагдеевым А. К., СПбГУТ.*

**УДК 623.618 + 004.896**

**А. А. Шмидт, А. А. Южакова** (студенты, СПбГУТ)

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ И АСУ В ВООРУЖЕННЫХ СИЛАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

*В данной статье рассмотрены методы применения искусственных нейронных сетей для диагностики и безопасности эксплуатации систем связи и автоматизированных систем управления в Вооруженных Силах Российской Федерации. Приведены основные понятия и принципы построения нечётких и свёрточных нейронных сетей. Определены перспективы использования искусственных нейронных сетей.*

*искусственные нейронные сети, автоматизированные системы управления, нечёткие нейронные сети, свёрточные нейронные сети.*

В современном мире возрастает интерес к изучению и развитию систем диагностики, управления и принятия решений на основе применения искусственных нейронных сетей и теории распознавания образов.

Искусственная нейронная сеть – это обучаемая система, действующая не только в соответствии с заданным алгоритмом и формулами, но и на основании прошлого опыта [1]. Нейрон – это вычислительная единица, которая получает информацию, производит над ней простые вычисления и передает ее дальше.

Нейронные сети используются для решения сложных задач, которые требуют аналитических вычислений подобных тем, что делает человеческий мозг. Самыми распространенными их применениями является: классификация, предсказание, распознавание.

Нейронные сети нашли применение во многих областях техники, где они используются для решения многочисленных прикладных задач, таких как: электроника, робототехника и передача данных.

Возможности искусственных нейронных сетей безграничны, однако остановимся на перспективах их применения в системах связи и автоматизированных системах управления в Вооруженных Силах Российской Федерации.

На данный момент одними из важнейших направлений развития Вооружённых Сил Российской Федерации являются повышение эффективности управления войсками, совершенствование систем обнаружения и охраны. Это объясняется наличием многочисленных опытно-конструкторских работ по совершенствованию существующих и созданию новых автоматизированных систем управления специального назначения.

Для безукоризненной работы систем контроля, охраны и обнаружения необходимо повышать их надёжность и улучшать программную составляющую, а также создать мощное средство для бесперебойной диагностики таких систем, позволяющее моментально определить и устранить неполадки.

Во-первых, одними из основных составных частей автоматизированных систем управления являются системы диагностики и контроля.

На фоне постоянно растущего количества информационных потоков вопрос совместимости различных информационных систем принятия решений становится довольно актуальным. Основной проблемой в создании таких систем является отсталость систем передачи. Они лишь передают данные от источника к адресату, не используя смысловую нагрузку, содержащуюся в них. Эту проблему и призваны решить искусственные нейронные сети, которые из всех данных сепарируют только ту информацию, которая необходима для принятия решения.

Искусственные нейронные сети могут иметь самую разнообразную структуру, но наиболее популярны при решении задач распознавания сети прямого распространения. Основными достоинствами искусственных нейросетей прямого распространения являются: реализация принципа последовательного принятия решений (после каждого ряда связей принимается решение, сколько сигналов и в каких комбинациях нужно пропустить в следующий ряд); способность к кусочно-линейному, нелинейному и многосвязному разделению пространства признаков (в зависимости от числа слоев), а также наличие оригинальных алгоритмов обучения, не требующих хранения больших объемов информации. В свою очередь при контроле и диагностировании часто приходится использовать нечеткую информацию, что делает невозможным использовать искусственные нейросети

в обычном виде [2]. Поэтому при построении системы контроля и диагностирования автоматизированных систем управления специального назначения предлагается использование нечётких нейронных сетей.

Нечёткие нейронные сети – это системы из области искусственного интеллекта, которые комбинируют методы искусственных нейронных сетей и систем на нечёткой логике.

Нечёткие нейронные являются подобием комбинирования человекоподобного стиля рассуждений нечётких систем с обучением и коннекционистской структурой нейронных сетей.

Нечёткие нейронные сети формально по структуре идентичны многослойным нейронным сетям с обучением, например, по алгоритму обратного распространения ошибки, но скрытые слои в них соответствуют этапам функционирования нечетких систем [3]:

- первый слой нейронов выполняет функцию введения нечёткости на основе заданных функций принадлежности входов;
- второй слой отображает совокупность нечётких правил;
- третий слой выполняет функцию приведения к чёткости.

Каждый из этих слоев характеризуется набором параметров (функциями принадлежности, нечёткими решающими правилами, активационными функциями, весами связей), настройка которых производится, по сути, так же, как и для обычных нейронных сетей.

Таким образом, нечёткие искусственные нейронные сети учитывают размытую информацию в последовательном принятии решений о техническом состоянии автоматизированных систем управления специального назначения, а также при реализации кусочно-линейного, нелинейного и многосвязного разделения пространства диагностических признаков. Это позволяет обеспечить высокую эффективность рассматриваемой системы контроля и диагностирования автоматизированных систем управления специального назначения, которая может быть применена при обосновании внедрения новейших достижений науки и техники в практику создания, отработки и испытаний автоматизированных систем управления специального назначения.

Во-вторых, немаловажно обеспечить безопасность самой автоматизированной системы.

Вопросы охраны и обнаружения на автоматизированных системах управления специального назначения представляют собой сложную задачу, которую также можно отнести к задачам распознавания образов [4].

Теория распознавания образа – раздел информатики и смежных дисциплин, развивающий основы и методы классификации и идентификации предметов, явлений, процессов, сигналов, ситуаций объектов, которые характеризуются конечным набором некоторых свойств и признаков. Распознавание образов – это отнесение исходных данных к определенному классу

с помощью выделения существенных признаков, характеризующих эти данные, из общей массы несущественных данных.

Необходимость в таком распознавании возникает в самых разных областях – от военного дела и систем безопасности до оцифровки аналоговых сигналов.

Наиболее целесообразным методом верификации человека на режимном объекте является распознавание лиц. На сегодняшний день существует множество методов распознавания лиц, причём при их разработке учитывались различные требования к размеру формируемых шаблонов для сравнения, скорости их формирования и сравнения, к показателям качества распознавания.

Ранее был предложен целый ряд подходов к формированию описаний (биометрических шаблонов) изображений лиц, которые могут использоваться для биометрической верификации или идентификации персон, однако лучшими на сегодняшний день оказались результаты применения глубоких свёрточных нейронных сетей [5].

Свёрточная нейронная сеть – специальная архитектура искусственных нейронных сетей, нацеленная на эффективное распознавание изображений.

Такая сеть основана на недавно открытом принципе восприятия изображения зрительной корой головного мозга. Он заключается в том, что существуют так называемые простые клетки, реагирующие на прямые линии под разными углами, и сложные клетки, активирующиеся при некоторой комбинации простых.

Название архитектура сети получила из-за наличия операции свёртки, суть которой в том, что каждый фрагмент изображения умножается на матрицу (ядро) свёртки поэлементно, а результат суммируется и записывается в аналогичную позицию выходного изображения.

Работа свёрточной нейронной сети обычно интерпретируется как переход от конкретных особенностей изображения к более абстрактным деталям, и далее к ещё более абстрактным деталям вплоть до выделения понятий высокого уровня. При этом сеть само настраивается и вырабатывает сама необходимую иерархию абстрактных признаков (последовательности карт признаков), фильтруя маловажные детали и выделяя существенное.

Ниже перечислены слои, которые организуют полноценную свёрточную нейросеть.

Слой свёртки – это основной блок свёрточной нейронной сети. Слой свёртки включает в себя для каждого канала свой фильтр, ядро свёртки которого обрабатывает предыдущий слой по фрагментам (суммируя результаты матричного произведения для каждого фрагмента). Весовые коэффициенты ядра свёртки (небольшой матрицы) неизвестны и устанавливаются в процессе обучения. Особенностью свёрточного слоя является сравнительно небольшое количество параметров, устанавливаемое при обучении.

Слой активации. Скалярный результат каждой свёртки попадает на функцию активации, которая представляет собой некую нелинейную функцию. Слой активации обычно логически объединяют со слоем свёртки. Функция нелинейности может быть любой по выбору исследователя, традиционно для этого использовали функции типа гиперболического тангенса, однако в 2000-х годах была предложена и исследована новая функция активации – операция отсечения отрицательной части скалярной величины, которая позволила существенно ускорить процесс обучения и одновременно упростить вычисления (за счёт простоты самой функции). По состоянию на 2018 год эта функция и её модификации являются наиболее часто используемыми функциями активации в глубоких нейросетях, в частности, в свёрточных.

Пулинг или слой субдискретизации. Слой пулинга – нелинейное уплотнение карты признаков, при этом группа пикселей (обычно размера  $2 \times 2$ ) уплотняется до одного пикселя, проходя нелинейное преобразование. Наиболее употребительна при этом функция максимума. Операция пулинга позволяет существенно уменьшить пространственный объём изображения. К тому же фильтрация уже ненужных деталей помогает не переобучаться.

Таким образом, использование теории распознавания образа позволяет создавать базы данных с разнообразными фотографиями людей, допущенных на объект. Внедрение между этой базой и устройством считывания данных (камерой) свёрточной нейронной сети позволяет допускать на данный объект только тех лиц, которые имеют соответствующее разрешение. Точность метода свёртки настолько высока, что даже фактический близнец допускаемого лица не будет верифицирован. Этот метод позволяет обеспечить высокую эффективность рассматриваемой системы охраны и обнаружения на автоматизированных системах управления специального назначения, которая может быть применена при обосновании внедрения новейших достижений науки и техники в практику создания, отработки и испытаний автоматизированных систем управления специального назначения.

В результате исследований перспективного применения искусственных нейронных сетей в системах связи и автоматизированных системах управления в Вооружённых Силах Российской Федерации, можно смело сказать, что использование нейросетей способно существенно расширить горизонты представлений человека о возможных применениях технологий. Это позволит создавать военную технику и автоматизированные средства ее охраны принципиально новых конструкций, не требующих дорогого обслуживания, но при этом надёжных, прочных и долговечных.

#### Список использованных источников

1. Медведев В. С., Потемкин В. Г. Нейронные сети. MATLAB 6 / Под общ. ред. В. Г. Потемкина. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001. 496 с.

2. Ивахненко А. Г. Перцептрон – система распознавания образов. Киев: Наукова Думка, 1975. 430 с.
3. Круглов В. В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. М.: Горячая линия – Телеком, 2001. 383 с.
4. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. М., Мир, 1978. 412 с.
5. Панканти Ш., Болле Р. М., Джейн Э. Биометрия: будущее идентификации // Открытые системы. 2000. № 3. С. 46–49.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Сагдеевым А. К., СПбГУТ.*

## УДК 4.056

**Г. И. Штеренберг** (студент, СПбГУТ)

### **ПОСТРОЕНИЕ ОБЩЕЙ МОДЕЛИ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ RPA ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ЛОКАЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ**

*Ежегодно, убытки и саботажные ситуации в крупных организациях наносят крупный ущерб состоянию и благополучию локально-вычислительных сетей (далее ЛВС), а также организационно-кадровой работе этих самых организаций.*

*Самомодифицирующийся код для стеговложения информации в адаптивной системе RPA - элемент программы RPA, а именно самомодифицирующийся код, который может быть доступен для использования оператором. Особенность самомодифицирующегося кода в его стегонаграфических преобразованиях, то есть в возможности оставаться незамеченным для системы и наиболее успешно сохраняться в файловых структурах. Однако элемент скрытности и развития иллюстрирует аналогию с бионическими системами, где каждая живая клетка стремится выжить и защититься. Такой уклад и такая возможность позволят RPA защититься от тотального уничтожения и активироваться в системе вновь.*

*АС – Адаптивная система, ЛВС – Локальная вычислительная сеть, МРЧ – Метод роя частиц.*

Принципиально, что для пользователя современных адаптивных систем (АС) сегодня должна быть возможность использования широкого выбора способов защиты информации от компьютерных вирусов от многочисленных антивирусных программ до программно-аппаратных решений [1].

Прежде всего стоит установить, что именно подразумевается под АС, которая осуществляет деятельность в локальной вычислительной сети (ЛВС). В данной работе в качестве метода решения рассматривается метод роя частиц (МРЧ) (рис. 1). Ему присущи особенности по реализации интерфейса IterativeMethod. Известно множество вариаций МРЧ.

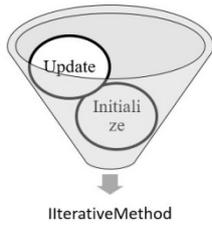


Рис. 1. Схема организации метода роя частиц

Выделим основные направления модификаций: выбор параметров – определение параметров  $sr$ ,  $cl$ ,  $w$  для каждой частицы, отношения соседства и расчетная формула – известно множество модификаций метода, имеющих разный подход к определению векторов скорости и координаты частицы.

Методика реализации самомодифицирующегося кода представлен ниже. Имеется алгоритм (рис. 2) и структурная схема (см. рис. 3), выделяются в них основные функции, выполняемые компонентами решателя [2].



Рис. 3. Схема классов решателя



Рис. 2. Обобщенный алгоритм работы итеративного решателя для самомодифицирующихся кодов

Далее следует задача применения самомодифицирующегося кода по части стеговложения информации с задачей обработки кода программ и перестановки частей кода или «частиц» программ.

Диаграмму, связывающую компоненты можно представить схемой, изображенной на рис. 4.

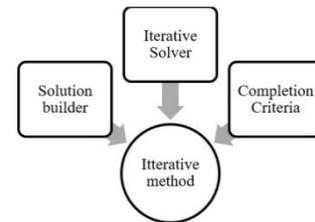


Рис. 4. Схема некоторого абстрактного решателя

Подобное преобразование носит определенное понятие – полиморфизм. Термин «полиморфизм» (с греч. «многоформенность») применительно к компьютерным вирусам появился приблизительно в 1990 году.

Многие инструкции, имеющие два операнда, содержат в своём опкоде бит (direction bit), указывающий на то, какой операнд является источником, а какой приёмником. К таким инструкциям относятся `adc`, `add`, `and`, `cmp`, `mov`, `or`, `sbb`, `sub`, `xor`. Так, например, формы инструкции `add: add reg, r/m` и `add r/m, reg` различаются значением бита направления и, соответственно, имеют разные опкоды.

Первая инструкция прибавляет значение из регистра или памяти (в зависимости от содержимого бита `ModRM`) к значению регистра. Вторая прибавляет значение регистра к значению, находящемуся в регистре или памяти. Таким образом, если в качестве обоих операндов выступают регистры,

Первая инструкция прибавляет значение из регистра или памяти (в зависимости от содержимого бита `ModRM`) к значению регистра. Вторая прибавляет значение регистра к значению, находящемуся в регистре или памяти. Таким образом, если в качестве обоих операндов выступают регистры,

инструкция `add` может быть закодирована любым из представленных способов.

В табл. 1 приведён пример такого кодирования. Инструкцию `add eax, ebx` можно ассемблировать, как `03 BA` или `05 E1` (в шестнадцатеричном представлении).

ТАБЛИЦА 1. Эквивалентные варианты кодирования инструкции `add edx, ecx`.

add eax, ebx			
add r/m, reg		add reg, r/m	
Опкод	Байт ModRM	Опкод	Байт ModRM
0000 0011	10111010	0000 0101	11100001
03	BA	05	E1

Некоторые инструкции, работающие с непосредственным значением, могут быть заменены на обратные. В этом случае непосредственное значение должно быть пересчитано [3].

Для обнуления регистра часто используется инструкция `xor reg, reg`. Эту же операцию можно выполнить с помощью инструкции `sub reg, reg`. В некоторых случаях взаимозаменяемые инструкции по-разному изменяют флаги регистра `eFlags`, поэтому заменять одну инструкцию на другую следует только в том случае, если в пределах до следующей инструкции, изменяющей флаги, значения флагов не влияют на ход выполнения программы, то есть отсутствуют инструкции, зависящие от регистра `eFlags`, такие как условные переходы. Если в инструкции сравнения поменять местами операнды, полученная инструкция будет устанавливать противоположные флаги. Таким образом, достаточно будет поменять команды условного перехода на интервале от инструкции сравнения до следующей изменяющей флаги инструкции на противоположные (например «`cmp eax, ebx ja label1`» на «`cmp ebx, eax jbe label1`») [4].

В дополнение был рассчитан объём информации, который можно вложить в исполняемый код (табл. 2). Размер рассматриваемого исполняемого кода составлял 10 122 байт.

ТАБЛИЦА 2. Оценка объёма вкладываемой информации

Тип вложения	Кол-во инструкций	Отношение объёма вкладываемой информации к объёму кода
Замена <code>xor-mov</code>	1 502	0,4
Замена <code>add-sub</code>	455	0,3
Замена <code>ja-jbe</code>	321	0,1
Обмен операндов <code>cmp</code>	121	0,1
Обращение условных переходов	1 584	0,2

Таким образом, при использовании замены хог-тов можно вложить 1 Кб скрытой информации в каждые 100 Кб контейнера.

Подводя итоги, можно отметить особый успех вложения информации на основе самомодифицирующегося кода. В частности, для адаптивных систем данных комплекс методик решить следующие задачи: скрытность передаваемых сообщений, реализацию адаптивных функций окружного ПО, улучшение производительности и скорости обработки информации, не обращая внимания на системы защиты информации, которые в свою очередь тратят минимум объема контейнеров.

Итого, следует вывод, что имеющееся антивирусное ПО удовлетворяет лишь малой части требований. Создание и внедрение надежной системы защиты от быстро распространяющихся вирусов требует соблюдения всех перечисленных требований.

Таким образом, можно сделать вывод по каким критериям будет строиться весь прототип ИИ RPA: наличием гибкой и расширяющейся базы данных, процедуры поиска и сбора информации (обработка файловых структур и внешние данные (поле информации)), система резервирования данных и наличие стеганографических преобразований в системе для обеспечения скрытности.

Вкратце, идея будет звучать именно так: создается программа, которая в своих ресурсах содержит компилятор и собственный код.

Итак, осуществляется переход к построению алгоритма реализации разрабатываемого средства защиты информации.

Предлагаются следующих обязательных действий: передача самомодифицирующегося кода в основной код исполнимого файла любого формата, стеганографическое сокрытие передаваемого файла с невозможностью его дальнейшего обнаружения, распространения самомодифицирующегося кода после команды оператора по всему приложению, реализация иммунной адаптивной защиты приложения, реализация возможности накопления «знания» в базу данных о всевозможных типах атаки нарушителей, реализация принятия решения о контратаки нарушителя, последующая реализация адаптивной интеллектуальной системы для автоматизации защиты приложений.

## **Заключение**

В работе разобраны принципы применения методик по стеганографическому вложению информации, который в дальнейшем можно применить к экспертной системе. В ходе исследования были сопоставлены различные характеристики вирусных вредоносных программ для вариантов применения самомодифицирующегося кода. Исходя из вышесказанного предлагается, что для вложения самомодифицирующегося кода в исполняемый код методом замены синонимов, используются инструкции, выполняющие одну

и ту же операцию, и имеющие одинаковую длину. Идея семантической замены операторов позволит отвлечь «атакующего» на проверке целостности отдельных участков исполняемого вывода в работе экспертной системы. Заметить скрытое вложение, которое было внедрено в файл, будет сложно из-за того, что изменения внутри файла не затронут ни размера, ни функциональности исполнимого кода. Предлагаемый метод прост в реализации и малозатратный.

#### Список использованных источников

1. Штеренберг С. И., Штеренберг И. Г. Вероятностные методы постоянного элементов самообучения адаптивных информационных систем // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2016. С. 53–56.
2. Казаков В. В., Кравцов А. Н., Самойлов Е. Б. Методы обработки и анализа телеметрической информации при управлении космическими средствами: курс лекций. СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2011. 152 с.
3. Sergey Vochkanov Программная реализация преобразования Фурье. (ALGLIB project), 2009.
4. Зиновьев В. Г., Казаков В. В. Обработка результатов измерений быстроменяющихся параметров: учебно-методическое пособие. СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2009. 132 с.

*Статья представлена научным руководителем,  
кандидатом технических наук, доцентом Сагдеевым А. К., СПбГУТ.*