

16+

# Техника, технологии и прикладные исследования

II МЕЖДУНАРОДНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

НОО ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ НАУКА | [www.scipro.ru](http://www.scipro.ru)

**НАУЧНАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ НАУКА**

**Техника, технологии и прикладные исследования**

**Сборник научных трудов  
по материалам II Международного  
технического форума молодых ученых**

**02 ноября 2017 г.**

**[www.scipro.ru](http://www.scipro.ru)  
Санкт-Петербург, 2017**

УДК 001  
ББК 72

*Главный редактор: Н.А. Краснова*  
*Технический редактор: Ю.О. Канаева*

Техника, технологии и прикладные исследования: сборник научных трудов по материалам II Международного технического форума молодых ученых, 2 ноября 2017 г. Санкт-Петербург: НОО «Профессиональная наука», 2017. 248 с.

ISBN 978-1-370-13677-3

В сборнике научных трудов рассматриваются актуальные вопросы развития техники, инноваций, машиностроения, строительства по материалам II Международного технического форума молодых ученых «Техника, технологии и прикладные исследования» (2 ноября 2017 г.).

Сборник предназначен для научных и педагогических работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов с целью использования в научной работе и учебной деятельности.

Все включенные в сборник статьи прошли научное рецензирование и опубликованы в том виде, в котором они были представлены авторами. За содержание статей ответственность несут авторы.

Информация об опубликованных статьях предоставлена в систему Российского индекса научного цитирования – РИНЦ по договору No 2819-10/2015К от 14.10.2015 г.

Электронная версия сборника находится в свободном доступе на сайте [www.scipro.ru](http://www.scipro.ru).

УДК 001  
ББК 72



- © Редактор Н.А. Краснова, 2017
- © Коллектив авторов, 2017
- © НОО Профессиональная наука, 2017
- © Smashwords, Inc., 2017

# СОДЕРЖАНИЕ

## СЕКЦИЯ 1. РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ..... 5

- Коптев Д. С., Шевцов А. Н. Вариант организации мониторинга авиационного движения с помощью группировки геостационарных спутников связи..... 5
- Коптев Д. С., Шевцов А. Н. Вариант построения эффективной корпоративной системы защиты информации на делопроизводстве ..... 38
- Коптев Д. С., Шевцов А. Н. Иммитационная модель высокоскоростной локальной вычислительной сети обмена данными..... 68
- Коптев Д. С., Шевцов А. Н. Моделирование локальной вычислительной сети студенческого городка юзгу в программном продукте CISCO PACKET TRACER..... 103
- Коптев Д. С., Шевцов А. Н. Принципы обеспечения безопасности воздушного движения с помощью систем спутниковой связи ..... 136
- Коптев Д. С., Шевцов А. Н. Качественная и количественная оценка способов повышения помехозащищенности сложных сигналов в цифровых системах радиосвязи ..... 175

## СЕКЦИЯ 2. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ ..... 210

- Комирная А.Н. Использование в рационе кур кормового концентрата «Фурор-Т» ..... 210

## СЕКЦИЯ 3. БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА ..... 214

- Романова К.Р. Кашперова С.Г. Взаимосвязь стресса, ожирения и жесткости кровеносных сосудов у машинистов локомотивов, работающих в условиях дальневосточной железной дороги ..... 214
- Тесленко И.М., Куленко Е.А. Наезд подвижного состава - основной вид смертельного производственного травматизма работников ОАО «РЖД»..... 239

## СЕКЦИЯ 1. РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

УДК 347.822.4

**Коптев Д. С., Шевцов А. Н. Вариант организации мониторинга авиационного движения с помощью группировки геостационарных спутников связи**

**Шевцов А.Н., Коптев Д.С.**

Юго – Западный государственный университет  
Shevtsov A.N., Koptev D.S.  
Southwestern State University

***Аннотация.** Наряду с огромными успехами в развитии авиационной промышленности следует отметить и тот факт, что до сих пор еще слишком мало внимания уделяется выработке конкретных и действенных правил обеспечения безопасности движения самолетов в воздухе и на земле. В статье приведен алгоритм выбора группировки геостационарных спутников для организации мониторинга авиационного движения.*

***Ключевые слова:** спутниковая система навигации, фазовая манипуляция, единая система спутниковой связи, воздушное судно*

***Abstract.** Along with the tremendous progress in the development of the aviation industry, it should be noted that fact that so far little attention has been paid to the development of specific and effective rules for ensuring the safety of aircraft movements in the air and on land. The article presents an algorithm for choosing the grouping of geostationary satellites for monitoring the aviation movement.*

***Keywords:** satellite navigation system, phase shift keying, unified satellite communication system, aircraft*

Над европейским воздушным пространством и другими регионами с высоким трафиком, в частности над Россией, ежеминутно происходит передача данных как на спутники различных группировок в различных орбитах, так и спутников на объекты различного рода, такие как: военные базы, летательные аппараты, судоходные линии, диспетчерские терминалы и пр. Повышенный интерес к низкоорбитальным системам спутниковой связи объясняется возможностью предоставления услуг персональной связи, включая радиотелефонный обмен, при использовании сравнительно дешевых

малогабаритных спутниковых терминалов. Низкоорбитальные системы позволяют обеспечить бесперебойную связь с терминалами, размещенными в любой точке Земли, и практически не имеют альтернативы при организации связи в регионах со слаборазвитой инфраструктурой связи и низкой плотностью населения.

Но не стоит забывать о телекоммуникационных спутниках, находящихся на геостационарных орбитах, таких как: Ямал, Луч, Горизонт, Экспресс, Космос.

Большинство спутников предназначены для обеспечения цифрового телерадиовещания, доступа к сети Интернет, услуг мультимедиа и передачи данных, для создания сетей VSAT, видеоконференцсвязи, а также для подвижной правительственной и президентской связи. Геостационарные спутники, благодаря имеющимся точкам стояния, удобно использовать для спутниковой связи: единожды сориентированная антенна всегда будет направлена на выбранный спутник (если он не сменит позицию). Рассмотрим одну из ССС более подробно.

Систему спутниковой связи и вещания «Ямал» создало и эксплуатирует ОАО «Газпром космические системы». В состав системы входят:

- орбитальная группировка (телекоммуникационные спутники «Ямал-202», «Ямал-300К», «Ямал-401», «Ямал-402»);
- наземная инфраструктура (наземный комплекс управления, контрольно-измерительный комплекс, телепорты, центр спутникового цифрового телевидения, сеть земных станций в регионах России).

Спутники «Ямал-401» и «Ямал-402», работающие в орбитальной позиции 90 градусов восточной долготы, предназначены для обслуживания России и СНГ. Их зоны покрытия охватывают 95% территории России, на которой проживает 98% населения страны. На базе ресурса этих спутников оказываются услуги по организации каналов связи и передачи данных, видео-конференц-связи, распределительного телевидения, спутникового доступа в Интернет. На их

основе реализуются сети центрального телевидения и телевидения российских регионов, передачи информации, связи, дистанционного образования и телемедицины. На базе системы спутниковой связи и вещания «Ямал» ОАО «Газпром космические системы» предоставляет пользователям:

- спутниковую емкость;
- спутниковые каналы связи и передачи данных;
- услуги спутникового цифрового телерадиовещания;
- услуги спутникового доступа в Интернет.

Емкость спутников «Ямал» полностью загружена, поэтому для дальнейшего развития операторского бизнеса компании и удовлетворения растущих потребностей клиентов ОАО «Газпром космические системы» наращивает орбитальную группировку, создавая новые спутники. Установка оборудования на Ямал позволяет избежать затрат и сокращает время на строительство наземной инфраструктуры или запуск отдельных спутников. К 2020 году планируется запуск КА «Ямал-601».

Спутниковая система связи «Ямал-601» является самой надежной спутниковой группировкой в России, и в настоящее время и одна из причин - это то, что КА располагаются на геостационарной орбите, что дает полный охват территории России и близлежащих стран Европы.

Для нормальной полноценной работы используются 1 активный спутник, который размещен на геостационарной орбите высотой примерно 35786 км и позицией 90°.

Именно такая высота обеспечивает спутнику период обращения, равный периоду вращения Земли относительно звезд. Орбитальная скорость составляет порядка 27000 км/ч. Спутники поддерживают связь с соседними спутниками через трансивер Ku диапазона.

Комбинированная полезная нагрузка спутника включает в себя 17 транспондеров по 72 МГц в С-диапазоне, 18 транспондеров по 72 МГц

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru/>

в стандартном Ku-диапазоне и 16 транспондеров по 500МГц в «плановых» полосах Ka-диапазона, как показано на рисунках 9,10,11.

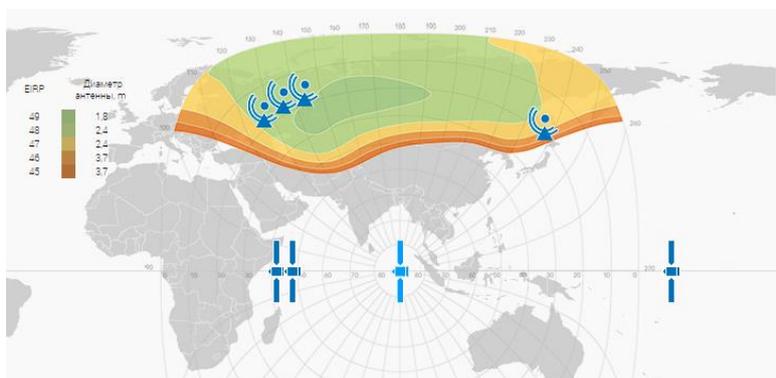


Рисунок 1. Российский луч С-диапазона «Ямал-601»

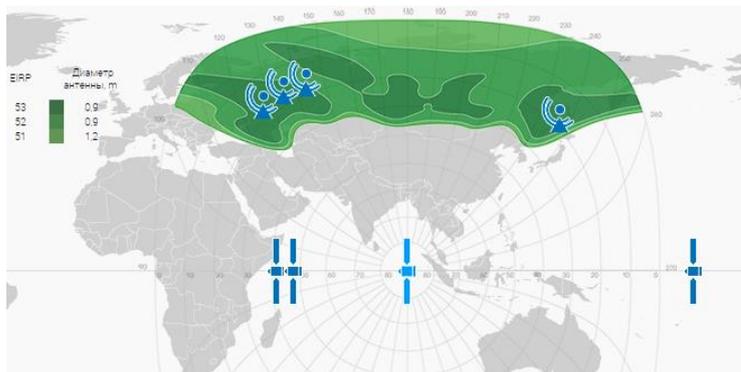


Рисунок 2. Российский луч Ku-диапазона «Ямал-601»

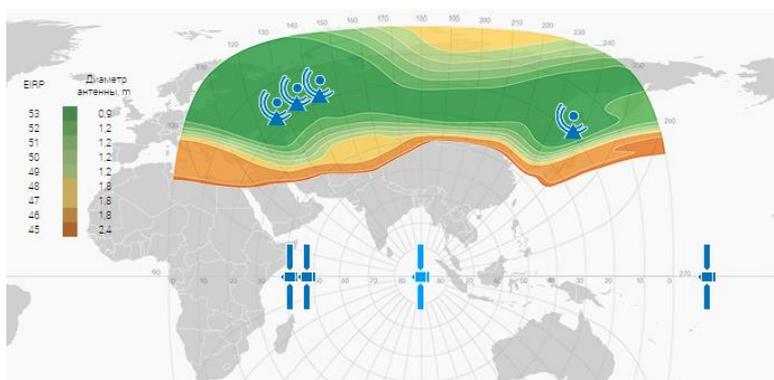


Рисунок 3. Северный луч Ka-диапазона «Ямал-601»

Таким образом, суммарная емкость спутника «Ямал-601» составляет 53 физических транспондера или 88 транспондеров в эквиваленте 36 МГц. Технические характеристики спутника «Ямал-601» представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики спутника «бмал-401»

Орбитальная позиция	90 град. в.д.
Точность удержания спутника в орбитальной позиции по широте и долготе	0,10
Точность ориентации связанных осей спутника	0,10
Выходная мощность передатчика транспондера в насыщении не менее	120 Вт
Усилители мощности	Линеаризованные
Рабочий диапазон частот	от 14 344 до 14 416 МГц (линия вверх) от 11 544 до 11 616 МГц (линия вниз)
Поляризация	горизонтальная (линия вверх) и вертикальная (линия вниз)
Кроссполяризационная развязка, обеспечиваемая бортовой антенной на прием и на передачу в пределах заданной зоны обслуживания, включая ее границу	не менее 30 дБ
Зона обслуживания спутника	Вся территория Российской Федерации кроме северо-восточных территорий Республики Саха (Якутия) и Камчатской области, Чукотского автономного округа и Корякского автономного округа
Диапазон частот	С, Ку, Ка
Количество и полоса транспондеров, МГц	17x72 (С-диапазон) 18x72 (Ку-диапазон) 18x36 (Ка-диапазон)
Выходная мощность передатчиков, Вт	90 (С-диапазон) 150 (Ку-диапазон)
Дата запуска	15 декабря 2014 года

На спутнике «Ямал-601» в С-диапазоне формируется российский луч с контурной диаграммой направленности. Для работы в Ка-диапазоне формируются два фиксированных луча с контурной диаграммой направленности. Зона обслуживания Северного луча, помимо всей видимой территории России, включает в себя и территории сопредельных государств. Наибольшая энергетика этого луча сосредоточена в наиболее населенных частях

территории России. Для работы в Северном луче используются полосы частот стандартного Ku-диапзона (18 транспондеров по 72 МГц). Российский луч строго очерчивает границы России. В этом луче работают транспондеры (18 транспондеров по 36 МГц) в «плановых» полосах частот.

Геостационарные спутники «Ямал» обеспечивают высокий уровень резервирования и доступности системы. Запланированные приемники установленные на спутнике будут иметь еще более высокие требования по надежности и возможности осуществлять обновления программного обеспечения на орбите, чтобы уметь адаптироваться к будущим изменениям в случае необходимости.

В конце 2013 года Советом директоров «Газпром космические системы» была одобрена Долгосрочная программа развития компании до 2020 года, предусматривающая развитие системы спутниковой связи и вещания «Ямал» (создание и запуск дополнительно трех спутников связи: «Ямал-401» (запущен в 2014 году), «Ямал-601» и «Ямал-501»).

Чем дальше от приемника находится самолет, тем выше он должен лететь, чтобы его сигнал могла принимать наземная станция. Поэтому в данное время исследуется техническое решение получить сигнал на орбите. Идея заключается в том чтобы разработать систему, отказаться от любой дорогостоящей модернизации, и исследовать результаты, полученные посредством спутника. По сути своей, это технологическое решение, определяющее координаты самолета используя для этого систему GPS, и затем, транслирующее их и другие данные (высота, скорость, рейс и пр.) о полете как в наземные центры диспетчерам, так и другим самолетам.

Размещение передатчика на спутнике позволит максимизировать безопасность полетов за счет увеличения зон покрытия. Кроме того, выбор геостационарной группировки позволяет использовать минимум КА для

передачи информации, т.к российский луч имеет полный охват территории России.

Принцип обнаружения сигнала сверху, а не снизу, был доказан Немецким воздушно-космическим центром (DLR, Deutschen Zentrums für Luft – und Raumfahrt). Эксперименты DLR и ESA показали, что относительно высокомошные сигналы могут фиксироваться из космоса на высоте более 29820 км от Земли. Это означает, что для составления глобальной карты перемещения воздушных судов могут использоваться спутники, а не только наземные станции и собственно самолёты. Такие сигналы относительно мощные, они предназначены для работы на больших расстояниях.

На данный момент предполагается оценить каково максимальное число перемещающихся самолетов различных размеров, которое сможет обработать спутник. При этом важен тип и размер антенны, установленной на самолете, а так же необходимо произвести расчет затухания сигнала.

### **Организация спутниковой связи на ВС**

Во всем мире существует достаточно много организаций, которые предоставляют услуги передачи данных с космических сегментов на станции, диспетчерские терминалы и пр. В России существует компания под названием «Русат», которая предоставляет организацию в передачи информацией различного рода по средствам ССС.

Оператор спутниковой связи «Русат» предоставляет услуги связи с 2002 г. Деятельность компании началась со строительства собственного телепорта, который расположен в Москве и на сегодняшний день представляет собой технологическую базу, созданную с учетом современных требований, предъявляемых к построению узлов связи.

Стратегия развития бизнеса «Русат» предполагает предоставление разнонаправленных услуг на основе спутниковых технологий. Кроме строительства VSAT-сети, универсальный оператор распространяет программы

радио- и телевидения, организует телерепортажи и видеоконференции, строит сети мобильного телевидения, развивает новое для России направление – предоставление услуг связи на подвижных объектах.

«Русат» задействует частотный ресурс спутников «Intelsat-904», «Ямал-401», а также Intelsat-15, что позволяет компании предоставлять услуги на всей территории России и в странах ближнего зарубежья.

Сеть «Русат» состоит из центральной земной станции (ЦЗС) и 1450 малых земных станций спутниковой связи.

Специалисты «Русат» изучают и тестируют новые технологии для предоставления инновационных услуг на основе телепорта. Так, в феврале 2010 г. компания представила на выставке CSTB новые технологии для организации передвижной и подвижной спутниковой связи, в частности антенную систему Ku-диапазона StarCar, мобильную антенну PIONEER 120/150 производства США и моторизованную антенну быстрого развертывания QDMA 1,2. Подробно рассмотрим антенну быстрого развертывания и ее технические характеристики.

Ультра-легкая антенна QDMA VertexRSI диаметром 1,2 метра. Эта портативная антенна состоит из сегментированного композитного рефлектора и моторизованной опоры позиционера. Уникальный оптический профиль рефлектора обеспечивают хорошие характеристики и замечательную кросс-поляризационную развязку. Антенна QDMA 1,2м, включая облучатель в виде структуры ступенчатого кольцевого фокуса, упакована в транспортный ящик.

Основными особенностями антенны являются следующие:

- встроенные крепеж/защелки;
- для сборки или развертывания не требуются инструменты;
- замечательные характеристики кросс-поляризации;
- РЧ компоненты с низкими потерями
- автоматическое развертывание, калибровка, контролер автоперехода

в позицию с помощью DVB приемника;

- внутренний приемник GPS.
- несколько цветов исполнения (черный, белый, зеленый, желто-коричневый и другие);
- различные конфигурации транспортных ящиков;
- приемник сигнала маяка и сопровождения;
- анализатор спектра;
- компьютер дистанционного управления с сенсорным дисплеем, с возможностью работы в экстремальных условиях.

Технические характеристики антенны представлены в таблицах 2,3.

Таблица 2

### Механические характеристики антенны QDMA 1,2

Механические характеристики	
Размеры отражателя	120 см.
Тип антенной системы	Двухзеркальная прямофокусная
Материал рефлектора	Углекислотный армированный полимер
Конфигурация поставки	Ящики соответствуют правилам транспортировки авиа багажа (правило 229 см) (зависит от опций)
Угол поворота по азимуту	$\pm 150^\circ$ ( $\pm 200^\circ$ опция)
Угол поворота по углу места	$-1^\circ \dots 91^\circ$
Регулировка плоскости поляризации	$\pm 90^\circ$
Фланец облучателя	WR75

Таблица 3

### Технические характеристики антенны QDMA 1,2

Технические характеристики	
Контролер системы наведения	Встроенный контролер наружного исполнения, с поддержкой наведения одной кнопкой. Питание: 115/230 В, 50/60 Гц
Рабочий диапазон частот	10,700 – 12,750 / 13,750 – 14,500 ГГц
Коэффициент усиления (частота – 14,25 ГГц)	43,60 дБ
Добротность	19 дБ/К (угол места - $20^\circ$ , частота - 11,7 ГГц)

Данный тип антенны устанавливается на фюзеляже ВС. В составе авиатерминала сеть предполагает использование следующего оборудования:

модема ArcLight VMBR 1505, приемопередатчика (HIGH POWER TRANSCEIVER), контролера управления антенной. Структурная схема показана на рисунке 4.

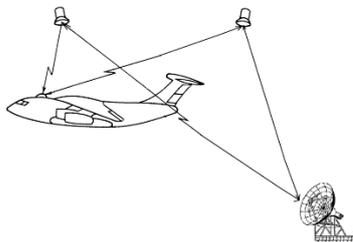


Рисунок 4. Схема приема сигнала со спутника на ВС

Существует способ установки приемопередающей антенны воздушного судна и в радиопрозрачный обтекатель. Данная антенна установлена под кабиной штурмана. Используемая локация была не лучшим вариантом установки на ВС, потому что качественного изображения можно было видеть только в горизонтальном полете.

Рассмотренная моторизованная антенна быстрого разворачивания с автоматическим наведением на спутник в данном случае является перспективной в авиации и использовании данной системы на всех самолетах нашей страны.

#### Расчет затухания сигнала

Полное затухание радиосигналов в линиях спутниковой связи определяется потерями в свободном пространстве  $L_0$  и дополнительными потерями  $L_{доп}$ , обусловленными особенностями функционирования систем спутниковой связи:

$$L = L_0 + L_{доп}, \quad (7)$$

Потери энергии радиоволн при распространении в свободном пространстве определяются в соответствии с выражением:

$$L_0 = 20 \cdot (\lg f + \lg d) + 32,45, \quad (8)$$

где  $f$  – частота, МГц, для спутников Ямал  $f \uparrow = 29 \text{ ГГц}$ ;  $f \downarrow = 19 \text{ ГГц}$ ;

$d$  – удаление приемника от НКА.

$$d = 42644 \cdot \sqrt{1 - 0,295 \cdot \cos \varphi} \quad (9)$$

Координаты города Курск: 51° с.ш. и 42° в.д.;

Рассчитаю удаление приемника для Курска:

$$\cos \psi_{\text{Курск}} = \cos 51 \cdot \cos (42 - 41,39) \approx 0,63;$$

$$d_{\text{Курск}} = \sqrt{1 - 0,295 \cdot 0,63} = 38477,79 \text{ км}$$

Потери энергии радиоволн при распространении в свободном для линии вверх и вниз:

$$L_{\text{Курск}\uparrow} = 20 \cdot (\lg 29000 + \lg 38477,79) + 32,45 = 213,4 \text{ дБ};$$

$$L_{\text{Курск}\downarrow} = 20 \cdot (\lg 19000 + \lg 38477,79) + 32,45 = 209,73 \text{ дБ};$$

Дополнительные потери радиосигнала на участках радиолинии космической связи  $L_d$  зависят от многих факторов, проявляющихся независимо друг от друга и может быть представлено в виде суммы:

$$L_{\text{доп}} = L_a + L_g + L_H + L_P, \quad (10)$$

где  $L_a$  - потери в атмосфере без осадков, поглощение в свободной атмосфере;

$L_g$  - потери в осадках;

$L_H$  - потери из-за наведения антенн;

$L_P$  - потери из-за несогласования поляризации антенн.

Потери в атмосфере без осадков  $L_a$  определяется главным образом поглощением в тропосфере и имеет ярко выраженный частотно-зависимый характер с резонансными пиками на частотах 22 и 165 ГГц (для водяных паров) и 60 и 120 ГГц (для кислорода). Очевидно, что длина пути радиосигнала в атмосфере зависит не только от эквивалентной толщины атмосферы, но и от угла места антенны земной станции и высоты ЗС над уровнем моря  $H_{зс}$ . Потери энергии радиосигнала в атмосфере без осадков не зависят от времени (имеют место в течение 100% времени работы радиолинии) и определяются по графикам в зависимости от частоты радиосигнала  $f_{рс}$  и угла места антенны ЗС  $\beta^\circ$  при  $H_{зс} = 0$ .

Угол места  $\beta^\circ$ , или угол возвышения – это угол между линией горизонта и направлением на спутник в вертикальной плоскости. Чем ближе орбитальная позиция спутника к географической долготе места приема, тем больше угол места, то есть тем выше спутник над горизонтом. По мере удаления орбитальной позиции от географической долготы угол места уменьшается и в конце концов становится отрицательным, то есть спутник с такой орбитальной позицией скрывается за горизонтом.

Угол места рассчитан через онлайн калькулятор, посредством ввода значения координат городов и спутника, показанных на рисунках 17 – 19. Так как используется низкоорбитальный спутник, то его координаты постоянно изменяются. На Интернет-ресурсе можно следить какой спутник располагается над определенной территорией земной поверхности. В каждый момент времени несколько спутников пролетают над одним местом. Для расчетов взят был момент времени 23.03.2016 12:26 и спутник Ямал-202, его долгота составила  $41,38^\circ$  в.д, как показано на рисунке 5.

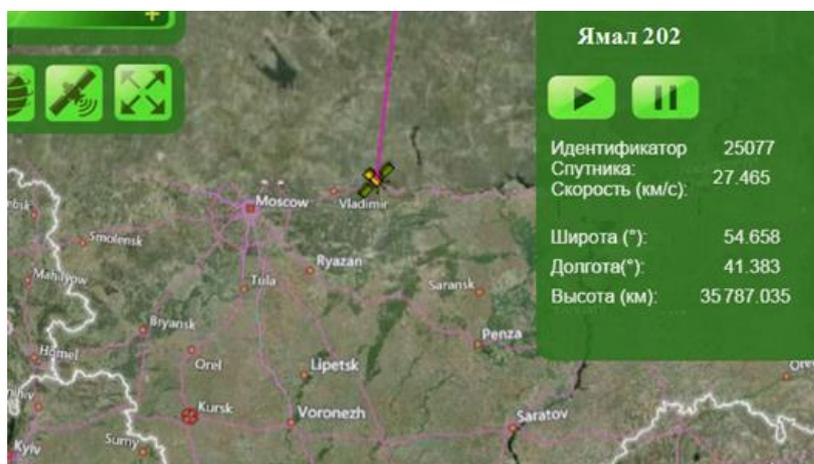


Рисунок 5. Окно интернет ресурса для выбора координаты спутника

По результатам онлайн калькулятора угол места получился равным до  $30^\circ$ . Т.к. на графиках для определения потери энергии радиосигнала в атмосфере без осадков на рисунке 6 нет кривой для получившегося значения угла места, то искать буду для значения  $\beta^\circ = 10^\circ$ , тем самым заранее завывисив потери энергии

радиосигнала в атмосфере без осадков. Однако неточность составит не более 0,1 дБ, следовательно на точность расчёта не повлияет.

На рисунке 6 изображен график для потери энергии радиосигнала в атмосфере без осадков.

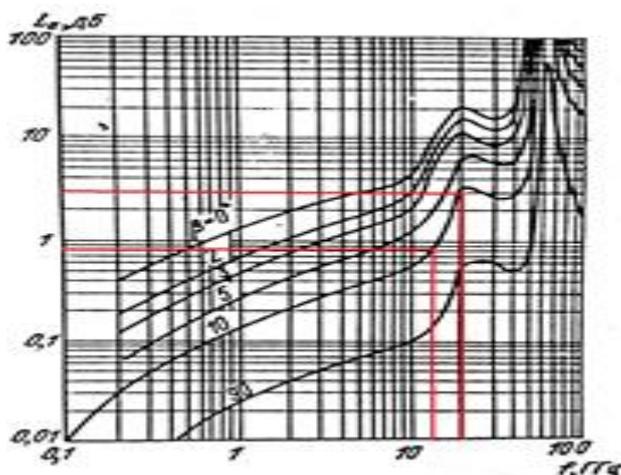


Рисунок 6. Потери энергии радиосигнала в атмосфере без осадков.

Таким образом, для города Курск на линии вверх ( $f=30$  ГГц)  $La=3$  дБ, на линии вниз ( $f=19$  ГГц)  $La=0,9$  дБ.

Потери в гидрометеорах определяются по формуле:

$$Lg = Lg' \cdot l_{\text{э}} \quad (11)$$

где  $Lg'$  – коэффициент поглощения в дожде;

$l_{\text{э}}$  – эквивалентная длина пути.

По рисунку 7 определим коэффициент поглощения в дожде -  $Lg'$ . Согласно климатическим условиям для территории России интенсивность дождя равна 6 мм/ч.

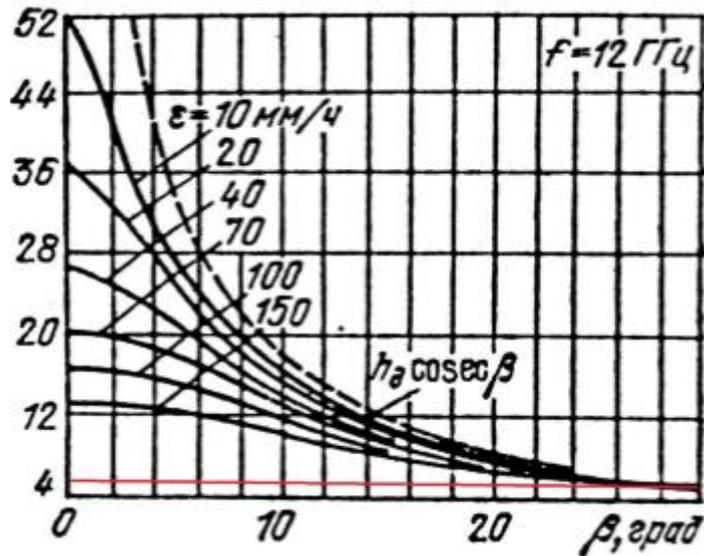


Рисунок 7. График для определения эквивалентной длина пути в зависимости от угла места

На рисунке 8 определяется коэффициент поглощения в дожде в зависимости от частоты.

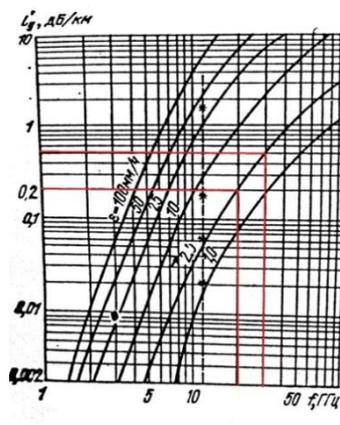


Рисунок 8, График для определения коэффициент поглощения в дожде в зависимости от частоты

Так как угол места колеблется от  $20^\circ$  до  $30^\circ$ , то значение эквивалентной длины пути одинаково для г. Курск  $l_\theta = 3 \text{ км}$ . Коэффициент поглощения в дожде  $L_{g'}$  для линии вверх ( $f_\uparrow = 30 \text{ ГГц}$ )  $L_{g' \uparrow} = 0,5 \text{ дБ}$ , а для линии вниз ( $f_\downarrow = 20 \text{ ГГц}$ )  $L_{g' \downarrow} = 0,2 \text{ дБ}$ .

Тогда:

$$Lg\uparrow = 0,5 \cdot 3 = 1,5 \text{ дБ};$$

$$Lg\downarrow = 0,2 \cdot 3 = 0,6 \text{ дБ}.$$

Известно, что чем выше частота, тем больше сигнал подвержен затуханию в дожде. Расчеты совпадают с данным утверждением, следовательно, потери в гидрометеорах найдены верно.

Дополнительное затухание сигнала за счет неточного наведения антенн ЗС и РС друг от друга  $L_H$  обусловлено рефракцией радиоволн, что приводит к образованию угла между истинным и кажущимся направлениями ИСЗ.

При других методах наведения с учетом погрешностей конструкции устройства наведения можно принять  $L_H = 1$  дБ.

Потери из-за несогласованности поляризации антенн зависят от эллиптичности поляризации, т.е от углового раскрыва приемной и передающей антенны. Примем углы раскрыва приемной и передающей антенны одинаковыми.

$$\text{Тогда } l_1 = 5^\circ / 5^\circ = 1, l_2 = 5^\circ / 5^\circ = 1. L_l = 0,2 \text{ дБ}.$$

Таким образом, дополнительные потери равны:

$$L_{\text{доп}}\uparrow = 3 + 1,5 + 1 + 0,2 = 5,7 \text{ дБ} = 3,72 \text{ раз};$$

$$L_{\text{доп}}\downarrow = 0,9 + 0,6 + 1 + 0,2 = 2,7 \text{ дБ} = 1,86 \text{ раз}.$$

Теперь можно рассчитать суммарное затухание  $L$  радиосигналов в линиях спутниковой связи:

$$L_{\text{курс}}\uparrow = 213,4 + 5,7 = 219,1 \text{ дБ};$$

$$L_{\text{курс}}\downarrow = 209,73 + 2,7 = 212,43 \text{ дБ}.$$

Таким образом, получаем ослабление радиосигнала для 3х городов в среднем на участке вверх  $L=219$  дБ и на участке вниз  $L=212$  дБ . Видно, что ослабление на участке вниз меньше, чем на участке вверх примерно на 7 дБ. Такое отличие связано с тем, что радиосигнал на более высоких частотах претерпевает большее затухание, чем на частотах ниже. Именно этим обусловлен тот факт, что для значения частоты радиосигнала на участке РС-ЗС

всегда выбирается меньшее значение, чем на участке ЗС-РС. Ведь на борту ИСЗ энергетика жёстко ограничена, что сильно оказывает влияние на максимальную выходную мощность передатчика ретранслятора связи.

Для мониторинга авиации предлагается использовать геостационарные спутники для передачи данных между самолетами и наземными службами с использованием кодового разделения сигнала с бифазной модуляцией, что позволит улучшить качество и скорость передачи. Для наглядной демонстрации проведенных исследований моделируется система взаимодействия группировки низкоорбитальных спутников с Землей и с самолетами посредством ADS-B технологии, исследуется зависимость параметров модели для обеспечения эффективной, точной и высокой скорости передачи данных.

Сигнал от передатчика самолета отправляется по каналу передачи в свободном пространстве, в течение которого возникают потери и помехи. Затем данные получают транспондером и возвращаются на земную станцию. Наземная станция выполняет операцию обратную передатчику. Данная схема спутникового канала связи позволяет исследовать и анализировать эффективность обнаружения и исправления ошибок. Она может быть использована для нахождения оптимального метода обеспечения эффективной, точной и высокоскоростной передачи данных. Также может быть использована в качестве базовой модели для реального исследования спутникового канала связи, развития и строительства в целях обеспечения связи и наблюдения между двумя самолетами и наземными станциями, используя несколько спутников.

Модель спутникового канала связи состоит из источника информации, передатчика (OFDM-передатчик, усилитель для передатчика антенны), канал передачи (потери в свободном пространстве, смещение фазы/ частоты), приемо-передающее устройство спутника (коэффициент усиления антенны приемника и передатчика, смещение фазы/ частоты, усилитель), приемник земной станции (коэффициент усиления приемной антенны, OFDM-приемник,

компенсатор усиления и фазы, носитель данных, демодулятор), блок оценки отношения сигнал/шум, блок измерения скорости, блок подсчета битовых ошибок.

Двоичный блок Бернулли генерирует случайные двоичные числа, используя распределение Бернулли. Передатчик посылает данные по каналу, но перед отправкой сигнал должен быть адаптирован к условиям канала с использованием конкретной адаптивной модуляции (BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM) и схемы кодирования. Данные передаются с использованием технологии OFDM, поэтому сигнал должен быть преобразован в символ OFDM путем выполнения соответствующих операций, которые включают частотно-временное преобразование и добавление защитного периода. Затем сигнал передается по каналу передачи, где возникают потери в мощности сигнала, приемно-передающее устройство изменяет частоту, поляризацию и усиление принимаемого сигнала и отправляет повторно назад на земную станцию. Наземная станция выполняет операцию обратную передатчику. Уровень битовых ошибок используется для количественной оценки канала.

Данная модель спутникового канала связи позволяет исследовать и анализировать эффективность обнаружения и исправления ошибок. Она может быть использована для нахождения оптимального метода обеспечения эффективной, точной и высокоскоростной передачи данных. Также может быть использована в качестве базовой модели для реального исследования спутникового канала связи, развития и строительства в целях обеспечения связи и наблюдения между самолетами и наземными станциями, используя несколько спутников.

**Определение метода модуляции для эффективной передачи сигнала с помощью программного пакета SystemView**

Одним из важных вопросов при решении вопроса передачи сигналов с высокой помехоустойчивостью, возможностью маскировки (защиты)

информации и т. д. является выбор методов модуляции. Одним из наиболее часто используемых показателей, характеризующих качество цифровых систем передачи, является коэффициент двоичных ошибок BER, который представляет собой отношение ошибочно принятых бит к общему количеству переданных бит. Ошибки в общем случае могут привести к разным последствиям. В некоторых случаях пакеты могут потеряться, а в других - поступать не по назначению. Потеря пакетов происходит из-за ошибок при маршрутизации или вследствие перегрузок.

Выбор модуляции основывается на наилучших показателях BER, коэффициент рассчитывается для различных видов модуляции по следующим формулам:

**Binary Phase Shift Keying (BPSK) Modulation:**

$$P_{b,bpsk} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right), \quad (12)$$

**Pulse Amplitude Modulation (4-PAM):**

$$P_{b,4pam} = \frac{3}{8} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{2E_b}{5N_0}} \right), \quad (13)$$

**4QAM (QPSK):**

$$P_{b,4QAM} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right), \quad (14)$$

**16QAM:**

$$P_{b,16QAM} = \frac{3}{8} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{4E_b}{10N_0}} \right), \quad (15)$$

**16PSK:**

$$P_{b,16QAM} = \frac{3}{8} \operatorname{erfc} \left[ \left( \sqrt{\frac{4E_b}{10N_0}} \right) \sin \left( \frac{\pi}{16} \right) \right], \quad (16)$$

На рисунке 8 приведен график полученных расчетных значений.

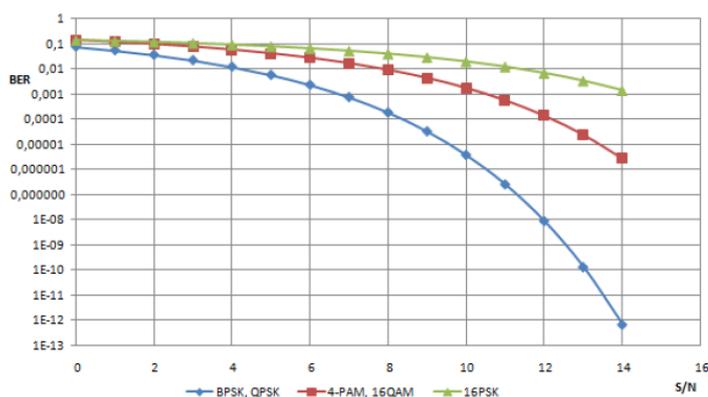


Рисунок 8. Зависимость BER от уровня сигнал/шум.

где 4 PAM - амплитудно-полярная модуляция, Polar Amplitude Modulation;  
 16 QAM - Квадратурная амплитудная модуляция, Quadrature Amplitude Modulation;  
 16 PSK - Фазовая манипуляция, phase-shift keying.

Правильность расчетов проверяется на модели собранной в программе System View. При распространении в свободном пространстве сигнал искажается. В модели разработанной в пакете System View учтен только принципиально неустранимый внутренний белый шум приемника  $n(t)$ , который является аддитивной помехой. Затухание сигнала не учитывается.

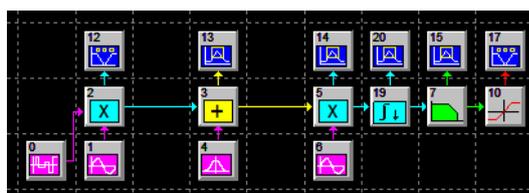


Рисунок 9. Окно программы SystemView. Структурная схема системы связи с сигналами ФМ2

В схеме на рисунке 9 использованы следующие обозначения со следующими параметрами:

- источник данных ПСП - псевдослучайной импульсной последовательности  $D(t)$  (значения +1 или -1) - элемент 0;
- модулятор сигнала ФМ2 реализован элементами 0, 1, 2;

- модель канала реализована элементами 3, 4;
- демодулятор сигнала реализован элементами 5,6, 19,7,10;
- в схему введены анализаторы для наблюдения процессов в различных точках модели.

На схеме представлены анализаторы двух видов: элементы 12 и 17 (отображают процессы в окне схем System View и в окне «Анализа») и элементы 12 – 17. Графики анализаторов 13, 14, 20, 15 можно наблюдать только в окне «Анализа».

В таблице 4 указаны параметры элементов использованных для моделирования.

Таблица 4

Параметры элементов

№ эл-та на рис. 23	Название библиотеки	Название группы	Название элемента	Параметры
0	Source	Noise / PN	PN seq	Amp = 1 v. Offset = 0 v Rate = 100 Hz Levels = 2 Phase = 0 deg
1	Source	Periodic	Sinusoid	Amp = 1 v(0-p) Freq = 100 Hz Phase = 0 deg Output 0 = Sine t2
№ эл-та на рис. 23	Название библиотеки	Название группы	Название элемента	Параметры
2	Multiplier	–	Multiplier	
3	Adder	–	Adder	
4	Source	Noise / PN	Gauss Noise	Std Dev = 500e-3 v Mean = 0 v Max Rate = 1e+3Hz
5	Multiplier	–	Multiplier	
6	Source	Periodic	Sinusoid	Amp = 1 v(0-p) Freq = 100 Hz Phase = 0 deg Output 0 = Sine t5
7	Operator	Filters/ System	Linear Sys	Butterworth Lowpass IIR 3 Poles; Fc = 10 Hz

№ эл-та на рис. 23	Название библиотеки	Название группы	Название элемента	Параметры
				Quant Bits = None Init Cndtn = Transient
10	Function	Non Linear	Limiter	Max Input = $\pm 0$ v Max Output = $\pm 1$ v Max Rate = $1e+3$ Hz
12, 17	Sink	Graphic Display	System View	12, 17
19	Communication	Filters /Data	Intg-Dmp	Continuous Intg Time = 5e-3sec Offset = 0 sec Max Rate = $1e+3$ Hz
13, 14,20 15	Sink	Analysis /Export	Analysis	-

Основной задачей, возлагаемой на демодулятор, является восстановление импульсной последовательности на входе модулятора. Качество работы демодулятора определяют средним числом ошибочно демодулированных сигналов при известном числе демодулированных сигналов или вероятностью ошибки Рош. В англоязычных источниках вводится понятие BER (Bit Error Rate), количество битовых ошибок), что является другим обозначением той же вероятности ошибок. Программа System View позволяет получить график зависимости количества битовых ошибок от уровня сигнал/шум, полученный при моделировании. На рисунке 10 графически показана разница значений BER рассчитанных с помощью Microsoft Excel и полученных при моделировании на программе System View.

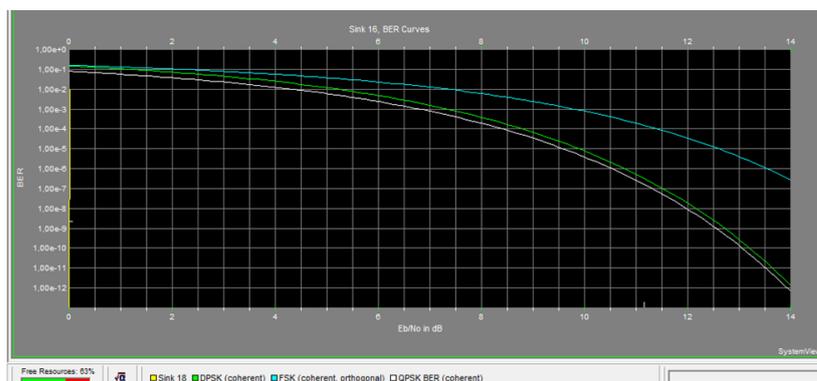


Рисунок 10. Окно программы SystemView. Зависимость BER от уровня сигнал/шум, полученная при моделировании

где FSK - частотная манипуляция, Frequency Shift Keying;

DPSK - Дифференциальная фазовая модуляция, фазоразностная модуляция, Differential Phase Shift Keying;

QPSK - Квадратурная фазовая модуляция, Quadrature Phase Shift Keying.

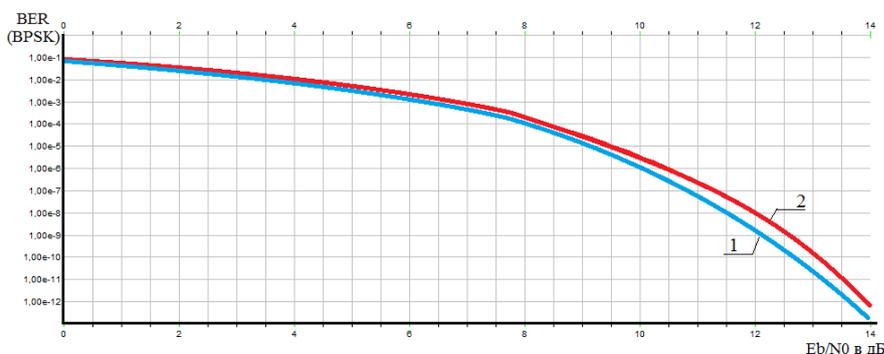


Рисунок 11. Сравнительный график значений BER рассчитанных где 1 - значение BER, полученное при моделировании;

2 - рассчитанное значение BER.

Согласно характеристикам оборудования отношение сигнал/шум больше двух. По расчетному и экспериментальному графику BER при BPSK-модуляция дает наилучшие показатели, поэтому предлагается использование данного вида модуляции

## Моделирование работы системы на программном пакете NetCracker Professional

Для наблюдения зависимостей нагрузки и среднего времени прохождения сообщения в зависимости от количества ВС собрана модель на программном пакете NetCracker Professional.

Для получения результатов и их анализа модель собиралась для увеличивающегося количества самолетов - до 15.

На рисунке 18 и 19 представлена модель, собранная на для связи с одним и пятнадцатью воздушным суднами.

В модели в качестве бортовой системы использован компьютер, роутер и приемопередающая антенна, Земная станция через сеть ATM подключена к серверу, к которому также подключается авиадиспетчерская вышка для мониторинга воздушных судов (группа рабочих станций).

Данный сервер также обрабатывает все полученные данные и представляет информацию о гражданских и мелких самолетах в понятном виде на Интернет-ресурсе удаленным пользователям.

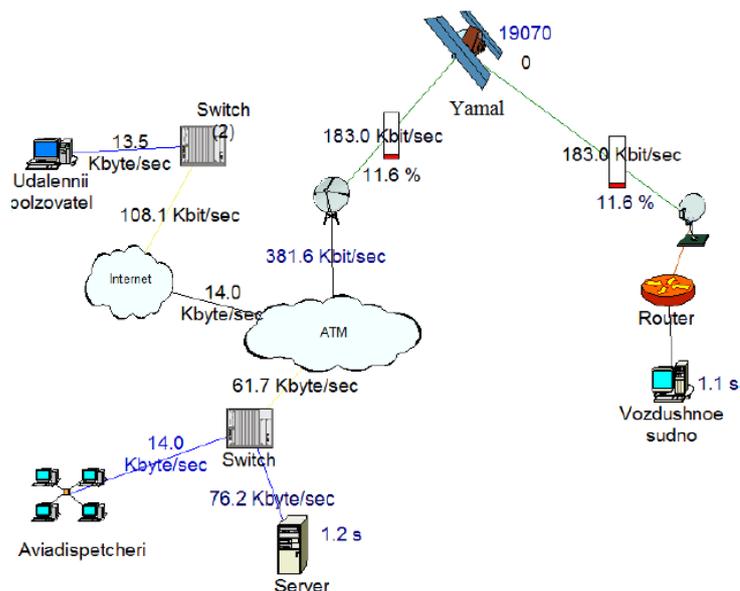


Рисунок 12. Модель передачи сообщений через спутник Ямал одним воздушным судном

На рисунке 13 показана передача информации через спутник пятнадцатью воздушными судами. Моделирования системы строилась в программе Netcracker Professional.

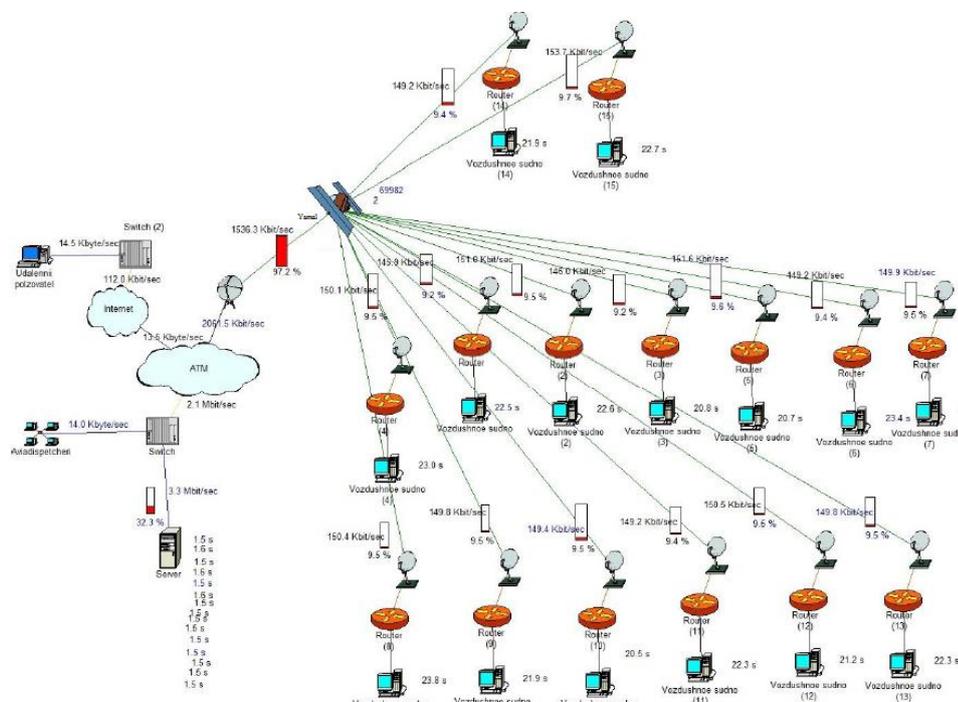


Рисунок 13. Передача данных через спутник Ямал пятнадцатью воздушными судами

В модели заданы следующие характеристики: пропускная способность канала между спутником и земной станцией задана потоком  $T1=1544$ Кбит/с; скорость передачи данных равна 56кбит/с (скорость передачи пакетов взята в качестве примера для подтверждения работоспособности системы), время между передачей данных 1 секунда; размер блока данных задан 56 Кбит. Полученные результаты отражены в приложении Б в таблице Б.1 и на рисунках 14 и 15.

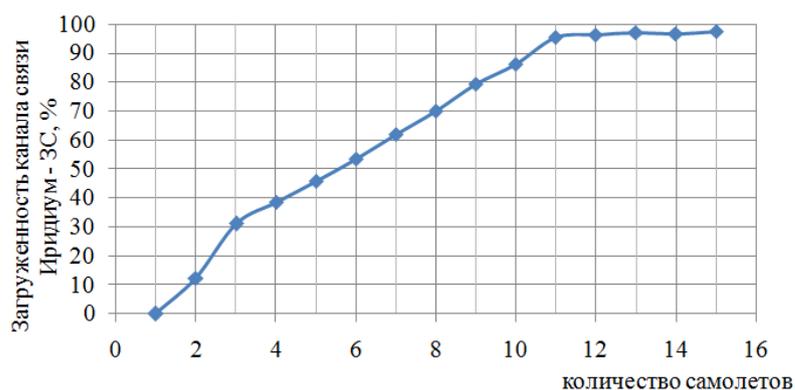


Рисунок 14. Средняя рабочая нагрузка

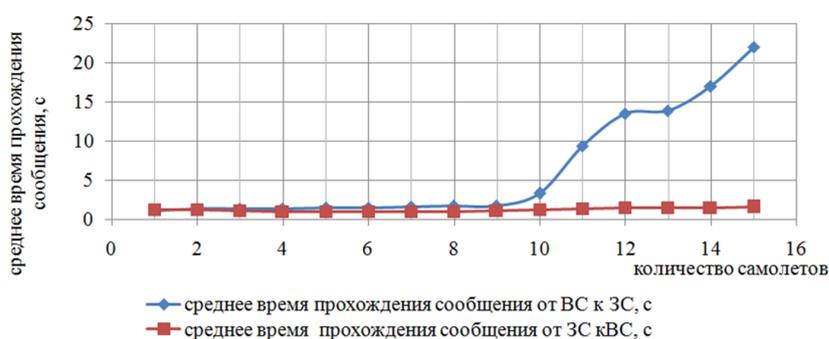


Рисунок 15. среднее время прохождения в зависимости от количества ВС

Анализ полученных данных показывает, что подключение каждого дополнительного самолета приводит к увеличению средней нагрузки, тогда как среднее время прохождения сообщений резко возрастает при количестве самолетов более 10. Загрузка канала одного спутника достигает 95% при одновременной передаче данных между 10 ВС и ЗС. Среднее время прохождения сообщений в направлении ЗС – ВС остается постоянным 1,1-1,3 секунд. Тогда как время прохождения сообщений в обратном направлении резко увеличивается при возрастании количества ВС от 10 до 12 с 1,1 секунд до 13,5, далее увеличивается до 22 секунд при подключении еще трех самолетов. Канал с пропускной способностью 1544 Кбит/с может одновременно использоваться для передачи порядка  $10 \cdot 10^3 = 10.000$  сообщений от различных ВС и обратно, что является достаточным для региональных нужд.

Для расчета и построения графика отношения количества потерянных пакетов к общему количеству переданных пакетов в зависимости от количества ВС проведено по 5 экспериментов для разного количества самолетов. Значения BER рассчитаны для каждого эксперимента и выведено среднее значение (Приложение Б, рисунок Б.2). На рисунке 38 представлены зависимости, полученные при каждом эксперименте и среднее значение BER.

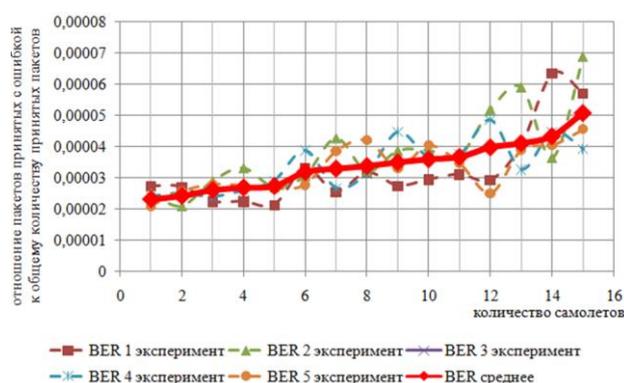


Рисунок 16. Влияние количества ВС на коэффициент ошибок BER

Из рисунка 38 видно, что с увеличением количества самолетов коэффициент BER возрастает с  $2,33 \cdot 10^{-5}$  до  $5,08 \cdot 10^{-5}$ , полученные значения говорят о стабильности работы канала.

Таким образом, при моделировании в программном пакете NetCracker Professional достигнуто следующее:

- построена модель для анализа трафика в канале связи «самолет - спутник - земля», которая использована для моделирования передачи сообщений с помощью геостационарной спутниковой системы Ямал;
- получена зависимость средней загрузки канала от количества самолетов;
- получена зависимость коэффициента BER от количества самолетов;
- модель можно применять как базовую для изучения трафика между ВС и наземными службами с использованием спутников.

## Расчет мощности передатчика

С точки зрения энергетики оба участка являются напряженными: первый - из-за тенденции к уменьшению мощности передатчиков ЗС, второй - из-за ограничений на массу, габаритные размеры, энергопотребление бортового ретранслятора, лимитирующих его мощность.

Основной особенностью ЛСС является сильное затухание сигнала в свободном пространстве на трассах большой физической протяженности, поглощение сигнала в атмосфере, фарадеевское вращение плоскости поляризации, рефракция, деполяризация и т.д. Точный учет указанных факторов, выполняемый на основе энергетического расчета ЛСС, позволяет исключить энергетические запасы, приводящие к неоправданному увеличению сложности земной и бортовой аппаратуры.

Линия спутниковой связи Ямал состоит из 2 участков: Земля-ГСР и ГСР – Земля, представлены на рисунке 17.



Рисунок 17. Устройство передачи бортовой информации в операционный центр, с помощью ССС

Суммарное отношение сигнал/шум  $(P_c/P_{ш})_{\Sigma}$  определяется требованием к вероятности ошибки передаваемой информации по ЛСС и может быть успешно определено при разных скоростях и методах помехоустойчивого кодирования, приведенным в:

$$P_{\text{пер}} = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d_2^2 \cdot L_{\text{доп}} \cdot P_{\text{ш}}}{\lambda^2 \cdot G_{\text{пер}} \cdot \eta_3 \cdot G_{\text{пр}} \cdot \eta_6} \cdot \left( \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right), \quad (17)$$

где  $d$  - удаление приемника от НКА;

$L_{\text{доп}}$  - дополнительные потери на трассе (поглощение энергии сигнала в атмосфере, потери из-за рефракции, потери из-за несогласованности антенн и т.д.);

$\lambda$  - длина волны,  $\lambda = c/f$ ;

$P_c/P_{\text{ш}}$  - отношение сигнал/шум;

$P_{\text{ш}}$  - полная мощность шума на входе приемника;

$G_{\text{пер}}$  - коэффициент усиления передающей антенны;

Диапазон частот для спутников Ямал на линии вверх диапазон Ка,  $f_{\downarrow} = 29,1-29,3$  ГГц; на линии вниз диапазон К,  $f_{\downarrow} = 19,4-19,6$  ГГц;

Спутники Ямал находятся на высоте 27810км, высоту полета самолета буду считать 100км. Тогда удаление приемника между спутником и ВС  $d_{\text{пр-ВС}} = 34810-100 = 34710$ км, между спутником и ЗС  $d_{\text{пр-ЗС}} = 34810$ км.

Коэффициенты полезного действия  $\eta_{\text{ямал}} = 0,8$ ,  $\eta_{\text{ЗС}} = 0,9$ ,  $\eta_{\text{ВС}} = 0,9$ .

Полная мощность шумов на входе приемник:

$$P_{\text{ш}} = k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f_{\text{ш}}, \quad (16)$$

где  $k$  - постоянная Больцмана:  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ ;

$T_{\Sigma}$  - суммарная эквивалентная шумовая температура;

$\Delta f_{\text{ш}}$  - полоса пропускания.

Определим суммарную эквивалентную шумовую температуру:

$$T_{\Sigma} = T_a + T_0 (1-\eta) + T_{\text{пр}} \cdot \eta, \quad (17)$$

где  $T_a$  - эквивалентная шумовая температура антенны,

$T_0$  - номинальное значение (290° К);

$T_{\text{пр}}$  - эквивалентная шумовая температура приемника,  $T_{\text{пр}} \approx 250^\circ \text{ К}$ ;

$\eta$  - КПД АВТ Земной станции.

Шумовая температура антенны складывается из нескольких составляющих:

$$T_A = T_k + T_{\text{атм}} + cT_3, \quad (18)$$

где  $T_k$  - температура обусловленная космическими излучениями;

$T_{\text{атм}}$  - температура обусловленная атмосферными излучениями;

$T_3$  - температура Земли;

$c$  - коэффициент, учитывающий долю энергии излучения принятую по боковым лепесткам диаграммы направленности.

$T_k$  также зависит от излучения галактик, излучения солнца и излучений луны и планет. Однако, на столь высоких частотах, влияние излучения галактик и планет ничтожно мало и ими можно пренебречь. Учитывая, что антенна спутника направлена соответствующим образом, излучением солнца можно также пренебречь. По таблице определяем  $T_{\text{атм}}$  для наихудших метеоусловий. Температура Земли приблизительно равна  $260^\circ \text{ К}$ .

$$T_A = 120 + 0,2 \cdot 260 = 172^\circ \text{ К},$$

$$T_\Sigma = 172 + 290(1-0,9) + 280 \cdot 0,9 \approx 453^\circ \text{ К}.$$

Ка диапазон, используемый для спутников Ямал на линии вверх, имеет широкую полосу пропускания (порядка 1000 МГц).

$$P_{\text{ш}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 453 \cdot 1000 \cdot 10^6 \approx 625,14 \cdot 10^{-14} \text{ Вт} = -112 \text{ дБВт}$$

Коэффициенты усиления согласно характеристикам выбранных антенн приведены ниже.

Передающие антенны:

$G_{\text{пер ямал}} = 18 \text{ дБ} = 63,095 \text{ раз};$

$G_{\text{пер ЗС}} = 44,8 \text{ дБ} = 30199,52 \text{ раз};$

$G_{\text{пер ВС}} = 38 \text{ дБ} = 6309,57 \text{ раз}.$

Приемные антенны:

$G_{\text{пр ямал}} = 21,5 \text{ дБ} = 141,25 \text{ раз}; 58$

$G_{\text{пр ЗС}} = 41,2 \text{ дБ} = 13182,57 \text{ раз};$

$G$  пр ВС = 36 дБ = 3981,07 раз.

Мощность передатчика нахожу по формуле (15), расчеты были проведены при помощи математического программного обеспечения MathCAD, представленные на рисунках 18-19. Перевод из Вт в дБВт и наоборот, производился с помощью онлайн-конвертера единиц измерения.

Земля – Спутник

$$\begin{aligned} d &:= 278100 & L_{dv} &:= 4.26 & P_n &:= 625.14 \cdot 10^{-14} \\ \lambda_{vv} &:= 0.01 & G_t &:= 30199.52 & G_r &:= 141.25 \\ \eta_t &:= 0.9 & & & & \\ \eta_r &:= 0.8 & SNR_{vv} &:= 26.91 & & \end{aligned}$$
$$P_{tv} := \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d^2 \cdot L_{dv} \cdot P_n \cdot SNR_{vv}}{\lambda_{vv}^2 \cdot G_t \cdot G_r \cdot \eta_t \cdot \eta_r}$$
$$P_{tv} = 28.497$$

Рисунок 18. Листинг программы MathCAD. Расчет мощности передатчика наземной станции по линии Земля - Спутник

Спутник – Земля

$$\begin{aligned} d &:= 2781000 & L_{dv} &:= 2.06 & P_n &:= 625.14 \cdot 10^{-14} \\ \lambda_{vv} &:= 0.015 & G_t &:= 63.052 & G_r &:= 13182.25 \\ \eta_t &:= 0.8 & & & & \\ \eta_r &:= 0.9 & SNR_{vv} &:= 5.21 & & \end{aligned}$$
$$P_{tv} := \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d^2 \cdot L_{dv} \cdot P_n \cdot SNR_{vv}}{\lambda_{vv}^2 \cdot G_t \cdot G_r \cdot \eta_t \cdot \eta_r}$$
$$P_{tv} = 608.556$$

Рисунок 19. Листинг программы MathCAD. Расчет мощности передатчика для КА «Ямал» по линии Спутник - ЗС

Самолет – Спутник +

$d := 2771000$	$Ldvv := 4.26$	$Pn := 625.14 \cdot 10^{-14}$
$\lambda vv := 0.01$	$Gt := 6309.52$	$Gr := 141.25$
$\eta t := 0.9$		
$\eta r := 0.8$	$SNRvv := 5.61$	

$$P_{tvv} := \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d^2 \cdot Ldvv \cdot Pn}{\lambda vv^2 \cdot Gt \cdot Gr \cdot \eta t \cdot \eta r} \cdot SNRvv$$

$$P_{tvv} = 2.823 \cdot 10^3$$

**Рисунок 20. Листинг программы MathCAD. Расчет мощности передатчика воздушного судна по линии ВС – Спутник**

Спутник – Самолет +

$d := 2771000$	$Ldvv := 2.26$	$Pn := 625.14 \cdot 10^{-14}$
$\lambda vv := 0.015$	$Gt := 63.0952$	$Gr := 3981.25$
$\eta t := 0.9$		
$\eta r := 0.8$	$SNRvv := 1.61$	

$$P_{tvv} := \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d^2 \cdot Ldvv \cdot Pn}{\lambda vv^2 \cdot Gt \cdot Gr \cdot \eta t \cdot \eta r} \cdot SNRvv$$

$$P_{tvv} = 677.756$$

**Рисунок 21. Листинг программы MathCAD. Расчет мощности передатчика Ямал по линии Спутник – ВС**

Таким образом, получены следующие необходимые значения мощности передатчиков:

- мощность передатчика ЗС = 28,497 Вт = 14.5 дБВт;
- мощность передатчика Ямала = 608,556 Вт = 30.8 дБВт;
- мощность передатчика самолета = 2,823 · 10<sup>3</sup> Вт = 4,51 дБВт;
- мощность передатчика Ямала = 677,756 Вт = 30.3 дБВт.

Сравнивая полученные расчетным путем значения мощностей с техническими характеристиками реальных антенн можно заключить, что полученные мощности могут быть заданы на имеющемся оборудовании. Следовательно, расчеты проведены правильно и соответствуют действительности.

Геостационарные спутники могут обеспечить высокий уровень резервирования и доступности системы, а возможность ретрансляции данных в режиме реального времени позволяет в полной мере использовать потенциал космического мониторинга.

Для России использование спутниковой системы для обмена сообщениями воздушных судов является преимущественным. Так как большая территория могла бы обслуживаться несколькими спутниками, а не многочисленными радарами. Размещение наземные центры сбора и обработки информации в городах России оснащены самым современным оборудованием и технологиями, которые позволяют вести обработку информации.

В статье исследована схема спутникового канала связи, которая позволяет анализировать эффективность обнаружения и исправления ошибок. Она может быть использована в качестве базовой модели для реального исследования спутникового канала связи, развития и строительства в целях обеспечения связи и наблюдения между самолетами и наземными станциями, используя один спутник.

Расчет коэффициента BER, который увеличился с  $2,33 \cdot 10^{-5}$  до  $5,08 \cdot 10^{-5}$ , показал стабильную работу канала.

Также в статье выполнены расчеты полного затухания радиосигналов в линиях спутниковой связи для города Курска, в результате в среднем на участке вверх ослабление равно 219 дБ, а на участке вниз – 212 дБ.

При расчете мощности передатчика были получены следующие необходимые значения мощности: мощность передатчика ЗС - 23,5 дБВт, спутника Ямала - 16,8 дБВт, самолета - 23,4 дБВт. Рассчитанные необходимые мощности могут быть заданы на реальном оборудовании.

### Библиографический список

1. Шевцов А. Н. Расчёт отношения сигнал/шум и определение вероятности символьной ошибки для лётной трассы «Воздушное судно – спутник Ямал – Земля» // А. Н. Шевцов, А. Н. Щитов, Д. С. Коптев / сборник научных трудов по материалам I международного научно – практического форума «Наука, технологии, техника: современные парадигмы и практические разработки». – Санкт-Петербург, 2017. – С. 572 – 605.

2. Коптев Д. С. Исследование влияния неравномерности амплитудно – частотной и фазо – частотной характеристик спутникового радиоканала на приём сигналов ФМ-2 и ФМ-4 // Д. С. Коптев, А. Н. Шевцов / сборник научных трудов по материалам XI международного междисциплинарного форума молодых ученых. – Москва, 2017. – С. 111 – 146.

3. Шевцов А. Н. Исследование опыта зарубежных авиакомпаний в вопросе обеспечения безопасности полётов гражданской авиации за счёт применения средств связи «Борт – Земля» // А. Н. Шевцов / сборник научных трудов по материалам I международной научно – практической конференции «Промышленность, сельское хозяйство, энергетика и инфраструктура: проблемы и векторы развития». – Санкт-Петербург, 2017. – С. 392 – 426.

4. Единая Система Спутниковой Связи [Электронный ресурс] // . – 7 октября 2017.

УДК 004.056

## Коптев Д. С., Шевцов А. Н. Вариант построения эффективной корпоративной системы защиты информации на делопроизводстве

**Шевцов А.Н., Коптев Д.С.**

Юго – Западный государственный университет  
Shevtsov A.N., Koptev D.S.  
Southwestern State University

***Аннотация.** Темпы развития современных информационных технологий значительно опережают темпы разработки рекомендательной и нормативно-правовой базы руководящих документов, действующих на территории России. Поэтому решение вопроса об оценке уровня защищенности информационных активов компании обязательно связано с проблемой выбора критериев и показателей защищенности, а также эффективности корпоративной системы защиты информации.*

***Ключевые слова:** Информационно-телекоммуникационная система, операционная система, система управления базами данных.*

***Abstract.** The pace of development of modern information technologies is much faster than the development of the recommendatory and regulatory framework of the governing documents in force in Russia. Therefore, the decision to evaluate the level of security of the company's information assets is necessarily related to the choice of criteria and indicators of security, as well as the effectiveness of the corporate information security system.*

***Keywords:** Information-telecommunication system, operating system, database management system.*

Современные методики управления рисками, проектирования и сопровождения корпоративных систем защиты информации должны позволять решить ряд задач перспективного стратегического развития компании.

Во-первых, количественно оценить текущий уровень информационной безопасности компании, что потребует выявления рисков на правовом, организационно-управленческом, технологическом, а также техническом уровнях обеспечения защиты информации.

Во-вторых разработать и реализовать комплексный план совершенствования корпоративной системы защиты информации для достижения приемлемого уровня защищенности информационных активов компании. Для этого необходимо:

– обосновать и произвести расчет финансовых вложений в обеспечение безопасности на основе технологий анализа рисков, соотнести расходы на обеспечение безопасности с потенциальным ущербом и вероятностью его возникновения;

– выявить и провести первоочередное блокирование наиболее опасных уязвимостей до осуществления атак на уязвимые ресурсы;

– определить функциональные отношения и зоны ответственности при взаимодействии подразделений и лиц по обеспечению информационной безопасности компании, создать необходимый пакет организационно-распорядительной документации;

– разработать и согласовать со службами организации, надзорными органами проект внедрения необходимых комплексов защиты, учитывающий современный уровень и тенденции развития информационных технологий;

– обеспечить поддержание внедренного комплекса защиты в соответствии с изменяющимися условиями работы организации, регулярными доработками организационно-распорядительной документации, модификацией технологических процессов и модернизацией технических средств защиты.

### **Проектирование корпоративной системы ЗИ**

Вариант построения корпоративной защищенной системы делопроизводства производился на основе коммерческого предприятия, где необходим электронный документооборот и защита персональных данных клиентов.

При создании такой системы защиты для начала следует учесть все слабые, наиболее уязвимые места системы обработки информации, а также их характер, направления атак на систему со стороны нарушителей, пути

проникновения в распределенные системы и несанкционированного доступа к информации.

Систему защиты нужно разрабатывать с учетом не только всех известных каналов проникновения и несанкционированного доступа к информации, но и с учетом возможности появления принципиально новых путей реализации угроз безопасности.

Так как в компьютерной сети предприятия содержится много конфиденциальных данных и имеется постоянный доступ в сеть Интернет, то первым делом нужно создать виртуальную частную сеть (VPN), далее в зависимости от типов угроз применяются технические и программные средства защиты.

### **Этапы проектирования СЗИ**

Существует множество мер, методов и средств защиты компьютерных систем. Их комплексное использование предполагает согласованное применение разнородных средств при построении целостной системы защиты, перекрывающей все существующие каналы реализации угроз и не содержащей слабых мест на стыке отдельных ее компонентов. Защита должна строиться эшелонировано. Внешняя защита должна обеспечиваться физическими средствами, организационными и правовыми мерами.

Одной из наиболее укрепленных линий обороны призваны быть средства защиты, реализованные на уровне операционной системы (ОС) в силу того, что ОС — это как раз та часть компьютерной системы, которая управляет использованием всех ее ресурсов. Прикладной уровень защиты, учитывающий особенности предметной области, представляет внутренний рубеж обороны.

Защита информации - это не разовое мероприятие и даже не совокупность проведенных мероприятий и установленных средств защиты, а

непрерывный целенаправленный процесс, предполагающий принятие соответствующих мер на всех этапах жизненного цикла АИТУ, начиная с ранних стадий проектирования, а не только на этапе ее эксплуатации.

Разработка системы защиты должна вестись параллельно с разработкой самой защищаемой системы. Это позволит учесть требования безопасности при проектировании архитектуры и в конечном счете создать более эффективные (как по затратам ресурсов, так и по устойчивости) защищенные системы.

Большинству физических и технических средств защиты для эффективного выполнения их функций необходима постоянная организационная (административная) поддержка (своевременная смена и обеспечение правильного хранения и применения имен, паролей, ключей шифрования, переопределение полномочий и т.п.). Перерывы в работе средств защиты могут быть использованы злоумышленниками для анализа применяемых методов и средств защиты, для внедрения специальных программных и аппаратных «закладок» и других средств, преодоления системы защиты после восстановления ее функционирования.

Создать абсолютно непреодолимую систему защиты принципиально невозможно. При достаточном количестве времени и средств можно преодолеть любую защиту. Поэтому имеет смысл вести речь только о некотором приемлемом (разумно достаточном) уровне безопасности.

Высокоэффективная система защиты стоит дорого, использует при работе существенную часть мощности и ресурсов компьютерной системы и может создавать ощутимые дополнительные неудобства пользователям. Важно правильно выбрать тот достаточный уровень защиты, при котором затраты, риск и размер возможного ущерба были бы приемлемыми (задача анализа риска)

Часто приходится создавать систему защиты в условиях большой неопределенности. Поэтому принятые меры и установленные средства защиты,

особенно в начальный период их эксплуатации, могут обеспечивать как чрезмерный, так и недостаточный уровень защиты. Естественно, что для обеспечения возможности варьирования уровней защищенности, средства защиты должны обладать определенной гибкостью.



Рисунок 1. Этапы построения системы защиты информации

Особенно важным это свойство является в тех случаях, когда установку средств защиты необходимо осуществлять на работающую систему, не нарушая

процесса ее нормального функционирования. Кроме того, внешние условия и требования с течением времени меняются.

В таких ситуациях свойство гибкости избавит владельцев информационного оборудования от необходимости принятия кардинальных мер по полной замене средств защиты на новые.

Суть принципа открытости алгоритмов и механизмов защиты состоит в том, что защита не должна обеспечиваться только за счет секретности структурной организации и алгоритмов функционирования ее подсистем. Знание алгоритмов работы системы защиты не должно давать возможности ее преодоления (даже автору). Однако это вовсе не означает, что информация о конкретной системе защиты должна быть общедоступна.

Механизмы защиты должны быть интуитивно понятны и просты в использовании. Применение средств защиты не должно быть связано со знанием специальных языков или с выполнением действий, требующих значительных дополнительных трудовых затрат при обычной работе законных пользователей, а также не должно требовать от пользователя выполнения рутинных малопонятных ему операций (ввод нескольких паролей и имен и т. д.).

На рисунке 15 изображены этапы, на которых проводятся работы по созданию системы ЗИ.

На первом этапе разрабатывается техническое задание на создание СЗИ:

- вводится запрет на обработку секретной (служебной) информации на всех объектах ТСОИ до принятия необходимых мер защиты;
- назначаются ответственные за организацию и проведение работ по созданию системы защиты информации;
- определяются подразделения или отдельные специалисты, непосредственно участвующие в проведении указанных работ, сроки введения в эксплуатацию системы ЗИ;

- проводится анализ возможных технических каналов утечки секретной информации;
- разрабатывается перечень защищаемых объектов ТСОИ;
- проводится категорирование ОТСС, а также ВП;
- определяется класс защищенности автоматизированных систем, участвующих в обработке секретных (служебных) данных;
- определяется КЗ;
- оцениваются возможности средств ИТР и других источников угроз;
- обосновывается необходимость привлечения специализированных предприятий для создания системы защиты информации;
- разрабатывается техническое задание (ТЗ) на создание СЗИ.

Разработка технических проектов на установку и монтаж ТСОИ производится проектными организациями, имеющими лицензию ФСТЭК.

На втором этапе:

- разрабатывается перечень организационных и технических мероприятий по защите объектов ТСОИ в соответствии с требованиями ТЗ;
- определяется состав серийно выпускаемых в защищенном исполнении ТСОИ, сертифицированных средств защиты информации, а также состав технических средств, подвергаемых специальным исследованиям и проверке; разрабатываются технические паспорта на объекты ТСОИ и инструкции по обеспечению безопасности информации на этапе эксплуатации технических средств.

На третьем этапе осуществляются:

- проведение специальных исследований и специальной проверки импортных ОТСС, а также импортных ВТСС, установленных в выделенных помещениях;
- размещение и монтаж технических средств, входящих в состав объектов ТСОИ;

– разработка и реализация разрешительной системы доступа к средствам вычислительной техники и автоматизированным системам, участвующим в обработке секретной (служебной) информации;

– приемосдаточные испытания системы защиты информации по результатам ее опытной эксплуатации;

– аттестация объектов ТСОИ по требованиям защиты информации.

Делая вывод вышесказанного, то существует четыре основных этапа построения системы защиты, которые заключаются в следующем:

1) Анализ

2) Разработка системы защиты (планирование)

3) Реализация системы защиты

4) Сопровождение системы защиты.

В информационной системе предприятия предполагается обработка персональных данных, финансовой и технической документаций, а также пересылка данных по сети Интернет. В соответствии с этим требуется обеспечить безопасность персональных данных, конфиденциальной информации и сообщений в сети Интернет.

Безопасность обеспечивается выполнением комплекса организационных и технических мер защиты, которые определяются в соответствии с нормативно-методическими документами ФСТЭК России и ФСБ России. Проектируемая система защиты должна разрабатываться с целью предотвращения ущерба от возможной реализации нарушений характеристик безопасности.

СКЗИ разрабатывается для решения следующих задач:

– разработка системы защиты ПДн, обеспечивающей нейтрализацию предполагаемых угроз с использованием методов и способов защиты ПДн, предусмотренных для соответствующего класса ИСПДн;

- создание регламента проведения мероприятий, направленных на предотвращение несанкционированного доступа к данным и (или) передачи их лицам, не имеющим права доступа к такой информации;
- недопущение воздействия на технические средства ЗИ, в результате которого может быть нарушено их функционирование;
- создание регламента мероприятий, обеспечивающих контроль за обеспечением уровня защищенности информации предприятия.

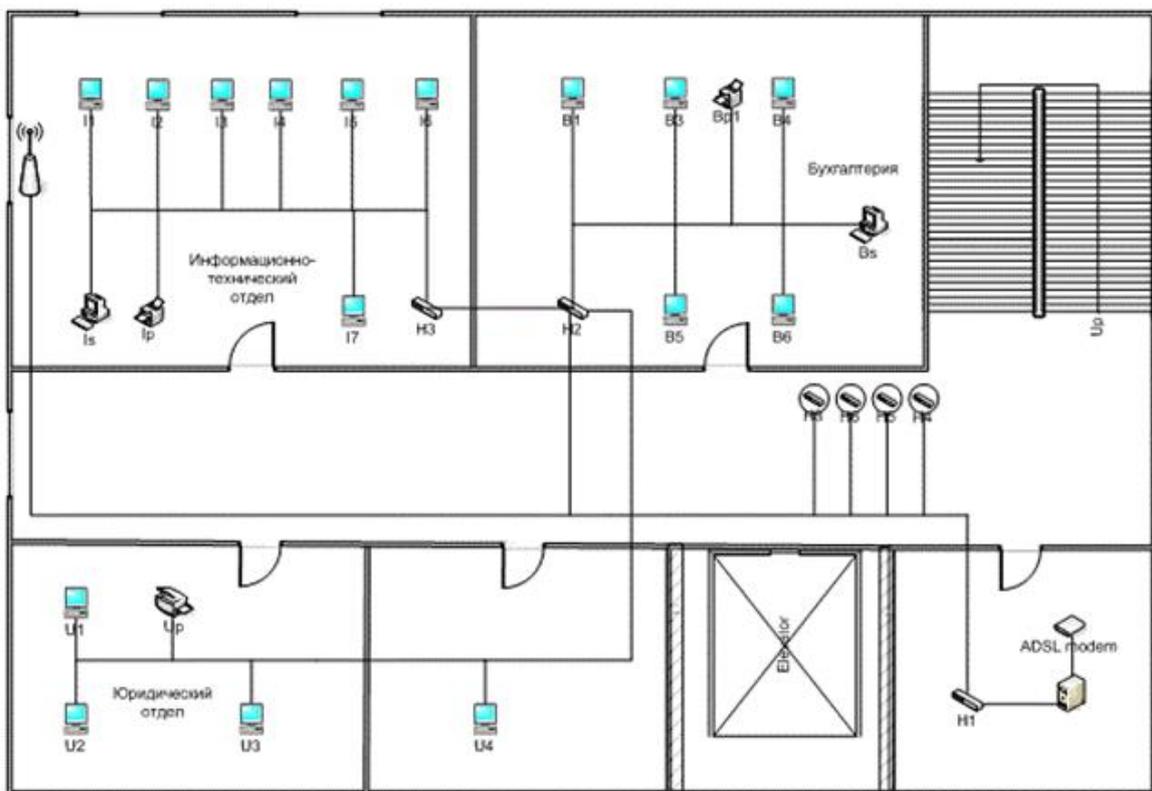


Рисунок 2. Логическая схема сети предприятия

Для того, чтобы наглядно представить соединение и местонахождение компьютеров и серверов, следует изобразить схему. На рисунке 16 рассмотрена такая схема сети предприятия, которая описывает количество компьютерной техники в сети и прокладку кабелей в случае внутренних физических угроз, таких как повреждение витой пары или использование как прослушивающего

устройства, так и специального оборудования для копирования, уничтожения информации. Следует также определить виды воздействия на защищаемую информацию (таблица 1). После чего составляется ТЗ для СКЗИ, учитывая все вышесказанное (таблица 2).

Таблица 1

**Виды и способы воздействия на защищаемую информацию**

Виды воздействия	Способы воздействия	Результаты воздействия на информацию
Непосредственное воздействие на носители защищаемой информации	<ul style="list-style-type: none"><li>- физическое разрушение</li><li>- удаление информации с носителя</li><li>- внесение фальсифицированной информации</li><li>- создание искусственных магнитных полей для размагничивания носителей</li></ul>	Уничтожение, искажение, блокирование
Несанкционированное распространение конфиденциальной информации	<ul style="list-style-type: none"><li>- словесная передача информации (сообщение)</li><li>- передача копий (снимков)</li><li>- показ носителей информации</li><li>- ввод информации в вычислительные сети</li><li>- опубликование информации в открытые печати</li></ul>	разглашение
Вывод из строя технических средств при работе с информацией и средств связи	<ul style="list-style-type: none"><li>- неправильный монтаж ТС;</li><li>- поломка (разрушение) ТС, разрыв кабельной линии связи;</li><li>- создание аварийной ситуации для ТС;</li><li>- отключение ТС от сетей питания;</li><li>- вмонтирование в ЭВМ разрушающих радио и программных закладок.</li></ul>	Уничтожение, искажение, блокирование
Создание электромагнитных излучений	<ul style="list-style-type: none"><li>- запись электромагнитных излучений</li></ul>	хищение

Таблица 2

### Информация для проектирования

Угроза	Средство защиты	Характеристика
Черви, трояны, Dos-атака, прочие опасные программы	программно-аппаратный комплекс Radware Attack Mitigation System	для отражения сетевых атак и атак на приложения в режиме реального времени, которое защищает инфраструктуру приложений и сети от эксплуатации уязвимостей, распространения вредоносных программ, кражи информации, атак на веб-сервисы и уничтожение веб-сайтов
Перехват сообщений (данных) в сети Интернет, электронный документооборот	Электронная подпись, шифрование Туннелирование, фильтрация, межсетевой экран	криптографическое преобразование информации, отсутствие искажения информации в электронном документе
Разглашение, хищение, и прочие внутренние угрозы	Отдельные серверы, пароли	Разграничение прав доступа к информации

Определив угрозы информации и задачи к системе, подбирается соответствующее техническое и программное оборудование. Одним из таких является программная система защиты данных «Аура», которая отвечает всем поставленным задачам по проектированию защищенной системы делопроизводства. Возможности ее следующие.

а) Имеется доверенная среда не только для аутентификации, но и для контроля целостности и настройки СКЗИ вне защищаемой операционной системы. Также доверенная среда СЗИ зашифрована на наличии еще одного так называемого «пароля на загрузку». Без него в этом случае загрузка любого пользователя невозможна.

б) Многоуровневый контроль целостности информационных объектов вычислительной системы. Возможность настройки реакции СЗИ на нарушение контроля целостности. Контроль целостности объектов файловой системы и

реестра до загрузки защищаемой ОС, в том числе на прозрачно зашифрованных дисках.

в) Контролируемый доступ к устройствам, файлам и папкам.

г) Создание своего шаблона для маркировки печатаемых документов.

Учёт документов и управление печатью, автоматическая маркировка.

д) Прозрачное кодирование (шифрование) жёстких дисков, съемных носителей и виртуальных дисков. Экспорт/импорт ключей кодирования на электронный ключ или внешний носитель.

е) Достоверное уничтожение информационных объектов. Возможность гибкой настройки метода затирания (выбор байта заполнения, определённое значение; количество проходов; настройка затирания с учётом особенностей файловой системы.)

ж) В системных журналах регистрировать действия пользователя и событий.

з) Разблокировка по электронному ключу или паролю, а также блокировка консоли по таймауту, извлечению электронного ключа, при загрузке защищаемой операционной системы.

и) Возможность динамической смены пароля пользователя в операционной системе для управления доступом к сетевым ресурсам.

к) Сессионный мандатный доступ.

Данное ПО разработано для всех операционных систем и является более актуальным на сегодняшний день, поэтому в разрабатываемой защищенной сети предприятия предполагается применение именно такой системы/

### **Системы разграничения доступа: межсетевой экран, VPN**

Для данного предприятия критически важным ресурсом ведения бизнеса является информация. Данная информация сохраняется в корпоративных сетях

фирмы, а также передается по внешним, неконтролируемым вычислительным сетям общего доступа (например, Интернет). Огромная доля коммерческой информации сосредотачивается в информационной системе (ИС) компании. Данные из ИС используются операторами, менеджерами, а также партнерами и клиентами посредством веб-представительства предприятия в Интернете.

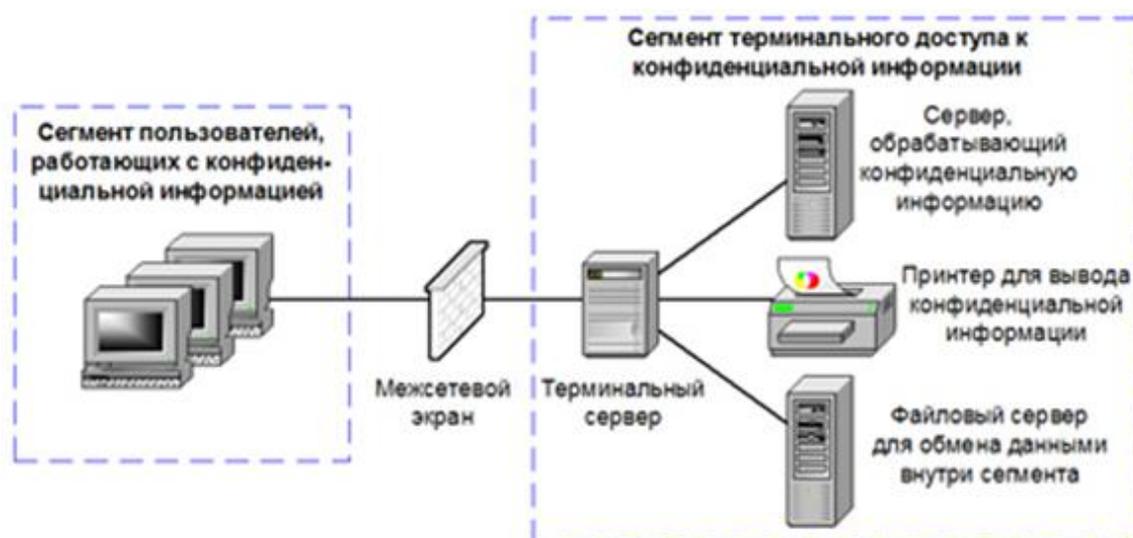


Рисунок 3. Схема установки межсетевого экрана и терминального сервера доступа к конфиденциальным данным

Подключение к Интернету должно быть защищено. Это позволяют сделать межсетевые экраны или брандмауэры. Они способны фильтровать входящий и исходящий трафик в соответствии с правилами политики безопасности. Место установки межсетевого экрана изображено на рисунке 3.

Вариант разграничения в проектируемой сети защиты информации будет строится на основе ролевой модели контроля доступа (RBAC).

Ролевой метод управления доступом контролирует доступ пользователей к информации на основе типов их активностей в системе (ролей). Под ролью понимается совокупность действий и обязанностей, связанных с определенным видом деятельности. В ролевой модели с каждым объектом сопоставлен набор разрешенных операций доступа для каждой роли (а не для каждого

пользователя). В свою очередь, каждому пользователю сопоставлены роли, которые он может выполнять. В некоторых системах пользователю разрешается выполнять несколько ролей одновременно, в других есть ограничение на одну или несколько не противоречащих друг другу ролей в каждый момент времени.

Для формального определения модели RBAC используются следующие соглашения.

S = субъект — человек или автоматизированный агент.

R = роль — рабочая функция или название, определяется на уровне авторизации.

P = разрешения — утверждения режима доступа к ресурсу.

SE = сессия — Соответствие между S, R и/или P.

SA = назначение субъекта (Subject Assignment).  $SA \subseteq S \times R$ . При этом субъекты назначаются связям ролей и субъектов в отношении «многие ко многим» (один субъект может иметь несколько ролей, а одну роль могут иметь несколько субъектов).

PA = назначение разрешения (Permission Assignment).  $PA \subseteq P \times R$ . При этом разрешения назначаются связям ролей в отношении «многие ко многим».

RH = частично упорядоченная иерархия ролей (Role Hierarchy).  $RH \subseteq R \times R$ .

На возможность наследования разрешений от противоположных ролей накладывается ограничительная норма, которая позволяет достичь надлежащего разделения режимов. Например, одному и тому же лицу может быть не позволено создать учетную запись для кого-то, а затем авторизоваться под этой учетной записью.

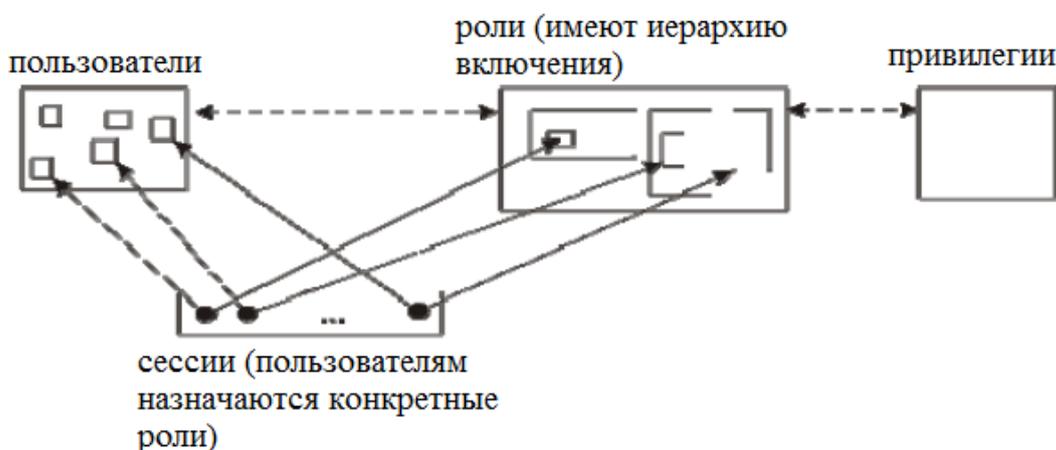


Рисунок 4. Схема ролевой модели контроля доступа (RBAC)

Основные достоинства ролевой модели заключаются в следующем.

1) Простота администрирования. Нет необходимости прописывать разрешения для каждой пары «объект-пользователь». Вместо этого прописываются разрешения для пар «объект-роль» и определяются роли каждого пользователя. При изменении области ответственности пользователя, у него просто изменяются роли.

2) Принцип наименьшей привилегии. Ролевая модель позволяет пользователю регистрироваться в системе ролью, минимально необходимой для выполнения требуемых задач. Запрещение полномочий, не требуемых для выполнения текущей задачи, не позволяет обойти политику безопасности системы.

3) Разделение обязанностей. RBAC широко используется для управления пользовательскими привилегиями в пределах единой системы или приложения. Список таких систем включает в себя Microsoft Active Directory, SELinux, FreeBSD, Solaris, СУБД Oracle, PostgreSQL 8.1, SAP R/3 и множество других, эффективно применяющих RBAC. С помощью RBAC могут быть смоделированы дискреционные и мандатные системы управления доступом.

**В целях обеспечения защиты информации на предприятии, обязательно устанавливается порядок допуска к работе с конфиденциальными источниками:**

– решение о доступе сотрудника к определенному разделу банковской информации принимается руководством предприятия;

– отдел банковских и информационных технологий обеспечивает защиту отдельных файлов и программ от чтения, удаления, копирования лицами, не допущенными к этому;

– доступ к компьютерной сети Банка осуществляется только с персональным паролем (пользователь должен держать в тайне свой пароль. Имя пользователя и пароль на вход в автоматизированную банковскую систему должны быть отличны от имени пользователя и пароля в общую компьютерную сеть Банка);

– категорически запрещается снимать несанкционированные копии с носителей банковской информации, знакомить с содержанием электронной информации лиц, не допущенных к этому.

При разработке системы защиты информации также разграничения прав доступа к информации в зависимости от должности работников предприятия (таблица 3).

Таблица 3

**Разграничение прав доступа к конфиденциальной информации предприятия**

Должность	Права доступа
Генеральный директор	Полный доступ
Заместитель директора	Полный доступ
Главный бухгалтер	Доступ к экономической и юридической части документов предприятия
Начальник отдела продаж	Доступ к к экономической части документов предприятия
Офис-менеджер	Доступ к отчетам, прайс-листам
Секретарь	Доступ к отчетам, прайс-листам
Системный администратор	Полный доступ

Также вводятся уровни доступа для проверки прав на осуществление чтения-записи информации:

**1) Для пользователя (субъекта):**

- RAL – уровень доступа; пользователь может получать (читать) информацию, RAL-уровень которой не выше его собственного уровня доступа;
- WAL – уровень доверия на понижение уровня конфиденциальности; пользователь не может вносить информацию с уровнем доступа (RAL-уровнем) более низким, чем данный WAL-уровень пользователя. Иными словами, пользователь не может сделать доступную ему информацию менее конфиденциальной, чем указано в данном параметре.

**2) Для информации:**

- RAL – уровень чтения; пользователь может получать (читать) информацию, RAL-уровень которой не выше его собственного RAL-уровня (может читать менее конфиденциальные данные);
- WAL – уровень ценности или уровень доступа на запись (модификацию, удаление); пользователь может модифицировать (удалять) информацию, WAL-уровень которой не выше его RAL-уровня.

## **Криптографические методы защиты**

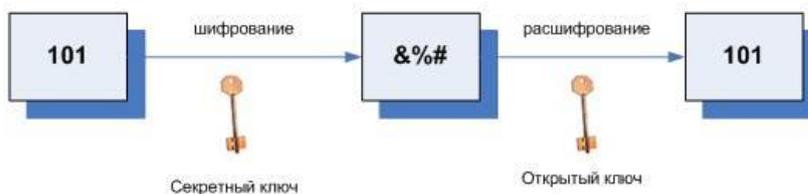
В проектируемой системе на предприятии будет использоваться электронная цифровая подпись, поэтому следует рассмотреть несколько методов криптозащиты.

Методы защиты информации путем шифрования (криптографические) основаны на изменении информации с помощью секретных ключей особого вида. В основе технологии криптографии электронных данных – алгоритмы преобразования, методы замены, алгебра матриц. Стойкость шифрования зависит от того, насколько сложным был алгоритм преобразования. Зашифрованные сведения надежно защищены от любых угроз, кроме физических.

Электронная цифровая подпись (ЭЦП) – параметр электронного документа, служащий для подтверждения его подлинности. Электронная цифровая подпись заменяет подпись должностного лица на бумажном документе и имеет ту же юридическую силу. ЭЦП служит для идентификации ее владельца и для подтверждения отсутствия несанкционированных преобразований. Использование ЭЦП обеспечивает не только защиту информации, но также способствует удешевлению технологии документооборота, снижает время движения документов при оформлении отчетов.

В криптографии с симметричными ключами (классическая криптография) абоненты используют один и тот же общий ключ (секретный элемент) как для шифрования, так и для расшифрования данных.

Обладание закрытым ключом  
позволяет посылать  
аутентифицированные  
сообщения



Обладание открытым ключом  
позволяет посылать  
шифрованные сообщения

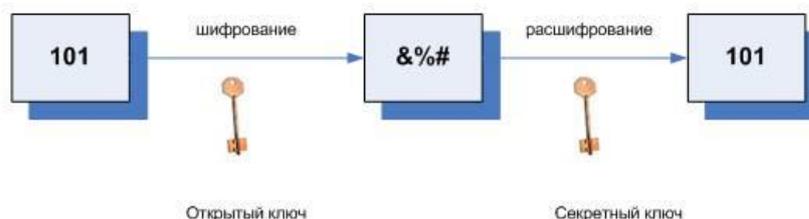


Рисунок 5. Два свойства криптографии с открытыми ключами

Следует выделить следующие преимущества криптографии с симметричными ключами:

- относительно высокая производительность алгоритмов;
- высокая криптографическая стойкость алгоритмов на единицу длины ключа.

К недостаткам криптографии с симметричными ключами следует отнести: необходимость использования сложного механизма распределения ключей и технологические трудности обеспечения неотказуемости.

На рисунке 19 представлены два свойства систем с открытыми ключами, позволяющие формировать зашифрованные и аутентифицированные сообщения. Криптография с открытыми ключами (рисунок б), в которой используется не один секретный, а пара ключей: открытый (публичный) ключ и секретный (личный, индивидуальный) ключ, известный только одной

взаимодействующей стороне. В отличие от секретного ключа, который должен сохраняться в тайне, открытый ключ может распространяться публично.

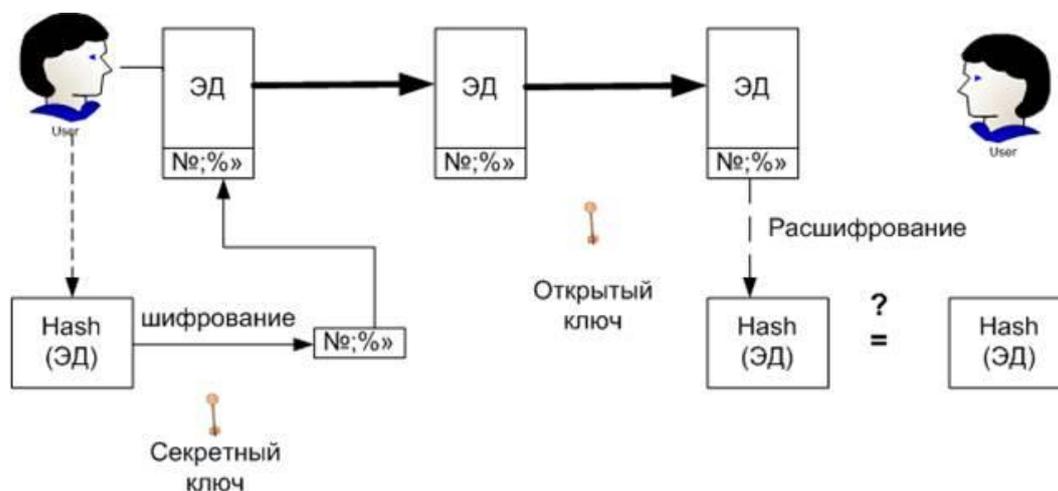


Рисунок 6. Схема ЭЦП с открытыми ключами

Реализация схемы ЭЦП связана с вычислением хэш-функции (дайджеста) данных, которая представляет собой уникальное число, полученное из исходных данных путем его сжатия (свертки) с помощью сложного, но известного алгоритма. Хэш-функция является однонаправленной функцией, т.е. по хэш-значению невозможно восстановить исходные данные. Хэш-функция чувствительна к всевозможным искажениям данных. Кроме того, очень трудно отыскать два набора данных, обладающих одним и тем же значением хэш-функции.

Схема формирования подписи электронного документа его отправителем включает вычисление хэш-функции ЭД и шифрование этого значения посредством секретного ключа отправителя. Результатом шифрования является значение ЭЦП ЭД (реквизит ЭД), которое пересылается вместе с самим ЭД получателю. При этом получателю сообщения должен быть предварительно передан открытый ключ отправителя сообщения.

Схема проверки (верификации) ЭЦП, осуществляемая получателем сообщения, состоит из следующих этапов. На первом из них производится расшифрование блока ЭЦП посредством открытого ключа отправителя. Затем вычисляется хэш-функция ЭД. Результат вычисления сравнивается с результатом расшифрования блока ЭЦП. В случае совпадения, принимается решение о соответствии ЭЦП ЭД. Несовпадение результата расшифрования с результатом вычисления хеш-функции ЭД может объясняться следующими причинами:

- в процессе передачи по каналу связи была потеряна целостность ЭД;
- при формировании ЭЦП был использован не тот (поддельный) секретный ключ;
- при проверке ЭЦП был использован не тот открытый ключ (в процессе передачи по каналу связи или при дальнейшем его хранении открытый ключ был модифицирован или подменен).

Реализация криптографических алгоритмов с открытыми ключами (по сравнению с симметричными алгоритмами) требует больших затрат процессорного времени. Поэтому криптография с открытыми ключами обычно используется для решения задач распределения ключей и ЭЦП, а симметричная криптография для шифрования.

Широко известна схема комбинированного шифрования (рисунок 7), сочетающая высокую безопасность криптосистем с открытым ключом с преимуществами высокой скорости работы симметричных криптосистем. В этой схеме для шифрования используется случайно вырабатываемый симметричный (сеансовый) ключ, который, в свою очередь, зашифровывается посредством открытой криптосистемы для его секретной передачи по каналу в начале сеанса связи.



Рисунок 7. Схема комбинированного шифрования

Проектируемая СКЗИ предприятия будет включать комбинированное шифрование.

### Алгоритм обеспечения конфиденциальности информации

В беспроводной локальной сети предприятия вопрос прослушивания очень важен. Для обеспечения современного уровня безопасности стандарт IEEE 802.11 включает схему WEP. Для обеспечения конфиденциальности и целостности информации используется алгоритм, основанный на шифровании и дешифровании RC4.

Процесс шифрования и дешифрования передаваемой информации поясняет схема на рисунке 8. Алгоритм обеспечения целостности – это простая 32-битовая последовательность циклической проверки четности с избыточностью (CRC), присоединяемая к концу кадра MAC.

Для процесса шифрования 40-битовый секретный ключ делится между двумя общающимися сторонами. К секретному ключу присоединяется вектор инициализации (IV). Получившийся блок – это начальное число генератора псевдослучайной последовательности (PRNG), определенного в RC4. Генератор

создает последовательность битов, длина которой равна длине кадра MAC плюс CRC.

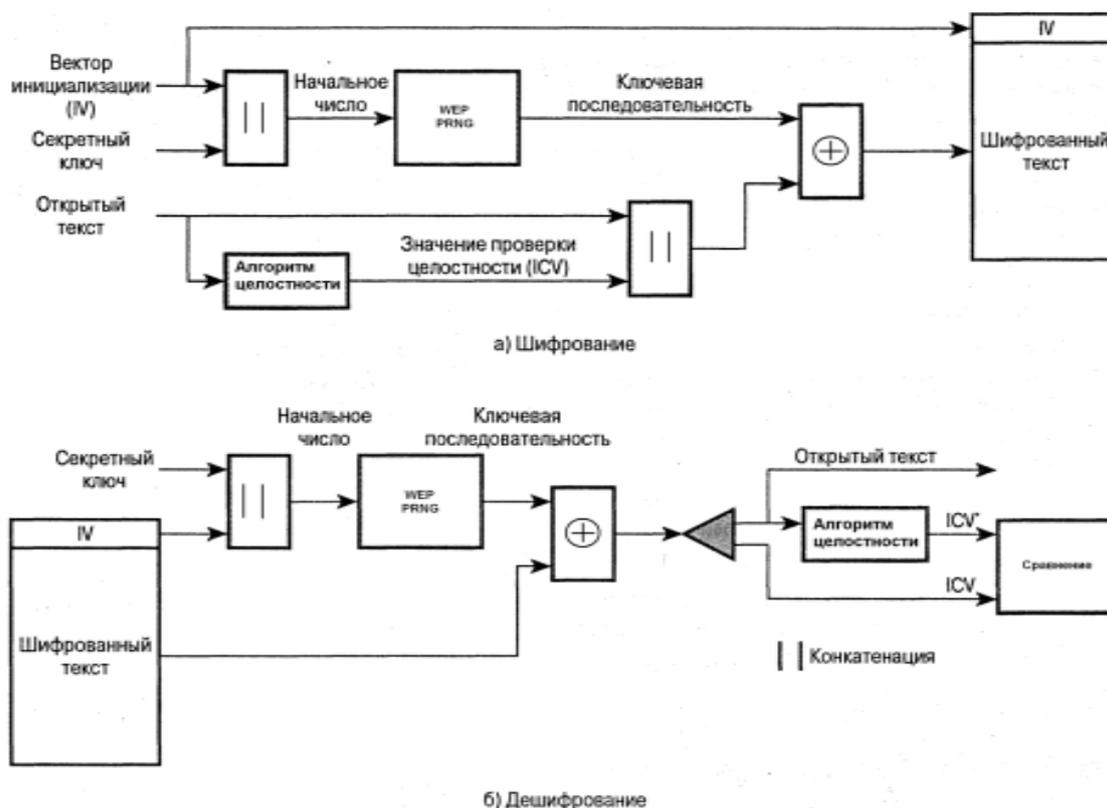


Рисунок 8. Структурная схема, поясняющая алгоритм шифрования

Побитовое применение операции исключающего ИЛИ к кадру MAC и псевдослучайной последовательности дает шифрованный текст. К данному тексту присоединяется вектор инициализации, и результат шифрования передается. Вектор инициализации периодически меняется (при каждой новой передаче), следовательно, меняется и псевдослучайная последовательность, что усложняет задачу расшифровки перехваченного текста.

После получения шифрованного сообщения (рисунок 22 б) приемник извлекает вектор инициализации и присоединяет его к совместно используемому секретному ключу, после чего генерирует ту же псевдослучайную последовательность, что и источник на передающей стороне[20]. К полученному

таким образом ключу и поступившим данным побитово применяется операция исключающего ИЛИ, результатом которой является исходный передаваемый текст.

Таким образом, если взять исходный текст, применить к нему операцию ключевой последовательности и операцию исключающего «ИЛИ», а затем применить операцию исключающего «ИЛИ» к полученному результату и к той же ключевой последовательности, то в итоге получится исходный текст.

На заключительной операции приемник сравнивает поступившую последовательность CRC и последовательность CRC, вычисленную по восстановленным данным: если величины совпадают, данные считаются неповрежденными.

### **Структурно-функциональная организация разрабатываемой системы**

С учетом выше сказанного и составленного данная СКЗИ будет содержать систему ограничения доступа, которая позволяет гарантированно блокировать загрузку операционной системы компьютера в случае, если пользователь при входе не предъявил определенный набор ключевых элементов.

В этом случае при загрузке компьютера, до загрузки непосредственно операционной системы, аппаратное средство ограничения доступа (СОД) перехватывает управление и выполняет следующую последовательность действий:

1) Анализ наличия ключей и их проверка на корректность (СОД содержит список пользователей, которым разрешен вход на данный компьютер).

2) Отказ пользователю в загрузке компьютера или загрузка ОС компьютера.

СОД также выполняет ряд дополнительных действий, усиливающих защиту компьютеров:

– Контроль целостности важных файлов операционной системы компьютера. Пользователь может создать список файлов, которые подлежат контролю (например, файлы `io.sys`, `msdos.sys`, `autoexec.bat`, `normal.dot`, `winword.exe` и многие другие, которые находятся в постоянном использовании и возможность наличия закладок, в которых наиболее опасна), данный список заносится в СОД вместе с эталонными контрольными суммами для каждого файла.

– Регистрация в аппаратном журнале всех попыток несанкционированного доступа на компьютер.

Для обеспечения максимальной степени защиты информации на компьютере пользователя должны быть установлены компоненты, показанные на рисунке 23.

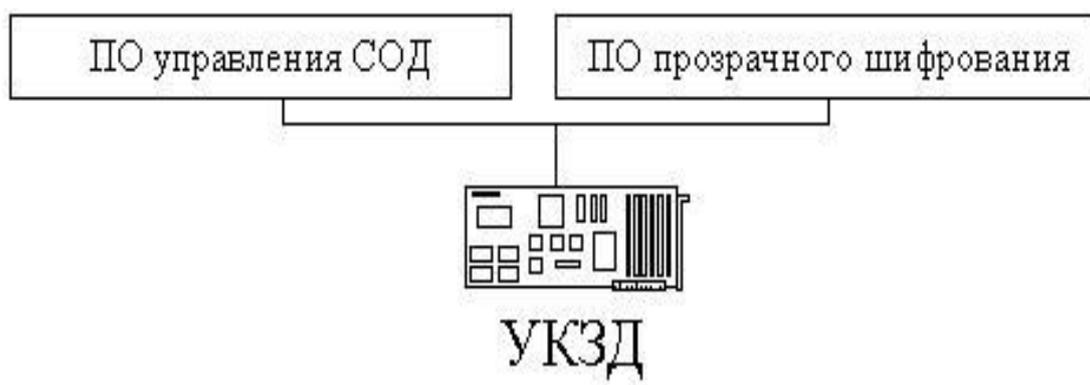


Рисунок 9. Компоненты СКЗИ

На рисунке 10 изображена организация защиты данных при подключении компьютера к сети будет возможно с помощью двух методов: туннелирования и фильтрации.



Рисунок 10. Защищенный обмен информации по сети

Алгоритм их применения следующий.

1) При отправке по сети информационного пакета производится автоматическое («прозрачное») зашифрование области данных пакета.

2) Пакет отправляется в зашифрованном виде.

3) При получении зашифрованного пакета адресатом производится анализ заголовка, если пакет пришел от несанкционированного отправителя, то он не обрабатывается.

4) В противном случае производится расшифрование области данных пакета.

Данный алгоритм решает две основные задачи.

1) Недопущение несанкционированного входа на компьютер путем фильтрации приходящих информационных пакетов и отбрасывания тех из них, которые пришли из несанкционированных источников.

2) Передача по сети только зашифрованных данных путем прозрачного шифрования всех передаваемых в сеть пакетов (и, соответственно, расшифрования). Создается «туннель» между общающимися по сети легальными пользователями.

Как говорилось ранее, в СКЗИ предприятия будет применяться электронно цифровая подпись. Она позволит с помощью криптографических методов надежно установить авторство и целостность электронного документа.

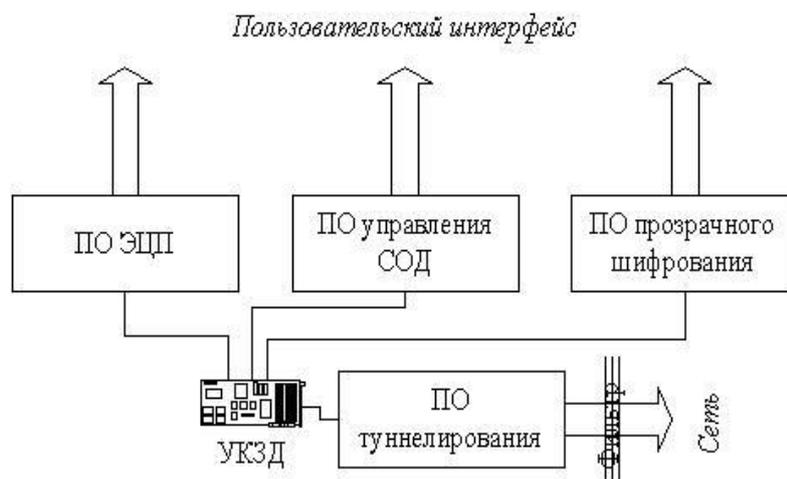


Рисунок 11. Комплексная СКЗИ коммерческого предприятия

Таким образом, полный набор средств, защищающих информацию на компьютере от несакционированного доступа и модификации, можно представить с помощью схемы, приведенной на рисунке 11.

Как уже говорилось выше, в защищенной системе предприятия предпочтительнее установка программной системы «Аура». Отличительная черта СЗИ – это возможность шифрования данных с высокой скоростью. Данная система является одной из первых отечественных программных СЗИ, поддерживающих прозрачное (автоматическое и высокоскоростное) шифрование носителей информации. К ее недостаткам относят следующее.

– Отсутствие автоматизации процесса настройки системы для использования мандатного разграничения доступа и замкнутой программной среды. Если программную систему «Аура» планируется использовать без механизмов мандатного разграничения, то нет необходимости ручной настройки.

– Мандатные метки на объекты файловой системы устанавливаются только на файловой системе NTFS.

– Разграничение доступа к устройствам действует на уровне шины по классам устройств (LPT, USB Принтеры, USB Сканеры и т.д.), не идентифицируя конкретное устройство, подлежащее разрешению или запрету. Доступ к каждому накопителю определяется явно. Данное ограничение не распространяется на накопители.

Панель управления программы «Аура» изображена на рисунке 12.

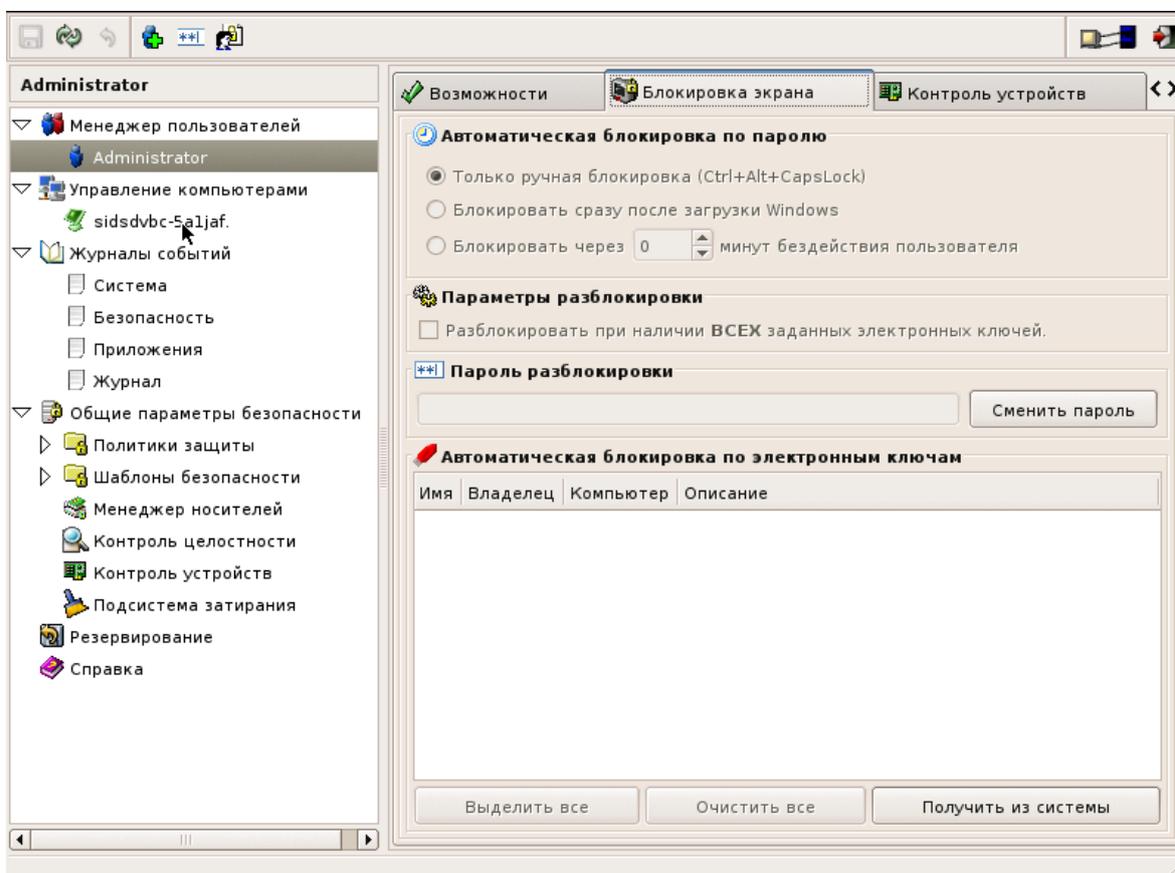


Рисунок 12. Настройка блокировки консоли системы защиты информации "Аура" в доверенной среде

Проанализировав данный раздел, можно сделать следующие выводы:

Система защиты должна строиться с учетом не только всех известных каналов проникновения и несанкционированного доступа к информации, но и с учетом возможности появления принципиально новых путей реализации угроз безопасности.

В информационной системе предприятия предполагается обработка персональных данных, финансовой и технической документаций, а также пересылка данных по сети Интернет. В соответствии с этим требуется обеспечить безопасность персональных данных, конфиденциальной информации и сообщений в сети Интернет.

В проектируемой корпоративной системе предполагается использование электронно-цифровой подписи, межсетевой экран с туннелированием и фильтрацией, программное обеспечение «Аура», а также аутентификация пользователя и разграничение доступа к конфиденциальной информации.

На рынке защиты информации предлагается много отдельных инженерно-технических, программно-аппаратных, криптографических средств защиты информации. В литературе по защите информации можно найти описание методов и средств на их основе, теоретических моделей защиты.

Для того, чтобы создать на предприятии условия эффективной защиты информации, необходимо объединить отдельные средства защиты в систему. При этом надо помнить, что главным элементом этой системы является человек. Причем человек является ключевым элементом системы и вместе с тем самым трудно формализуемым и потенциально слабым ее звеном.

Создание системы защиты информации (СЗИ) не является главной задачей предприятия, как, например, производство продукции и получение прибыли. Поэтому создаваемая СЗИ не должна приводить к ощутимым трудностям в работе предприятия, а создание СЗИ должно быть экономически оправданным. Тем не менее, она должна обеспечивать защиту важных информационных ресурсов предприятия от всех реальных угроз.

Помимо систематического применения арсенала средств необходимо использовать административные и процедурные меры, в частности регулярное изменение паролей пользователей, предотвращение доступа к физическим носителям информации и т.п.

В целом рассмотренный вариант системы позволяет оценить уровень текущего состояния защищенности информационных активов компании, а также выработать рекомендации по обеспечению (повышению) информационной безопасности компании. В том числе снизить потенциальные потери компании путем повышения устойчивости функционирования корпоративной сети, разработать концепцию и политику безопасности компании. При помощи программной системы «Аура» возможно работать в режиме прозрачного шифрования, что обеспечивает высокую степень защиты конфиденциальной информации.

Также рассмотренный вариант комплексного применения организационных и технических мер позволит предложить планы защиты конфиденциальной информации предприятия, передаваемой по открытым каналам связи, защиты коммерческих данных от умышленного искажения (разрушения), несанкционированного доступа к ней, ее копирования или использования.

#### **Библиографический список**

1. ГОСТ 51583-00 «Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении. Общие требования.» ГОСТ Р 51624-00 «Защита информации. Автоматизированные системы в защищенном исполнении. Общие требования».
2. Федеральный закон «Об информации, информатизации и защите информации», № 24-ФЗ, 1995 г., ст. 2, Конституция Российской Федерации, ст. 23, Гражданский кодекс Российской Федерации, часть I, ст.ст. 139, 128.
3. ГОСТ Р ИСО 7498-2-99 «Информационная технология. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель. Часть 1. Архитектура защиты информации».

УДК 004.73

**Коптев Д. С., Шевцов А. Н. Иммитационная модель высокоскоростной локальной вычислительной сети обмена данными**

**Imitational model of high-speed local area network**

**Шевцов А.Н., Коптев Д.С.**

Юго – Западный государственный университет

Shevtsov A.N., Koptev D.S.

Southwestern State University

***Аннотация.** В статье рассмотрено проектирование высокоскоростной локальной вычислительной сети. Для проектирования выбран следующий возможный вариант построения сети: беспроводная сеть, использующая квадратурно-амплитудную модуляцию сигнала с позиционностью 1024 с применением технологии ортогонально-частотного мультиплексирования.*

***Ключевые слова:** фазовая манипуляция, физический уровень, амплитудно-частотная характеристика, промышленный стандарт стека протоколов.*

***Abstract.** The article considers the design of a high-speed local area network. For design, the following possible option for building a network is chosen: a wireless network using quadrature-amplitude modulation of a signal with a positional 1024 using orthogonal frequency multiplexing technology.*

***Keywords:** phase shift keying, physical layer, amplitude-frequency characteristic, industrial standard protocol stack.*

Математическим моделированием называется построение и использование математических моделей для исследования поведения систем или объектов в различных условиях, для получения каких-либо характеристик оригинала без проведения измерений или минимальным их количеством. В рамках математического моделирования сложились два подхода:

- аналитический;
- имитационный.

Основа аналитического подхода – построение зависимостей, выраженных в виде формул, которые связывают параметры и элементы системы. Такой подход долгое время и был собственно математическим моделированием. Однако при рассмотрении сложных систем построение математических зависимостей весьма затруднительно, так как требуется

провести значительное количество измерений для получения удовлетворительных значений параметров.

Анализ процессов функционирования сложных систем с помощью только Основным элементом данных в интерактивной системе MATLAB является массив. Это позволяет решать различные задачи, связанные с техническими вычислениями, особенно в которых используются матрицы и вектора, в несколько раз быстрее, чем при написании программ с использованием скалярных языков программирования.

Simulink, сопутствующая MATLAB программа, – интерактивная система для моделирования нелинейных динамических систем. Она представляет собой среду, которая позволяет моделировать процесс путем перетаскивания блоков диаграмм на экране и их манипуляцией. Simulink работает с линейными, нелинейными, непрерывными, дискретными, многомерными системами. Также есть возможность интеграции с Stateflow для моделирования поведения, вызванного событиями.

Интерактивная среда Simulink позволяет использовать готовые библиотеки блоков для моделирования различных промышленных систем, а также применять модельно-ориентированный подход при разработке систем управления, средств цифровой связи и устройств реального времени.

Дополнительные пакеты расширения Simulink позволяют решать весь спектр задач от разработки концепции модели до тестирования, проверки, генерации кода и аппаратной реализации.

Simulink Library Browser (средство просмотра Библиотеки Simulink) содержит в себе библиотеку блоков наиболее часто используемых для моделирования систем. Можно выполнять симуляцию динамических свойств системы и просматривать результаты, как только симуляция началась. Чтобы гарантировать заданную скорость симуляции и точность, Simulink предоставляет

ODE решатели с фиксированным и переменным шагом, графический отладчик и подпрограмму оценки времени выполнения отдельных функций модели.

Вышеописанные преимущества делают Simulink наиболее популярным инструментом для проектирования систем управления и коммуникации, цифровой обработки и других приложений моделирования.

Таким образом, среда динамического моделирования Simulink является наиболее удобным программным средством для построения имитационных моделей сетевых устройств генерации и формирования, приема и обработки радиосигналов.

### **Имитационная модель сетевого устройства генерирования и формирования радиосигналов**

В настоящее время используются следующие структурно-функциональные схемы передающей части цифровой системы связи:

- архитектура передающей части цифровой системы связи с аналоговой квадратурной обработкой сигнала;
- архитектура передающей части цифровой системы связи с цифровой квадратурной обработкой сигнала.

Достоинством второго подхода является полное избавление от проблем аналоговой квадратурной обработки сигнала, так как цифровая обработка сигналов позволяет создать квадратурный гетеродин с идеальной разностью фаз и одинаковой амплитудой выходных сигналов, а операции перемножения и фильтрации в цифровом виде выполняются абсолютно идентично для квадратурных каналов. Платой за преимущества является требование к высокой частоте работы ЦАП [17].

Несущие частоты должны удовлетворять требованию ортогональности. Физический смысл этого требования заключается в следующем: спектр каждой несущей после модуляции должен иметь «нули» на частотах, на которых расположены остальные несущие. Выполнение этого условия обеспечивает

отсутствие взаимных помех и независимую передачу информации на каждой несущей.

На рисунке 1 показан спектр одной несущей в результате модуляции ее сигналом прямоугольной формы.



Рисунок 1. Огибающая спектра одной несущей с номером  $k$  при модуляции OFDM

Исходя из условия ортогональности, частоты несущих должны располагаться на оси частот с шагом, обратным величине  $T_s$  – времени передачи одного символа. При этом значения каждой частоты определяются выражением:

$$f_k = f_0 + k \cdot \left( \frac{1}{T_s} \right), \quad (1)$$

где  $k = 0, 1, 2, \dots, n-1, N$ .

Таким образом, получается ряд частот, расположенных равномерно и с общим спектром, достаточно близко приближающимся к прямоугольной форме, что позволяет эффективно использовать частотный канал передачи (рисунок 2).

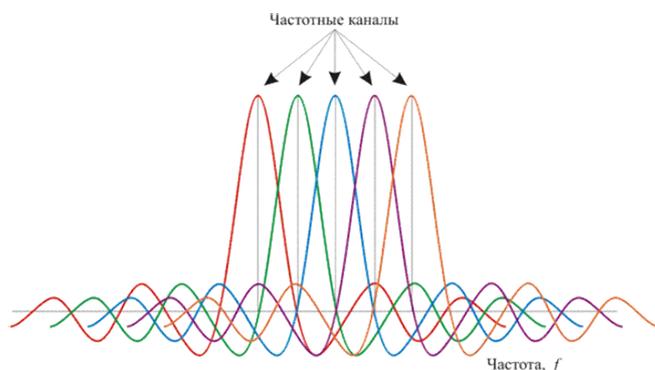


Рисунок 2. Спектр передаваемого сигнала при модуляции OFDM

В связи с тем, что в данном разделе разрабатывается передающее устройство с использованием технологии ортогонального частотного мультиплексирования, то архитектура передающей части цифровой системы связи с цифровой квадратурной обработкой сигнала будет иметь вид, представленный на рисунке 3.

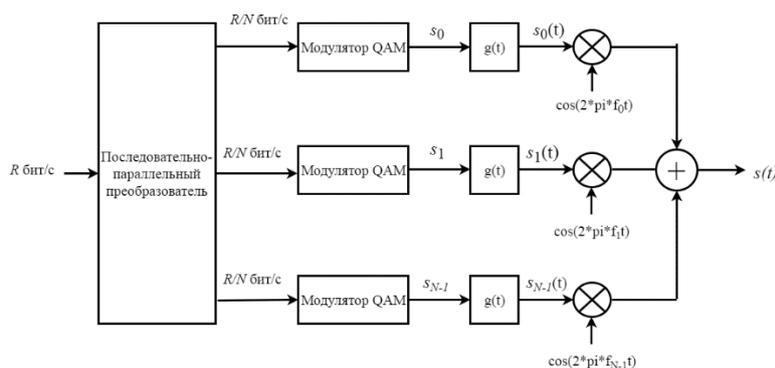


Рисунок 3. Архитектура передающей части цифровой системы связи с цифровой квадратурной обработкой сигнала с использованием технологии OFDM

Далее представлена имитационная модель передающего устройства цифровой системы связи с использованием модуляции QAM-1024 и технологии OFDM. На рисунке 9 показан элемент разработанной системы передающего устройства.

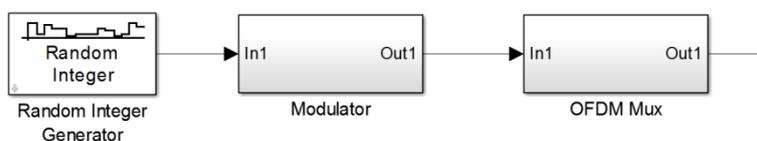


Рисунок 4. Общий вид передающего сетевого устройства

Передающее сетевое устройство состоит из следующих элементов:

- Random Integer Generator – генератор случайных чисел;
- Modulator – блок формирования комплексной огибающей в амплитудно-фазовом пространстве;
- OFDM Mux – блок OFDM мультиплексирования.

**Random Integer Generator** – генератор случайных целых чисел в диапазоне  $[0, M-1]$ , где  $M$  – параметр, устанавливаемый в настройках блока. Установленный параметр может быть, как скаляром, так и вектором. Если это скаляр, то все выходные случайные величины являются независимыми и одинаково распределенными.

На рисунке 10 показано окно настройки параметров для генератора случайных чисел. В окне **Set size** устанавливается диапазон выходных значений. Блок генерирует целые числа в диапазоне от 0 до  $N-1$ , где  $N$  – установленный размер диапазона. Окно **Source of initial seed** устанавливает исходное значение для генератора случайных чисел. Есть возможность задать параметр **Auto** или указать пользовательское значение. Чтобы использовать различные начальные значения, необходимо указать параметр **Interpreted execution**, после чего станет доступным окно **Initial Seed**, позволяющее указать пользовательское исходное значение для потока случайных чисел. Окно **Sample Time** устанавливает время выборки. **Samples per frame** задает число выборок на кадр в одном канале выходного сигнала. В окне **Output data type** устанавливается тип выходных данных. **Simulate using** задает режим моделирования, в данном окне можно выбрать режим моделирования с генерацией кода или режим моделирования без генерации кода.

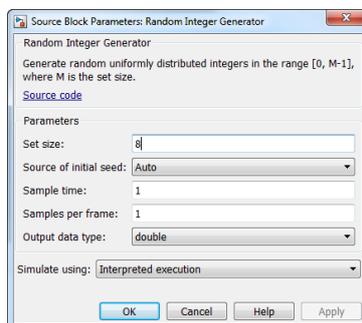


Рисунок 4. Настройки генератора случайных чисел

Модулятор современных цифровых систем связи выполняется при помощи простых таблиц соответствий, в которых для каждого символа данных соответствует одна точка на комплексной плоскости (рисунок 5).

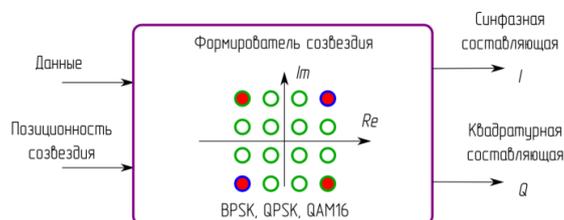


Рисунок 5. Формирователь комплексной огибающей сигнала

В таблице 2 приведены примеры созвездий для манипуляций BPSK и QAM-16.

Таблица 2

Таблицы соответствий для различных видов манипуляции

Название манипуляции	Позиционность созвездия	Данные для передачи				Выход формирователя комплексной огибающей			
		0	1	2	3				
BPSK	2					-1-1j		+1+1j	
QAM-16	16	0	1	2	3	-3+3j	-1+3j	+1+3j	+3+3j
		4	5	6	7	-3+1j	-1+1j	+1+1j	+3+1j
		8	9	10	11	-3-1j	-1-1j	+1-1j	+3-1j
		12	13	14	15	-1-3j	-1-3j	+1-3j	+3-3j

Приведенные в таблице 2 созвездия могут нормироваться для конкретных реализаций систем связи. Кроме того, иногда формирование созвездий совмещают с кодированием, например, кодирование Грея.

Сущность кодирования Грея заключается в том, что векторам модулированного колебания, которые находятся близко один от другого на фазовой плоскости ставятся в соответствие значения кодовых символов, которые отличаются значениями только одного бита. Рассмотрим алгоритм Грея на примере созвездия QAM-16 (рисунок 6).

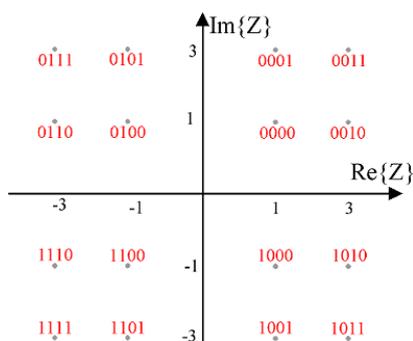


Рисунок 6. Код Грея для сигнального созвездия QAM-16

В качестве примера рассмотрим два вектора  $Z = 1 + j$  и  $Z = 1 + 3j$ , которым соответствуют кодовые символы  $\{0,0\}$  и  $\{0,1\}$ .

Построение кода Грея показано в таблице 3.

Таблица 3

Построение кода Грея

$m_1$	$m_0$	$a_j$	$b_j$
0	0	1	1
0	1	1	3
1	0	3	1
1	1	3	3

Столь простая реализация формирователя сигнала цифровой системы связи позволяет создавать устройства с адаптивно изменяемыми в процессе работы созвездиями, что дает возможность подстраиваться под изменение условий распространения радиосигналов в среде и использовать спектральный и энергетический ресурсы наиболее эффективно.

Для полного исключения влияния межсимвольной интерференции необходимо использовать идеальный фильтр Найквиста, который не может быть реализован на практике. Как правило, при реализации формирующих фильтров в системах связи используют фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ), в которых бесконечная импульсная характеристика фильтра Найквиста усекается оконной (весовой) функцией. На рисунке 7

показана усеченная импульсная характеристика формирующего фильтра в зависимости от нормированного времени  $t_H = \frac{t}{T}$  ( $t_H = 1$  соответствует одному символу передаваемой информации). Импульсная характеристика  $h(t_H)$  усечена до четырех символов передаваемой информации, то есть  $h(t_H) = 0$  при  $|t_H| > 4$  (рисунок 7). Также на рисунке 8 показан квадрат АЧХ  $|H(f_H)|^2$  формирующего фильтра, соответствующего усеченной импульсной характеристике.

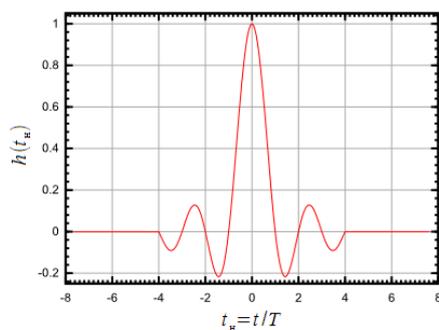


Рисунок 7. Усеченная импульсная характеристика

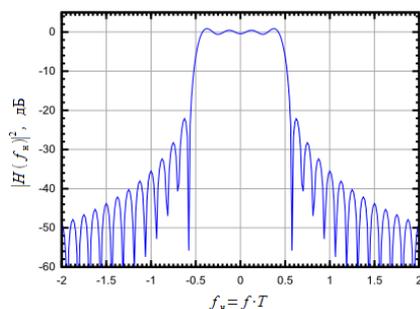


Рисунок 8. Амплитудно-частотная характеристика формирующего фильтра

Как видно из рисунка 7, усечение импульсной характеристики приводит к появлению боковых лепестков в АЧХ формирующего фильтра. При этом уровень боковых лепестков получается очень высоким, а скорость спада очень низкой. Кроме того, появляется неравномерность в полосе пропускания фильтра. Этот эффект называется эффектом Гиббса. Для его уменьшения Найквистом было

предложено произвести сглаживание фронта АЧХ идеального фильтра, расширив его, но в отличие от усечения импульсной характеристики, расширение полосы фильтра можно сделать регулируемым, как это показано на рисунке 9.

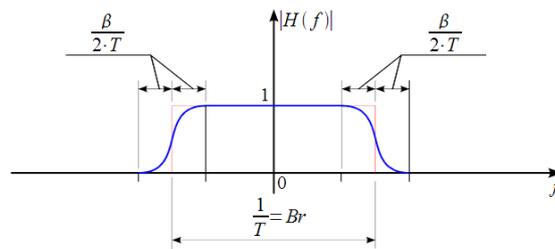


Рисунок 9. Формирующий фильтр Найквиста при аппроксимации фронта АЧХ приподнятым косинусом

АЧХ фильтра становится кусочной и описывается выражением:

$$|H(f)| = \begin{cases} 1, & \text{если } |f| < \frac{1-\beta}{2T} \\ \frac{1}{2} \left( 1 + \cos \left( \frac{\pi T}{\beta} \left[ |f| - \frac{1-\beta}{2T} \right] \right) \right), & \text{если } \frac{1-\beta}{2T} < |f| < \frac{1+\beta}{2T} \\ 0, & \text{если } |f| > \frac{1+\beta}{2T} \end{cases}, \quad (5)$$

где  $T$  – период следования символов;

$\beta$  – коэффициент сглаживания фронтов (в диапазоне от 0 до 1).

Вблизи фронта идеальная АЧХ аппроксимируется функцией приподнятого косинуса. Параметр  $\beta$ , который изменяется от 0 до 1, задает интервал на котором происходит аппроксимация. При  $\beta = 0$  имеем идеальный ФНЧ, при  $\beta = 1$  имеем формирующий фильтр с АЧХ в виде приподнятого косинуса:

$$|H(f)| = \begin{cases} \frac{1}{2} \cdot (1 + \cos(\pi \cdot T \cdot f)), & \text{если } |f| < \frac{1}{T} \\ 0, & \text{если } |f| > \frac{1}{T} \end{cases}. \quad (6)$$

Сглаживание фронта в частотной области, согласно теореме о свертке, соответствует умножению импульсной характеристики на весовое окно:

$$h(t) = \text{sinc}\left(\pi \cdot \frac{t}{T}\right) \cdot w(t); \quad (7)$$

$$w(t) = \frac{\cos\left(\pi \cdot \beta \cdot \frac{t}{T}\right)}{1 - 4 \cdot \beta^2 \cdot \frac{t^2}{T^2}}. \quad (8)$$

Комплексный сигнал с выхода формирующего фильтра поступает на усилитель, в котором выполняется его нормировка. Коэффициент передачи усилителя равен  $1/K$ , где

$$K = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |s_i|^2}, \quad (9)$$

где  $N$  – позиционность созвездия.

На основе рассмотренных теоретических положений собирается подсистема формирователя комплексной огибающей в амплитудно-фазовом пространстве. Блок Modulator состоит из следующих элементов:

- 1-D Lookup Table;
- Raised Cosine Transmit Filter;
- Gain.

Графический состав формирователя комплексной огибающей в Simulink показан на рисунке 10.

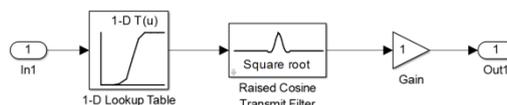


Рисунок 10. Состав формирователя комплексной огибающей в амплитудно-фазовом пространстве

Формирование сигнала осуществляют следующие элементы:

- **1-D Lookup Table** – таблица истинности, в настройках которой необходимо указать соответствие между вектором входных символов и точками сигнального созвездия;

- **Raised Cosine Transmit Filter** – формирующий фильтр с характеристикой корень из приподнятого косинуса, который осуществляет ограничение спектра сигнала;

- **Gain** – усилитель, принимающий на вход комплексный сигнал с выхода формирующего фильтра и выполняющий его нормировку.

В настройках таблицы истинности (**1-D Lookup Table**) указывается соответствие между вектором входных символов и точками сигнального созвездия (рисунок 11). В строке **Breakpoints** указывается вектор входных символов согласно позиционности созвездия. В строке **Table Data** указываются точки созвездия, соответствующие входным символам. Так как используется манипуляция порядка 1024, то необходимо использовать методы автоматической генерации векторов в **MATLAB**, соответственно **[0:1:1023]**.

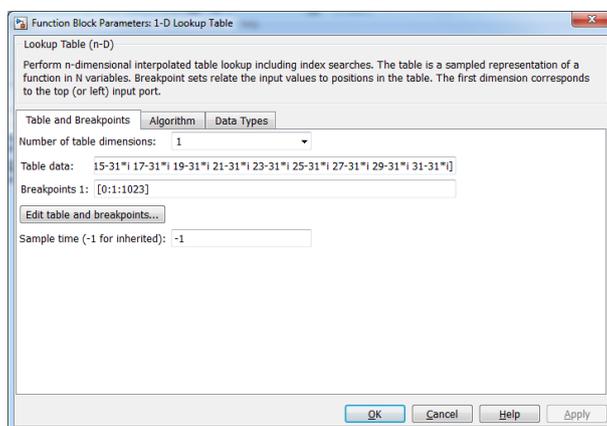


Рисунок 11. Настройки таблицы истинности

Ограничение спектра сигнала выполняется при помощи формирующего фильтра с характеристикой корень из приподнятого косинуса со следующими параметрами настройки (рисунок 18): тип фильтра (**Filtershape**) – корень из приподнятого косинуса (**Square Root**) или **Normal**; коэффициент скругления (**Rolloff Factor**), значение задается как действительное число от 0 до 1; **Filter span**

**in symbols** – параметр усечения импульсной характеристики по количеству символов; **Output samples per symbol** – количество выходных отсчетов для каждого входного символа; **Linear amplitude filter gain** – устанавливает коэффициент усиления фильтра; **Input processing** – характер обработки сигнала, можно выбрать **frame based** (блок обрабатывает каждый столбец входа как отдельный канал) или **sample based** (блок обрабатывает каждый элемент ввода данных в виде отдельного канала); **Rate options** – параметр, определяющий повышение частоты дискретизации и фильтрацию входного сигнала.

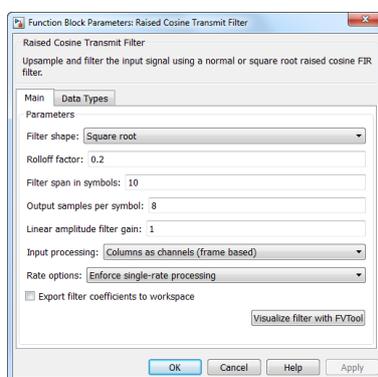


Рисунок 12. Настройки фильтра с характеристикой корень из приподнятого косинуса

Сигнал OFDM является суммой нескольких ортогональных поднесущих, на каждой из которых данные, передаваемые на основной частоте, независимо модулируются с помощью одного из типов модуляции. Далее этим суммарным сигналом модулируется радиочастота.

Перед обратным быстрым преобразованием Фурье последовательный поток двоичных чисел сначала преобразуется в  $N$  параллельных потоков, после чего каждый из них отображается в поток символов с помощью процедуры амплитудно-фазовой квадратурной модуляции.

Обратное FFT считается для  $N$  одновременно поступающих символов, создавая такое же множество комплексных отсчетов во временной области.

Далее цифро-аналоговые преобразователи преобразуют в аналоговый вид отдельно действительную и мнимую компоненты, после чего они модулируют, соответственно, радиочастотную косинусоиду и синусоиду. Эти сигналы далее суммируются и дают передаваемый сигнал  $s(t)$ .

На вход модулятора поступает цифровой сигнал, обрабатываемый словами по  $M \cdot N$  бит, где  $N$  – количество информационных несущих,  $M$  – количество бит, передаваемых на одной несущей. После этого, происходит преобразование из последовательного кода в параллельные  $N$  посылок по  $M$  бит, которые модулируются согласно битовым картам, выходной сигнал с которых  $(X_0, X_1, \dots, X_{n-2}, X_{n-1})$  поступает на вход обратного дискретного преобразователя Фурье, где путем преобразования входных значений из спектральной во временную область производится OFDM модуляция.

Обратное быстрое преобразование Фурье обеспечивает точное соблюдение условий ортогональности для формируемого OFDM сигнала. Подготовленный блок данных из  $N$  частот, то есть  $2N$  значений ( $\text{Im}$  – мнимое и  $\text{Re}$  – реальное) частоты преобразовывается в блоке IFFT, где получается  $2N$  временных отсчетов, которые передаются с частотой дискретизации. После чего на вход блока IFFT подается следующий блок данных. В результате получается абсолютно корректный OFDM сигнал с сеткой из  $N$  частот. Используемая в IFFT постоянная составляющая не используется и равна нулю, поэтому реально используется максимум  $N-1$  частот. Блок IFFT работает с комплексными числами, поэтому результатом преобразования являются  $N$  комплексных значений.

Обратное быстрое преобразование Фурье позволяет быстро вычислить сигнал во временной области вместо того, чтобы вычислять по одной несущей за раз, а затем суммировать.

**Выражение, описывающее обратное быстрое преобразование Фурье:**

$$x_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{\frac{-2\pi i k n}{N}}, \quad (10)$$

где  $k = 0, 1, \dots, N - 1$ .

Каждый подканал работает на своей несущей частоте. Если обозначить частоту первой несущей  $\omega$ , то вторая несущая будет иметь частоту  $2\omega$ , для  $n$ -ого канала эта частота будет равна  $n\omega$ .

Если для каждого из  $n$  подпотоков применить квадратурную модуляцию, то получим  $n$  квадратурных (ортогональных) функций типа  $a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t$ . Если функции всех подканалов просуммировать, то получим функцию аналогичную функции называемой рядом Фурье.

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{N-1} [a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t]. \quad (11)$$

Функция, полученная в результате модуляции, отличается от ряда Фурье тем, что она конечна. Для увеличения точности обработки и исключения взаимного влияния каналов реальная функция дополняется префиксом, содержащим несколько значений ряда Фурье (псевдоканалов). Он устанавливается перед последовательностью квадратурных сигналов. Это увеличивает точность получения функции  $x(t)$  и позволяет более четко отделять подканалы друг от друга.

Сумма функций полученных в результате модуляции свертывается с помощью обратного преобразования Фурье в одну функцию  $x(t)$ , которая преобразуется в цифровую форму и передается в линию.

Для устранения межсимвольной интерференции вводится циклический префикс.

Таким образом, циклический префикс добавляется в начало каждого OFDM-символа (рисунок 13) и представляет собой циклическое повторение окончания символа. Наличие циклического префикса создает

временные паузы между отдельными символами, и если длительность защитного интервала превышает максимальное время задержки сигнала в результате многолучевого распространения, то межсимвольной интерференции не возникает.

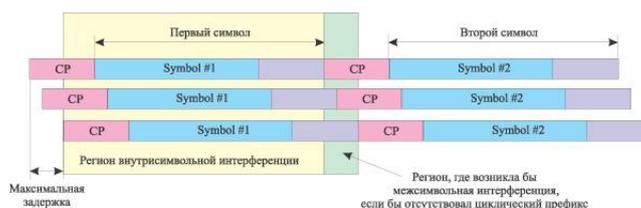


Рисунок 13. Защита от межсимвольной интерференции с помощью циклического префикса

Циклический префикс является избыточной информацией, и в этом смысле снижает полезную (информационную) скорость передачи, но именно он служит защитой от возникновения межсимвольной интерференции. Указанная избыточная информация добавляется к передаваемому символу в передатчике и отбрасывается при приеме символа в приемнике.

Блок OFDM Mux осуществляет формирование OFDM-сигнала. Подсистема ортогонального-частотного мультиплексирования состоит из:

- Multiport Selector - извлекает несколько подмножеств строк или столбцов из  $M$ -by- $N$  входной матрицы  $U$ , и распределяет каждую новую подматрицу к отдельному выходному порту;
- Matrix Concatenation - выполняет объединение (конкатенацию) входных векторов или матриц;
- IFFT - блок вычисляет обратное преобразование быстрого преобразования Фурье на первой размерности  $N$ -D входного массива;
- Add Cyclic Prefix - блок добавления циклического префикса к сформированному сигналу.

Графический вид подсистемы представлен на рисунке 14.

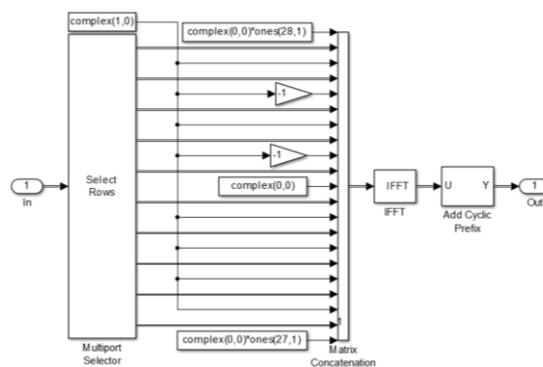


Рисунок 14. Общий вид подсистемы OFDM-мультиплексора сигнала

Модель передающего устройства состоит из генератора случайных чисел, формирователя комплексной огибающей в амплитудно-фазовом пространстве и подсистемы, осуществляющей формирование OFDM-сигнала.

Модулятор выполнен при помощи простых таблиц соответствий, в которых для каждого символа данных соответствует одна точка на комплексной плоскости. Для уменьшения влияния межсимвольной интерференции используется формирующий фильтр с характеристикой корень из приподнятого косинуса. Нормировка комплексного сигнала осуществляется с помощью усилителя с заданным коэффициентом передачи.

OFDM-радиосигнал формируется с помощью обратного дискретного преобразования Фурье, в частности, с помощью обратного быстрого преобразования Фурье. Такое преобразование позволяет снизить объем вычислений при большом количестве поднесущих. Для устранения межсимвольной интерференции в каждый OFDM-символ вносится циклический префикс.

Таким образом, разработали устройство передачи и формирования радиосигнала QAM-1024 с использованием технологии OFDM.

### Имитационная модель сетевого устройства приема и обработки радиосигналов

На сегодняшний день можно выделить три поколения архитектур приемников цифровой связи:

- архитектура первого поколения;
- архитектура второго поколения;
- архитектура третьего поколения.

В архитектуре третьего поколения аналого-цифровое преобразование осуществляется на промежуточной или несущей частоте в так называемом свободном режиме, т. е. частота тактирования АЦП никак не подстраивается и не отслеживается. Кроме того, при достаточной полосе пропускания аналогового тракта АЦП и хорошей полосовой фильтрации сигнала, возможна реализация работы преобразователя не только в первой зоне Найквиста, но и в любых других. Перенос спектра сигнала на нулевую промежуточную частоту выполняется совместно с его передискретизацией фильтрами-интерполяторами, после чего происходит восстановление несущей частоты и когерентное детектирование сигнала.

Учитывая то, что в данном разделе разрабатывается имитационная модель сетевого устройства с использованием технологии OFDM, приемное устройство будет иметь следующий вид:

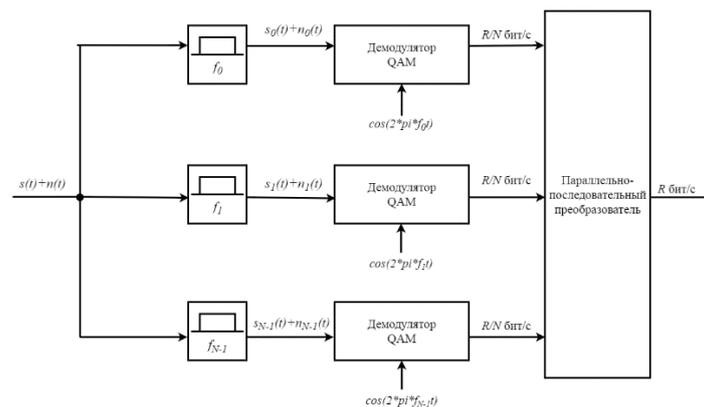


Рисунок 15. Архитектура третьего поколения приемников сетевых устройств локальных вычислительных сетей

Разработаем имитационную модель устройства приема и обработки сигналов. Общий вид сетевого устройства приема радиосигналов представлен на рисунке 16.

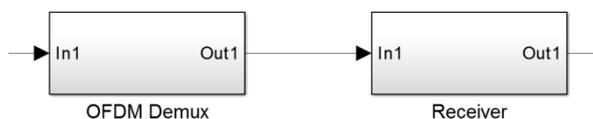


Рисунок 16. Структурно-функциональная схема сетевого устройства приема и обработки радиосигналов

Обработка принятого сигнала осуществляется с помощью следующих подсистем:

- OFDM Demux – подсистема демультиплексирования OFDM-сигнала;
- Receiver – подсистема приема и обработки QAM-сигнала.

Приемник принимает сигнал, выделяет из него косинусную и синусную квадратурные составляющие с помощью умножения сигнала на  $\cos(2\pi f_c t)$  и  $-\sin(2\pi f_c t)$ , и фильтров нижних частот, которые отфильтровывают колебания в полосе вокруг  $2f_c$ . Получившиеся сигналы подвергаются прямому быстрому преобразованию Фурье (FFT), в результате чего получается сигнал в частотной области.

После быстрого преобразования Фурье выделяется  $N$  параллельных потоков, каждый из которых преобразуется в двоичную последовательность с помощью заданного алгоритма квадратурной амплитудной модуляции.

Прямое быстрое преобразование Фурье берет случайный сигнал, умножает его последовательно на комплексные экспоненциальные функции во всем диапазоне частот, суммирует каждый результат и выдает общий результат как коэффициент этой частоты.

Выражение, описывающее прямое быстрое преобразование Фурье:

$$x_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{\frac{2\pi i k n}{N}}, \quad (12)$$

где  $n = 0, 1, \dots, N - 1$ .

Процесс обратного быстрого преобразования Фурье в передающем устройстве и процесс быстрого преобразования Фурье в приемной части являются линейной парой. Последовательное использование обоих преобразований вернет начальный результат.

Подсистема демультимплексирования OFDM-сигнала состоит из следующих элементов:

- Remove Cyclic Prefix;
- FFT;
- Frame Status Conversion.

Графический вид подсистемы показан на рисунке 17.

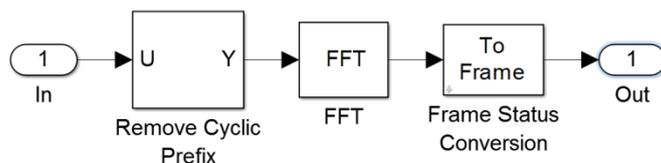


Рисунок 17. Структурно-функциональная схема OFDM-демультимплексора

Элементы подсистемы OFDM Demux выполняют следующие операции:

- Remove Cyclic Prefix – удаление циклического префикса;
- FFT – вычисление дискретного преобразования Фурье с помощью БПФ на первой размерности  $N$  входного массива –  $D, U$ ;

- Frame Status Conversion – преобразование кадров, проходящих через вход к выходу. Устанавливает режим выборки выходного значения режима дискретизации выходного сигнала. Блок преобразования кадров не делает каких-либо изменений во входном сигнале, кроме режима выборки.

Все цифровые системы связи требуют наличия нескольких уровней синхронизации на стороне приемника. Когерентные схемы демодуляции сигнала подразумевают наличие на стороне приемника опорного колебания, с которым производится сравнение принимаемого сигнала. Основой многих систем синхронизации является контур фазовой автоподстройки частоты. В

результате работы петли ФАПЧ сигнал местного гетеродина подстраивается по фазе и частоте с принимаемым сигналом, что и позволяет осуществить когерентное детектирование.

Большинство современных систем связи работают с подавлением несущего колебания, которое практически не несет полезной информации. Таким образом, классический контур ФАПЧ не может восстановить несущее колебание на приемном конце линии связи.

Например, при равной вероятности появления сигналов логического нуля и логической единицы на входе модулятора BPSK, усредненная энергия несущего колебания будет равна нулю. Для синхронизации несущего колебания необходимо устранить модуляцию. Сделать это можно путем возведения входного сигнала в квадрат по схеме, предложенной отечественным ученым А. А. Пистолькорсом (рисунок 18).

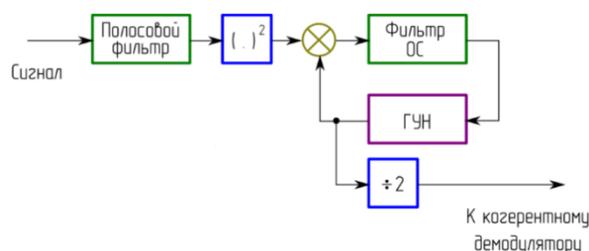


Рисунок 18. Восстановление несущей с использованием квадратирующего устройства

Квадратичная петля – это петля, не управляемая решениями, которая широко используется на практике для установления фазы несущей в двухполосной системе с подавленной несущей, такой как амплитудная модуляция. Чтобы описать её работу, рассмотрим проблему оценивания фазы несущей сигнала цифровой амплитудной модуляции в виде:

$$s(t) = A(t) \cos(2\pi f_c t + \varphi), \quad (13)$$

где  $A(t)$  несёт цифровую информацию.

Усреднённое значение  $s(t)$  не может дать ни одной фазокогерентной частотной компоненты, исключая несущую. Один из методов восстановления несущей от принимаемого сигнала сводится к его квадратурованию, и, следовательно, к генерированию частотной компоненты  $2f_c$ , которую можно использовать для образования фазозамкнутой петли, настроенной на частоту  $2f_c$ .

Выход квадратического устройства равен:

$$s^2(t) = A^2(t) \cos^2(2\pi f_c t + \varphi) = \frac{1}{2} A^2(t) + \frac{1}{2} A^2(t) \cos(4\pi f_c t + 2\varphi). \quad (14)$$

Операция квадратурования ведет к обогащению шума, что увеличивает уровень шумовой мощности на входе фазовой автоподстройки и ведёт к увеличению дисперсии фазовой ошибки.

В заключение стоит отметить, что выход генератора, управляемого напряжением, в схеме с квадратурованием необходимо делить по частоте на два, чтобы генерировать синхронную несущую для демодуляции сигнала. Надо подчеркнуть, что выход делителя частоты характеризуется неоднозначностью фазы на 180 градусов относительно фазы принимаемого сигнала. Из этих соображений двоичные данные следует дифференциально кодировать до модуляции и дифференциально декодировать в приёмнике.

Другой разновидностью схем восстановления несущего колебания является синфазно-квадратурная петля, предложенная Джоном Костасом (рисунок 26). Главным отличием петли Костаса от предыдущей схемы является отсутствие операции возведения сигнала в квадрат, реализация которой в цифровом виде требует повышения разрядности шины данных.

Принимаемый сигнал умножается на  $\cos(2\pi f_c + \hat{\varphi})$  и  $\sin(2\pi f_c + \hat{\varphi})$ , которые являются выходами генератора, управляемого напряжением. Получаем два произведения:

$$y_c(t) = [s(t) + n(t)] \cos(2\pi f_c t + \hat{\varphi}) = \frac{1}{2} [A(t) + n_c(t)] \cos \Delta\varphi + \frac{1}{2} n_c(t) \sin \Delta\varphi + \quad (15)$$

+ слагаемое с двойной частотой,

$$y_c(t) = [s(t) + n(t)] \sin(2\pi f_c t + \hat{\varphi}) = \frac{1}{2} [A(t) + n_c(t)] \sin \Delta\varphi + \frac{1}{2} n_c(t) \cos \Delta\varphi + \quad (16)$$

+ слагаемое с двойной частотой,

где фазовая ошибка  $\Delta\varphi = \hat{\varphi} - \varphi$ . Слагаемое с удвоенной частотой устраняется фильтрами низких частот, расположенными после умножителей.

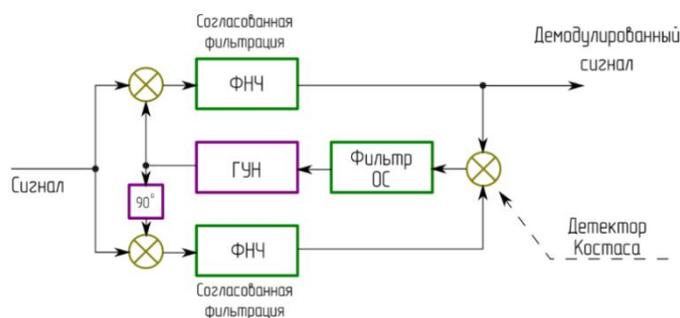


Рисунок 19. Синфазно-квадратурная схема восстановления несущего колебания (петля Костаса)

Сигнал ошибки генерируется путем умножения двух выходов фильтров низких частот. Этот сигнал ошибки фильтруется петлевым фильтром, выход которого управляется генератором, управляемым напряжением.

Наиболее распространенной схемой восстановления несущего колебания в системах связи является схема Костаса.

Вторым уровнем синхронизации является символьная синхронизация. Под символьной синхронизацией понимают процесс оценки частоты и фазы принимаемых символов. После синхронизации по несущей частоте и переноса спектра на нулевую промежуточную частоту необходимо произвести децимацию сигнала для демодуляции принятых символов. На рисунке 20 показана глазковая диаграмма сигнала с двоичной фазовой манипуляцией (осциллограф в режиме накопления). При идеальной символьной синхронизации отсчеты символов берутся ровно посередине каждого импульса.

При наличии ошибок синхронизации, точки созвездия расплываются даже при полном отсутствии шумов в канале связи. Возможна ситуация, в которой символьные отсчеты берутся с фазовой ошибкой в половину периода следования импульсов, при этом на сигнальном созвездии появляется точка в нуле комплексной плоскости, и демодуляция сигнала становится невозможной.

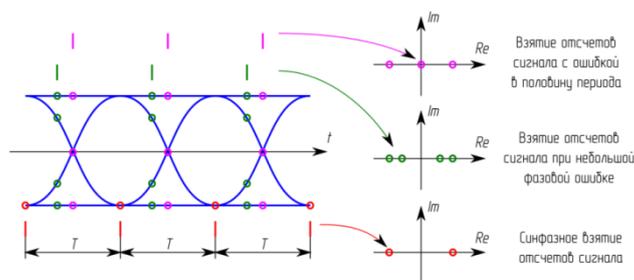


Рисунок 20. Влияние ошибки символьной синхронизации на принимаемое созвездие

Структурная схема петли восстановления тактовых импульсов показана на рисунке 21. Одной из разновидностей детектора ошибки синхронизации по символьной частоте, работающей с двумя отсчетами на символ и более является детектор Гарднера (рисунок 22).

В случае, если число отсчетов на один символ велико (например, 8 и более), возможна реализация простой схемы синхронизации, когда из имеющего числа отсчетов выбирается отсчет с наименьшей ошибкой.

На практике нередко бывают случаи, когда при высокоскоростной передаче данных невозможно обеспечить более двух отсчетов на один символ. В таких ситуациях используют цифровые фильтры-интерполяторы, позволяющие восстановить промежуточные выборки сигнала (фильтр Фарроу).

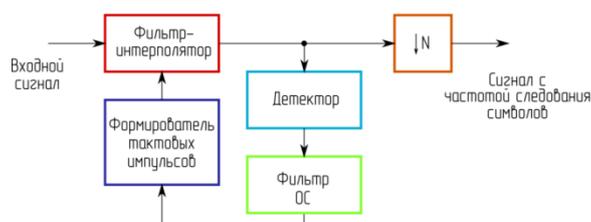


Рисунок 21. Структурная схема петли восстановления символьной частоты

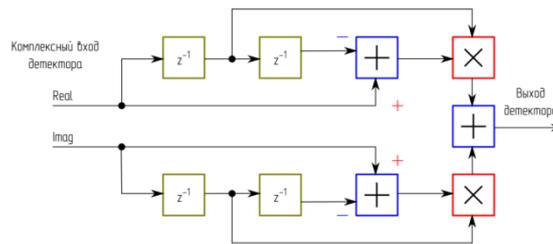


Рисунок 22. Детектор Гарднера

После синхронизации приемника по несущей и символьной частотам, осуществляется демодуляция принятого сигнала. На рисунке 30 показан универсальный демодулятор, подходящий для любого типа созвездия квадратурной амплитудной манипуляции.

Решение о принятом символе принимается по правилу наименьшего евклидова расстояния между принятым символом и каждой точкой опорного созвездия (правило наименьшей метрики):

$$l = \sqrt{\text{real } s_{rec} - \text{real } s_{ref}^2 + \text{imag } s_{rec} - \text{imag } s_{ref}^2}, \quad (17)$$

где  $l$  – матрица метрик;

$s_{rec}$  – принятый символ;

$s_{ref}$  – матрица опорного созвездия.

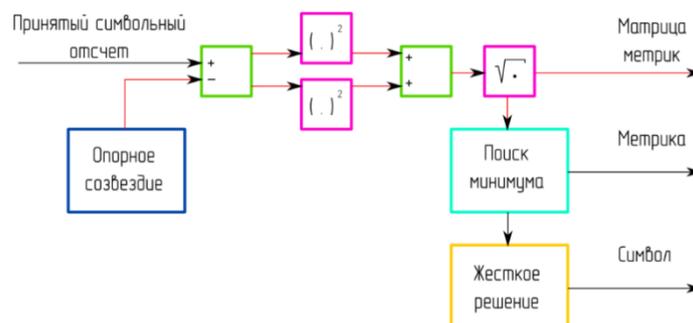


Рисунок 23. Универсальная схема демодуляции КАМ-сигнала

В общем случае при приеме сигнала на комплексной плоскости выделяют зоны принятия решения (рисунок 24).

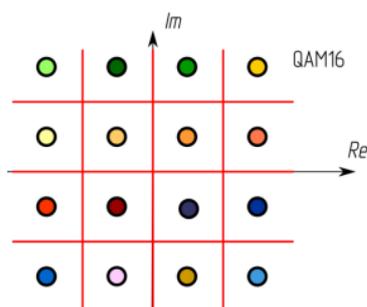


Рисунок 24. Зоны принятия решения при демодуляции сигнала

К примеру, для демодуляции сигнала QAM-16 выделяют 16 зон решения, попадание символа в одну из зон ставится в однозначное соответствие с одним из слов. Очевидно, что для правильного приема данных при высоких порядках манипуляции необходимо автоматическое центрирование точек созвездия в центры зон принятия решений.

При реализации приемного устройства системы связи на практике используют согласованную фильтрацию сигнала (рисунок 25).

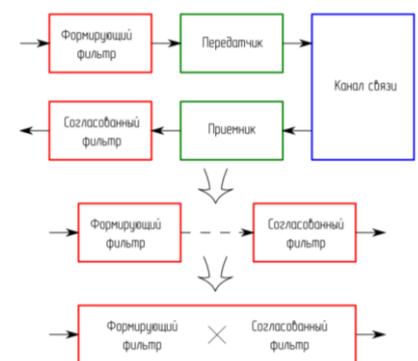


Рисунок 26. Формирующий фильтр и согласованная фильтрация в системе цифровой связи

Выходной сигнал формирующего фильтра проходит через канал связи и поступает на вход согласованного фильтра, частотная характеристика которого является комплексно сопряженной с формирующим фильтром. Общая частотная характеристика системы находится как произведение АЧХ формирующего фильтра и АЧХ согласованного фильтра. Именно эта общая частотная

характеристика и должна удовлетворять требованиям Найквиста. Поэтому при реализации устройств связи на передающей и приемной сторонах используют фильтры с характеристикой корень из приподнятого косинуса, которые вместе имеют частотную характеристику фильтра Найквиста, что позволяет устранять МСИ при приеме информации.

С учетом вышеизложенных теоретических положений, демодулирующее устройство будет иметь следующий вид (рисунок 27):

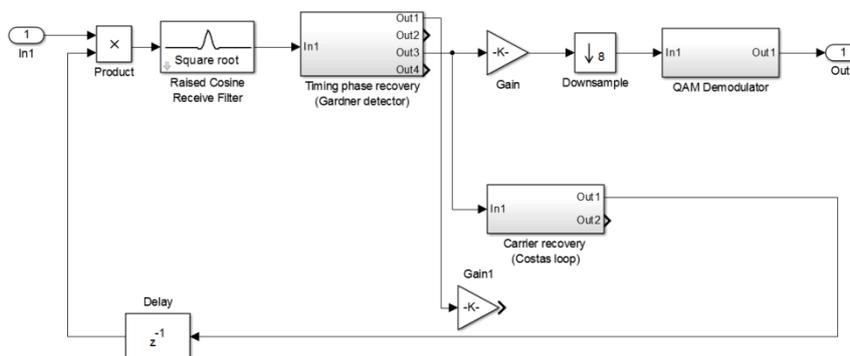


Рисунок 27. Имитационная модель приемного сетевого устройства

Модель приемного сетевого устройства состоит из следующих структурно-функциональных элементов:

- Product – блок перемножения/деления сигналов;
- Raised Cosine Receive Filter – приемный фильтр с характеристикой корень из приподнятого косинуса, выполняющий согласованную фильтрацию сигнала;
- Timing phase recovery (Gardner detector) – петля символьной синхронизации (детектор Гарднера);
- Carrier recovery (Costas loop) – блок восстановления несущего колебания системы связи (петля Костаса);
- QAM Demodulator – демодулятор сигнала;
- Gain – усилитель сигнала;
- Downsample – блок понижения частоты дискретизации;
- Delay – блок дискретной задержки сигнала.

Приемный фильтр имеет следующие настройки (рисунок 28): тип фильтра (Filter shape) – корень из приподнятого косинуса (Square Root); коэффициент скругления (Rolloff factor) – задается действительное число в диапазоне от 0 до 1; Filter span in symbols – параметр усечения импульсной характеристики по количеству символов; Input samples per symbol – задается как целое число больше единицы, представляющее собой количество выборок, которые представляют один символ во входном сигнале; Decimation factor – задаются параметры для снижения частоты дискретизации; Decimation offset – смещение выборки, значение задается в диапазоне от 0 до коэффициент децимации – 1; Linear amplitude filter gain – устанавливает коэффициент усиления фильтра; Input Processing – характер обработки сигнала; Rate options – параметр, определяющий повышение частоты дискретизации и фильтрацию входного сигнала.

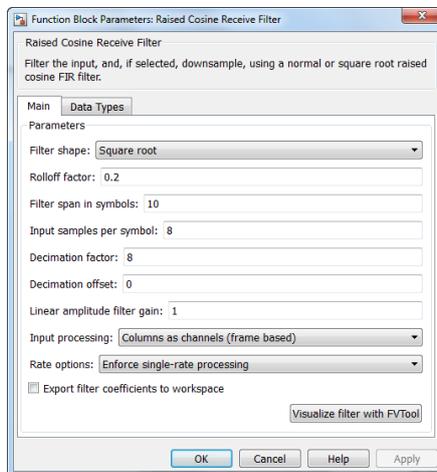


Рисунок 28. Настройки фильтра с характеристикой корень из приподнятого косинуса

Структурно-функциональная схема петли символьной синхронизации показана на рисунке 29.

Блок петли символьной синхронизации состоит из следующих элементов:

- Farrow Interpolator – фильтр-интерполятор Фарроу, дополнительное назначение которого формирование дробной задержки для проведения корректных исследований систем синхронизации приемного устройства;

- Numeric Controlled Generator – генератор, управляемый кодом. В составе генератора присутствует триггер, позволяющий производить передискретизацию сигнала;

- Loop Filter – фильтр петли обратной связи. Параметры фильтра (коэффициенты пропорционального и интегрального звеньев) подбираются экспериментально;

- Gardner Detector – детектор Гарднера;

- Delay – блок задержки;

- Resample – блок передискретизации сигнала.

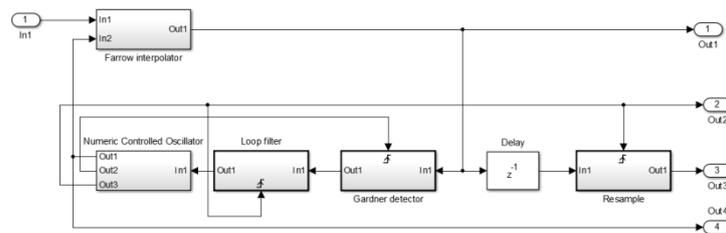
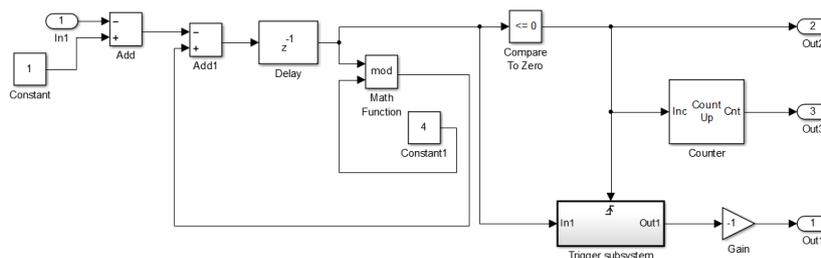


Рисунок 29. Структурно-функциональная схема петли символьной синхронизации

Генератор, управляемый кодом, выполнен на основе структуры Modulo-1, предложенной Гарднером. В структуре генератора присутствует блок Triggered Subsystem, позволяющий производить передискретизацию сигнала. Структурно-функциональная схема генератора, управляемого кодом представлена на рисунке 36.



### Рисунок 30. Генератор, управляемый кодом

Детектор Гарднера (рисунок 31) производит поиск ошибки синхронизации по символьной частоте, сигнал ошибки синхронизации поступает на фильтр обратной связи. Так как на практике нередко бывают случаи, когда при высокоскоростной передаче данных невозможно обеспечить более двух отсчетов на символ, то используется цифровой фильтр-интерполятор, позволяющий восстановить промежуточные выборки сигнала.

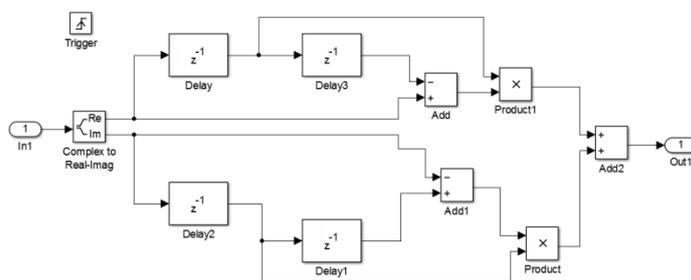


Рисунок 31. Структурно-функциональная схема детектора Гарднера

Фильтр петли обратной связи состоит из следующих элементов:

- Gain – усилитель сигнала;
- Constant – источник неизменяемого сигнала;
- Integrator – блок выполняющий интегрирование входного сигнала;
- Add – блок суммирования/вычитания сигналов.

Структурно-функциональная схема фильтра обратной связи приведена на рисунке 32.

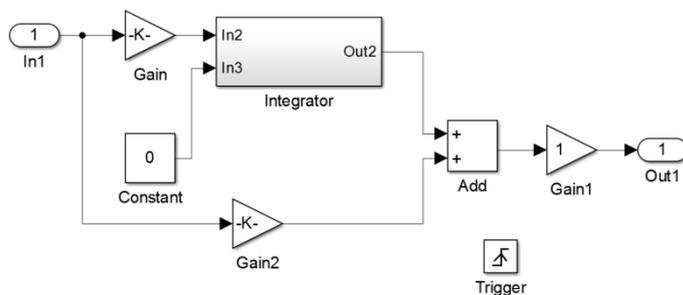
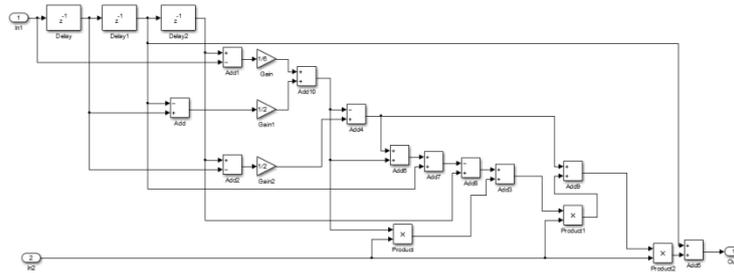


Рисунок 32. Фильтр петли обратной связи

Графический вид фильтра-интерполятора Фарроу показан на рисунке 33.

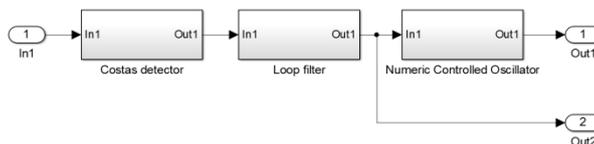


**Рисунок 33. Структурно-функциональная схема фильтра-интерполятора (структура Фарроу)**

Фильтр-интерполятор Фарроу состоит из следующих элементов:

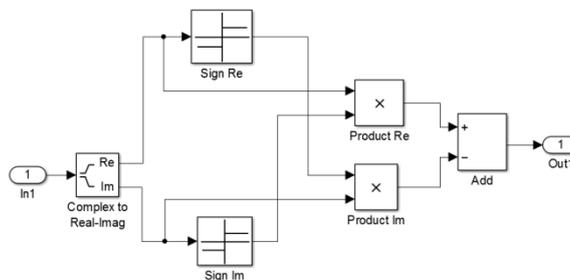
- Delay – блок дискретной задержки сигнала;
- Add – блок суммирования/вычитания сигналов;
- Gain – усилитель сигнала;
- Product – блок перемножения/деления сигналов.

Структурно-функциональная схема системы восстановления несущего колебания системы связи состоит из детектора Костаса, фильтра низких частот обратной связи (ФНЧ ОС) и генератора, управляемого кодом (рисунок 34).



**Рисунок 34. Структурно-функциональная схема петли восстановления несущего колебания**

Графический вид детектора Костаса показан на рисунке 35.



**Рисунок 35. Детектор Костаса**

Детектор Костаса состоит из следующих элементов:

- Complex to Real-Image – блок выделения реальной и мнимой частей комплексного сигнала;
- Sign – блок, выдающий «+1» для положительного сигнала и «-1» для отрицательного;
- Product – блок перемножения/деления сигналов;
- Add – блок суммирования/вычитания сигналов.

Структурно-функциональная схема фильтра низких частот обратной связи приведена на рисунке 36.

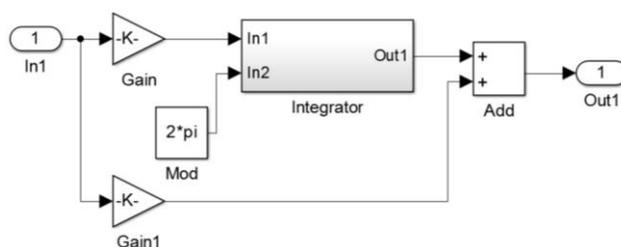


Рисунок 36. Структурно-функциональная схема фильтра низких частот

Графический вид генератора, управляемого кодом показан на рисунке 37.

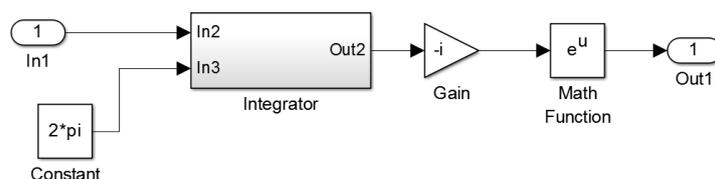


Рисунок 37. Генератор комплексного сигнала, управляемый кодом

Подсистема QAM Demodulator осуществляет демодуляцию принятого сигнала. Структурно-функциональная схема приведена на рисунке 37.

Демодуляция сигнала осуществляется на основе подсчета метрик и выполняется в виде универсального демодулятора. Матрица (вектор) созвездия задается при помощи константы (Constellation) (рисунок 36). Поиск

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>

минимального значения метрики осуществляется при помощи блока Minimum. Соответствие между индексом минимальной метрики и символом задается в блоке n-D Lookup Table (рисунок 38).

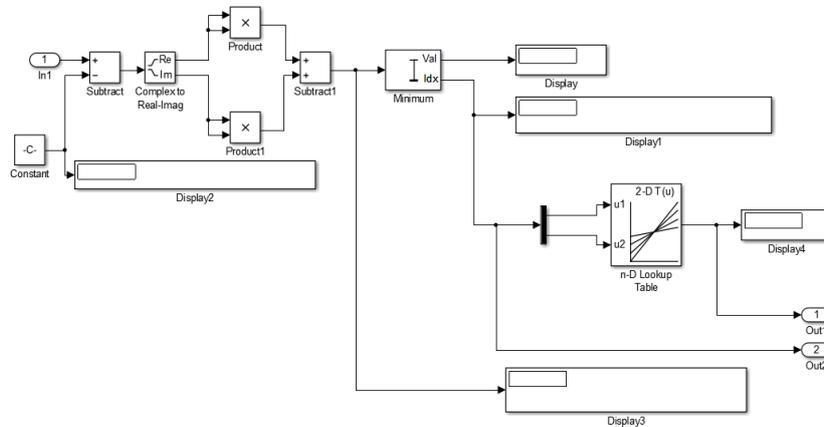


Рисунок 38. Демодулятор сигнала

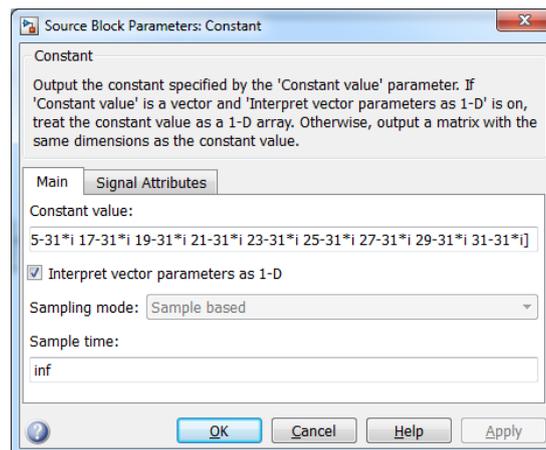


Рисунок 39. Настройки блока константы

Разработанное устройство приёма и обработки радиосигналов состоит из подсистем: подсистемы демодуляции сигналов с ортогональным частотным мультиплексированием и демодулирующего устройства.

Существует много способов повышения скорости передачи данных, но наиболее экономически выгодным и простым в реализации является такой способ, как повышение позиционности модуляции.

Таким образом, в статье представлена имитационная модель высокоскоростной локальной сети обмена данными. Практическая ценность результатов заключается:

- в возможности проведения моделирования на предмет функционирования системы в условиях различных помеховых обстановок;
- в дооснащении модели перспективными структурно-функциональными элементами такими, как адаптивными фильтрами со слепой адаптацией, устройствами компенсации фазового дисбаланса квадратурных составляющих и др.;
- в возможности использования модели для генерации HDL-кода с целью синтеза программного IP-ядра для комплексов высокоскоростного обмена данными, построенных на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС).

#### Библиографический список

1. Матвеев В. В. Имитационное моделирование процедуры прямого расширения спектра в радиопередающих устройствах с использованием среды динамического моделирования Simulink // В.В. Матвеев, А.Н. Замыцкий, Д. С. Коптев, С. О. Дремова // статья в сборнике трудов конференции «Инфокоммуникации и информационная безопасность: состояние, проблемы и пути решения». – Курск. – 2015 г. С. 39 – 46.
2. Матвеев В. В. Имитационное моделирование устройства приёма сигналов с расширенным спектром на основе согласованного фильтра в среде динамического моделирования Simulink // В.В. Матвеев, И. Г. Бабанин, А.Н. Замыцкий, Д. С. Коптев, С. О. Дремова // статья в сборнике трудов конференции «Инфокоммуникации и информационная безопасность: состояние, проблемы и пути решения». – Курск. – 2015 г. С. 46 - 51.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>

3. Соболев Б. В. Сети и телекоммуникации: учебное пособие / Б. В. Соболев, А. А. Манин, М. С. Герасименко. – Ростов н/Д: Феникс, 2015. – 191 с.

4. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб.: Питер, 2011. – 944 с.

5. Таненбаум Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум, Д. Уэзером Д. – СПб: Питер, 2012. – 960 с.

УДК 004.73

**Коптев Д. С., Шевцов А. Н. Моделирование локальной вычислительной сети студенческого городка юзгу в программном продукте CISCO PACKET TRACER**

**Simulation of the local computer network of the student campus yuzgu in the software product CISCO PACKET TRACER**

**Шевцов А.Н., Коптев Д.С.**

**Юго – Западный государственный университет  
Shevtsov A.N., Koptev D.S.  
Southwestern State University**

***Аннотация.** В статье разработан вариант организации локальной вычислительной сети студенческого городка ЮЗГУ и проведено тестирование его работоспособности в сетевом эмуляторе Cisco Packet Tracer.*

***Ключевые слова:** универсальная рабочая платформа маршрутизации, логическая (виртуальная) локальная компьютерная сеть, протокол управления передачей данных в сетях TCP/IP.*

***Abstract.** The article developed a variant of organizing a local computer network of the USSU campus and tested its performance in the Cisco Packet Tracer network emulator.*

***Keywords:** universal working platform for routing, logical (virtual) local computer network, protocol for control of data transmission in TCP / IP networks*

Каждый рассматриваемый программный продукт своеобразен и в разной степени соответствует предъявляемым требованиям. Проведем многофакторный анализ имеющихся сетевых эмуляторов для выбора наиболее подходящего для построения локальной вычислительной сети студенческого городка. Для удобства подведения результатов такого поликритериального анализа, каждому требованию зададим градацию в зависимости от степени его выполнения. После каждого требования будет указана градация с количеством выставяемых баллов. Для проведения анализа рассмотрим следующие требования:

**1) Стоимость программного продукта.**

Этот фактор, безусловно является одним из основных. Программный продукт, распространяющийся бесплатно, позволит использовать его

непосредственно в учебном заведении и предоставляет возможность студентам выполнять задания дома, что повышает эффективность самостоятельного обучения.

Данное требование имеет следующую градацию:

- распространяется бесплатно: 2 бала;
- распространяется платно: 1 бала;
- доступен только сотрудникам компании Cisco: 0 баллов.

2) Функциональные возможности симулятора.

Наиболее полно функциональные возможности могут быть охарактеризованы:

а) Количеством симулируемого оборудования.

Компания Cisco выпускает большое количество разнообразного оборудования, но для создания лабораторных работ и обучения достаточно того, что бы в программном продукте содержались: несколько видов маршрутизаторов из различных серий (например, 2600, 2900, 3600, 7200); Ethernet коммутаторы и концентраторы; устройства безопасности: сетевые экраны PIX, ASA и системы обнаружения/предотвращения атак IDS/IPS. Маршрутизаторы Cisco очень многофункциональны, поэтому позволяют использовать различные модули для расширения функционала. В программном продукте должна быть реализована возможность установки таких модулей т.к. они являются неотъемлемой частью маршрутизатора. Различные модули позволяют изучить полный спектр возможностей маршрутизаторов и создавать более сложные топологии сетей.

б) Полнотой реализации технологий Ethernet, Frame Relay, ATM.

в) Используемой операционной системой IOS.

Cisco IOS (от англ. Internetwork Operating System – Межсетевая

Операционная Система) – программное обеспечение, используемое в маршрутизаторах Cisco и некоторых сетевых коммутаторах. Cisco IOS – многозадачная операционная система, выполняющая функции сетевой организации, маршрутизации, коммутации и передачи данных.

Cisco IOS имеет специфичный интерфейс командной строки (command line interface, CLI), который был скопирован многими другими сетевыми продуктами. Интерфейс IOS имеет набор многословных команд, доступные команды определены «режимом» и уровнем привилегий данного пользователя. Программный продукт реализующий неполный функционал IOS, препятствует эффективному изучению оборудования и создаёт ложное представление о возможностях современных сетевых устройств.

Данное требование имеет следующую градацию по реализуемому оборудованию:

- есть всё необходимое: 3 бала;
- есть необходимое, кроме устройств безопасности: 2 бала;
- только маршрутизаторы и коммутаторы и/или ограничен функционал IOS: 1 бал;
- возможна симуляция только одного устройства или нет возможности создания топологии: 0 баллов.

### 3) Кроссплатформенность.

Кроссплатформенность снимает ограничение на использование программного продукта в различных операционных системах.

Данное требование имеет следующую градацию:

- программный продукт кроссплатформенный: 1 бал;
- программный продукт не кроссплатформенный: 0 баллов.

### 4) Интерфейс программного продукта.

Симулятор должен обладать простым и интуитивно понятным графическим интерфейсом с наличием русского языка. Тщательно проработанный интерфейс программы позволяет без труда неопытному пользователю найти необходимую функцию программы и облегчает процесс создания топологии сети. Интерфейс на русском языке позволяет быстрее ориентироваться в функциях программы.

Данное требование имеет следующую градацию:

- интерфейс интуитивно понятен: 1 балл;
- сложен или нет возможности графического моделирования: 0 баллов;
- если интерфейс русифицирован, то прибавляется 1 балл к набранным выше.

Для эмуляции оборудования Cisco разработаны различные программные продукты, имеющие свои отличительные особенности. Для выбора платформы, на которой будет разработана модель сети студенческого городка, необходимо произвести анализ существующих программных продуктов по заданным критериям.

Таким образом, разработав соответствующую методику для выполнения сравнительного анализа симуляторов оборудования компании Cisco, рассмотрим следующие программные продукты: Cisco Packet Tracer, Dynamips, GNS3, Boson NetSim, Cisco IOU и выполним сравнительный анализ и выбор программного продукта наиболее пригодного поставленной задачи.

### **Cisco Packet Tracer**

Cisco Packet Tracer – представляет собой программный симулятор работы сети и используется инструкторами и слушателями Сетевых академий Cisco во всем мире. Программное решение Cisco Packet Tracer позволяет имитировать работу различных сетевых устройств: маршрутизаторов (включая модули

расширения), коммутаторов, точек беспроводного доступа, персональных компьютеров, сетевых принтеров, IP-телефонов и т.д.

Благодаря такому свойству Cisco Packet Tracer, как режим визуализации, пользователь может отследить перемещение данных по сети, появление и изменение параметров IP-пакетов при прохождении данных через сетевые устройства, скорость и пути перемещения IP-пакетов. Анализ событий, происходящих в сети, позволяет понять механизм ее работы и обнаружить неисправности. Интерфейс программы изображен на рисунке 1.

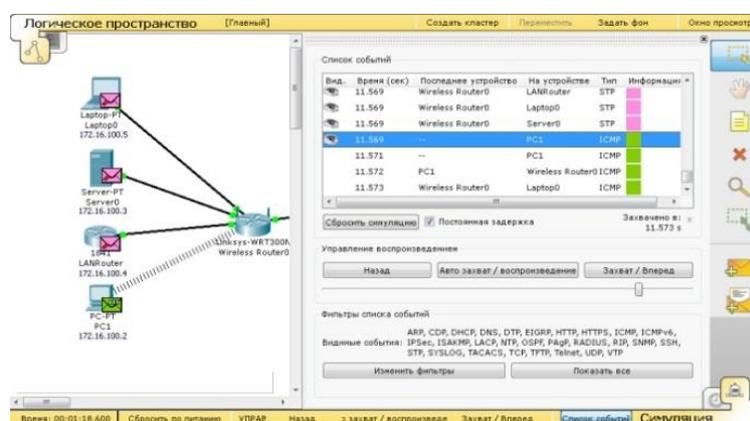


Рисунок 1. Интерфейс Packet Tracer

Помимо этого, с помощью Cisco Packet Tracer пользователь может симулировать построение не только логической, но и физической модели сети и, следовательно, получать навыки проектирования. Схему сети можно наложить на чертеж существующего здания или даже города и спроектировать всю его кабельную проводку, разместить устройства в тех или иных зданиях и помещениях с учетом физических ограничений, таких как длина и тип прокладываемого кабеля или радиус зоны покрытия беспроводной сети.

Программа распространяется бесплатно. Возможно использование на следующих операционных системах: Windows (XP, Vista, 7, 8, 8.1, 10); Linux (Ubuntu, Fedora).

**Минимальными и рекомендуемыми системными требованиями являются:**

- центральный процессор: Intel Pentium 300 MHz or equivalent / Intel Pentium II 500 MHz;
- оперативная память: 96 MB / 256 MB;
- свободное место на жестком диске: 250 MB / 300 MB.

Cisco Packet Tracer имеет русифицированный и интуитивно понятный интерфейс.

Недостатками данной программы, согласно установленным требованиям, являются:

- функционал IOS реализован частично;
- нет возможности подключиться к реальной сети.

### **Graphical Network Simulator 3**

Graphical Network Simulator 3 (GNS3) – это графический симулятор сети, который позволяет моделировать работу реального оборудования. Это комплекс, который позволяет смоделировать виртуальную сеть из маршрутизаторов, коммутаторов и виртуальных машин.

В основе программного продукта GNS3 находится симулятор Dynamips, который получил графический интерфейс и возможность создавать сети с более чем одним устройством.

GNS3 реализует полный функционал IOS и выполнение всех существующих команд операционной системы при настройке сети. Имеется возможность, созданную в GNS3 топологию подключать к реальной сети для наглядного изучения работы сети. Широкий перечень сетевых устройств, в состав которых входят сетевые экраны (PIX и ASA), позволяют создавать практически любой сложности топологии. Программа включает в себя поддержку подключения виртуальной машины, благодаря чему возможно

тестировать и исследовать сеть. Интерфейс программы изображен на рисунке 3.3.

Программа обладает следующими возможностями:

- эмуляция маршрутизаторов компании Cisco, Juniper, Mikrotik;
- использование IOS от любого реального устройства, который поддерживается программой;
- симуляция модулей расширения маршрутизаторов;
- симуляция ATM, Frame Relay и Ethernet коммутаторов L2 и L3;
- связь виртуальной сети с реальной;
- построение больших сетей, число устройств которой ограничено только производительностью рабочей станции;
- подключение виртуальных машин (VirtualBox, VMware);
- эмуляция работы брандмауэров PIX и ASA;
- эмуляция работы устройств предотвращения и обнаружения атак IPS/IDS.

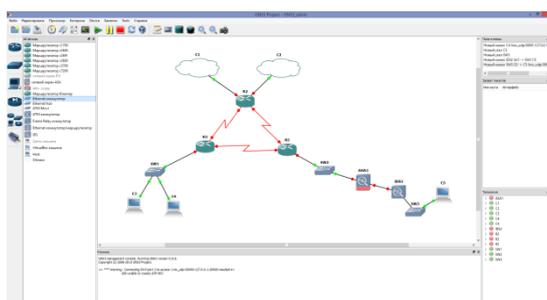


Рисунок 2. Интерфейс программы

Кроме того, имеется возможность анализировать трафик на любом участке топологии сети с помощью встроенного сетевого анализатора трафика Wireshark.

В данном симуляторе можно смоделировать практически любой сложности типологию, размеры которой ограничиваются только производительностью моделирующего компьютера. Это ограничение возможно преодолеть из-за возможности симулятора подключаться к реальной сети. Реализуется это путём моделирования различных частей топологии на нескольких вычислительных машинах, объединённых в одну локальную сеть.

GNS3 позволяет эмулировать следующие серии маршрутизаторов:

- Cisco 1700 Series (1710, 1720, 1721, 1750, 1751, 1760);
- Cisco 2600 Series (2610, 2611, 2610XM, 2620, 2620XM, 2650XM, 2611XM, 2621, 2621XM, 2651XM, 2691);
- Cisco 3600 Series (3620, 3640, 3660);
- Cisco 3700 Series (3725, 3745);
- Cisco 7200 Series (7206).

GNS3 является бесплатным программным продуктом и работает на большинстве Linux-систем, Mac OS X и Windows.

Минимальными и рекомендуемыми системными требованиями являются:

- центральный процессор: Intel Pentium 2 GHz / любой более мощный;
- оперативная память: 512 MB / рекомендуемый объём оперативной памяти рассчитывается с учётом того, что для симуляции одного маршрутизатора необходимо 64-128 MB оперативной памяти и 1 GB для каждого устройства безопасности;
- свободное место на жестком диске: 300 MB / зависит от количества используемых IOS.

Не смотря на все преимущества, данной программе присуще следующие недостатки:

- в состав GNS3 не входят образы как устройств компании Cisco IOS/IPS/PIX/ASA, так и компаний Juniper и MikroTik;
- отсутствует возможность полноценной симуляции коммутаторов второго уровня;
- интерфейс программы не русифицирован;
- требует больших мощностей ПК;
- программа тяжела в освоении для начинающего пользователя.

### **Cisco IOS on UNIX**

Cisco IOS on UNIX (Cisco IOU) – это проприетарное программное обеспечение. Проприетарное программное обеспечение – программное обеспечение, являющееся частной собственностью авторов или правообладателей и не удовлетворяющее критериям свободного программного обеспечения (наличия открытого программного кода недостаточно). Правообладатель проприетарного программного обеспечения сохраняет за собой монополию на его использование, копирование и модификацию, полностью или в существенных моментах.

Данный симулятор предназначен только для сотрудников компании Cisco, в частности его используют инженеры технической поддержки.

Этот симулятор содержит минимальное количество ограничений по функционалу.

Как и GNS3, IOU позволяет строить топологию сети из роутеров и свитчей на компьютере без необходимости использовать физические роутеры. Это очень полезно для проверки топологий, для самостоятельной подготовке к тестированию и сертификации.

**В IOU содержатся базовые версии IOS устройств 7200 серии.**

Программный продукт состоит из двух частей – I2iou и I3iou. Первая часть эмулирует канальный уровень и коммутаторы, а вторая - сетевой и маршрутизаторы.

Конфигурирование проводится путем редактирования текстовых конфигурационных файлов или используя графический интерфейс «Web front-end».

Интерфейс достаточно интуитивен, с его помощью можно производить практически все необходимые действия для настройки и коммутации оборудования.

Изначально Cisco IOU был разработан только под Solaris, но со временем был портирован и на операционные системы Linux.

Для того чтобы подключиться к любому устройству на схеме, достаточно просто кликнуть на нем и сразу же откроется PuTTY (рисунок 3.5).

PuTTY – свободно распространяемый клиент для различных протоколов удалённого доступа, включая SSH, Telnet, rlogin.

Cisco IOU имеет очень маленькое потребление ресурсов процессора, а оперативной памяти требуется гораздо меньше чем в GNS3.

**Недостатки программного продукта Dynamips:**

- программный продукт является проприетарным и предназначен только для сотрудников компании Cisco;
- интерфейс не русифицирован;
- отсутствие возможности использования устройств безопасности (PIX, ASA, IDS/IPS).

**Обобщение результатов сравнительного анализа**

Результаты анализа программных продуктов по разработанной методике представлены в приложении А. Каждый программный продукт по установленным градациям каждого пункта требований набрал соответствующее

количество баллов. Набранные баллы по каждому критерию и суммарный внесены в таблицу. Программные продукты расположены в порядке убывания суммарных баллов.

Из таблицы (приложение А) следует, что Cisco Packet Tracer набрал максимальное количество баллов относительно других рассматриваемых программных продуктов. Наибольшее количество баллов говорит о том, что этот продукт наиболее соответствует заданным требованиям. Целесообразно использовать Cisco Packet Tracer для проектирования сети студенческого городка ЮЗГУ, так как этот продукт:

- распространяется бесплатно;
- имеет достаточное количество разнотипного оборудования;
- обладает интуитивно понятным и русифицированным интерфейсом;
- является кроссплатформенным;
- не требовательна к ресурсам ПК;
- имеет режим визуализации с возможностью отследить перемещение данных по сети, появление и изменение параметров IP-пакетов при прохождении данных через сетевые устройства, скорость и пути перемещения IP-пакетов;
- возможность симулировать построение не только логической, но и физической модели сети.

Согласно результатам проведённого анализа наилучшим программным продуктом для моделирования сети студенческого городка ЮЗГУ оказался Cisco Packet Tracer. Рассмотрим более подробно функциональные возможности симулятора и их реализацию.

### **Построение локальной сети студгородка ЮЗГУ**

**В рамках данной ВКР необходимо разработать вариант локальной вычислительной сети для студгородка университета.**

**Для достижения поставленной цели необходимо:**

- построить структурную схему сети студгородка ЮЗГУ;
- описать настройку технологий: VLAN, агрегирования каналов, syslog, NTP, DHCP;
- провести тестирование работоспособности сети.

**Исходные данные для проектирования:**

а) здание №1 – трехкорпусное четырехэтажное общежитие с общим коридором. Потенциальное количество пользователей – 1500.

б) здание №2 – девятиэтажное общежитие. Потенциальное число пользователей 1125.

в) здание №3 – трехэтажный спорткомплекс ЮЗГУ. Потенциальное число пользователей 70.

г) здание №4 – физкультурно-оздоровительный комплекс. Потенциальное число пользователей 50.

**Категории пользователей:**

- студенты;
- профессорско-преподавательский состав;
- учебно-вспомогательный персонал и сотрудники охраны.

**Структурная схема расположения зданий с указанием маршрута прокладки оптического кабеля приведена на рисунке 3.**

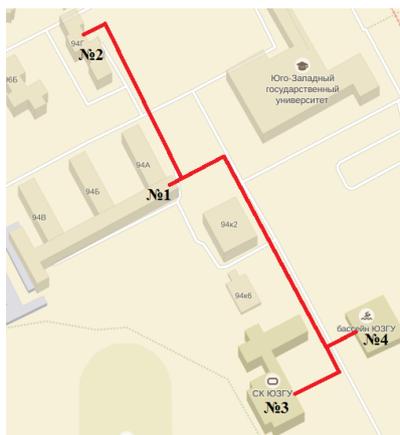


Рисунок 3. Структурная схема расположения зданий

В здании №1 расположено серверное помещение с сетевым оборудованием, необходимым для подключения сети студгородка ЮЗГУ к глобальной сети Интернет, а также сервер, выполняющий функции управления распределением сетевых ресурсов общего доступа.

Стоит отметить, что для подключения зданий студгородка ЮЗГУ используется оптоволоконный кабель, а для подключения конечных пользователей внутри здания – витая пара, что позволяет организовать обмен данными (передачу трафика) на высокой скорости, используя технологии Fast Ethernet и Gigabit Ethernet.

Данная сеть построена по топологии дерево. Количество сетевого оборудования выбрано исходя из численности потенциальных абонентов и количества помещений. Оконечные пользователи имеют возможность подключиться к сети, как проводным, так и беспроводным способом.

В здании №1 требуется установить: 1 маршрутизатор, 1 коммутатор L3 (третьего уровня), 19 коммутаторов L2 (второго уровня), 432 Wi-Fi роутера (точек доступа), 1 сервер.

В здании №2 требуется установить: 1 коммутатор L3 (третьего уровня), 14 коммутаторов L2 (второго уровня), а также 324 Wi-Fi роутера (точек доступа).

В здании №3 требуется установить: 1 коммутатор L3 (третьего уровня), 3 коммутатора L2 (второго уровня), а также 39 Wi-Fi роутеров (точек доступа).

В здании №4 требуется установить: 1 коммутатор L3 (третьего уровня), 2 коммутатора L2 (второго уровня), а также 26 Wi-Fi роутеров (точек доступа).

Структурная схема сети студгородка ЮЗГУ представлена в приложении Б.

В силу использования однотипных элементов сети, имеется возможность упростить структурную схему и в дальнейшем рассматривать часть сети, представленную на рисунке 4.

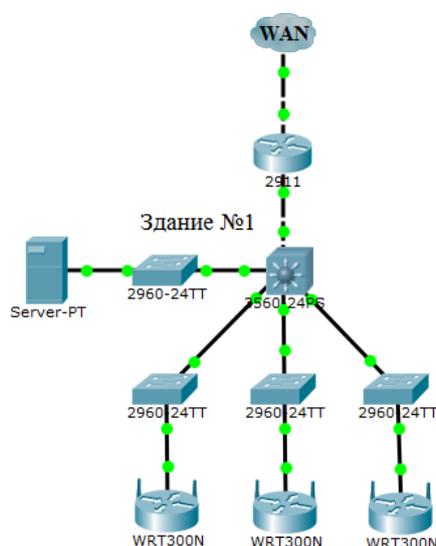


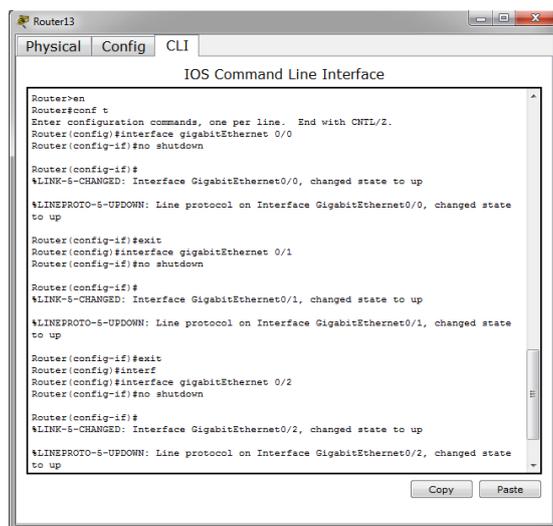
Рисунок 4. Структурная схема упрощенной сети

### Настройка и тестирование VLAN

VLAN (Virtual Local Area Network) – логическая (виртуальная) локальная компьютерная сеть, представляет собой группу хостов с общим набором требований, которые взаимодействуют так, как если бы они были подключены к широковещательному домену, независимо от их физического местонахождения. VLAN имеет те же свойства, что и физическая локальная сеть, но позволяет конечным станциям группироваться вместе, даже если они не находятся в одной физической сети. Такая реорганизация может быть сделана на основе программного обеспечения вместо физического перемещения устройств.

**Алгоритм настройки VLAN выделенного сегмента сети студгородка ЮЗГУ выполняется способом, описанным ниже.**

Для удобства настройки компьютеры будут подключены напрямую к коммутаторам L2 (второго уровня). Так как по умолчанию порты Gigabit Ethernet находятся в состоянии down (выключен), необходимо перевести их в состояние up (включен). Для этого необходимо выполнить следующие команды, представленные на рисунке 4.



```
Router13
Physical Config CLI
IOS Command Line Interface
Router>en
Router#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#interface gigabitEthernet 0/0
Router(config-if)#no shutdown

Router(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/0, changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet0/0, changed state to up
Router(config-if)#exit
Router(config)#interface gigabitEthernet 0/1
Router(config-if)#no shutdown

Router(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/1, changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet0/1, changed state to up
Router(config-if)#exit
Router(config)#interface gigabitEthernet 0/2
Router(config-if)#no shutdown

Router(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/2, changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet0/2, changed state to up
Copy Paste
```

**Рисунок 4. Включение портов Gigabit Ethernet**

Исходя из категорий пользователей, определим фрагментацию сетей VLAN (рисунок 5):

- VLAN 1 – по умолчанию передает нетегированный трафик;
- VLAN 2 – студенты;
- VLAN 3 – профессорско-преподавательский состав;
- VLAN 4 – учебно-вспомогательный персонал и сотрудники охраны;
- VLAN 5 – серверное оборудование.

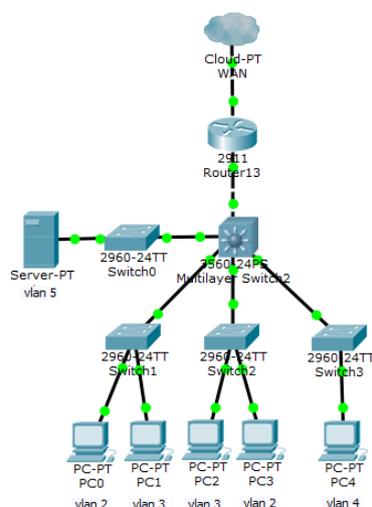


Рисунок 5. Фрагментация сети студгородка ЮЗГУ

Опишем этапы настройки коммутатора L2, используемого как коммутатор уровня доступа для подключения оконечных устройств, а также производящего первичное сегментирование сети.

- 1) Создадим необходимые VLAN сети и присвоим им названия.
- 2) Назначим соответствующий VLAN физическим интерфейсам, связанным с компьютерами, и диапазон VLAN, необходимый для передачи этого трафика в сети, для физического интерфейса, связанного с коммутатором (рисунок 6).

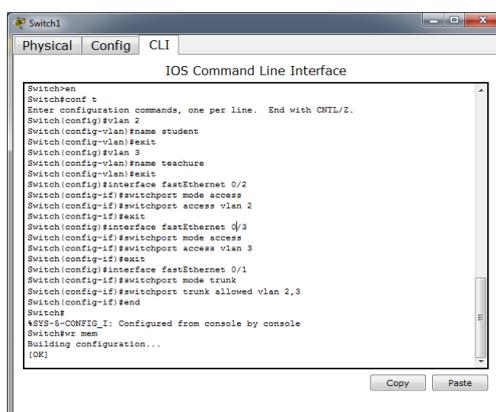


Рисунок 6. Настройка коммутатора L2

3) Удостоверимся, что физический интерфейс соответствует нужному номеру VLAN (рисунок 7).

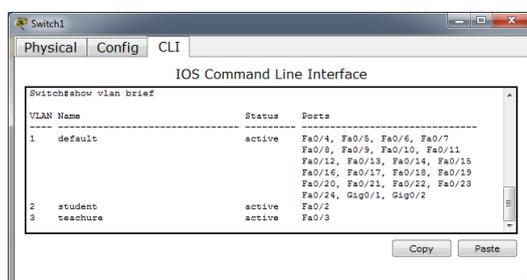


Рисунок 7. VLAN, настроенные на коммутаторе L2

Опишем этапы настройки коммутатора L3, использующегося как коммутатор уровня распределения и предназначенного для агрегирования коммутаторов уровня доступа (L2).

1) Создадим необходимые VLAN сети и присвоим им названия (рисунок 8).

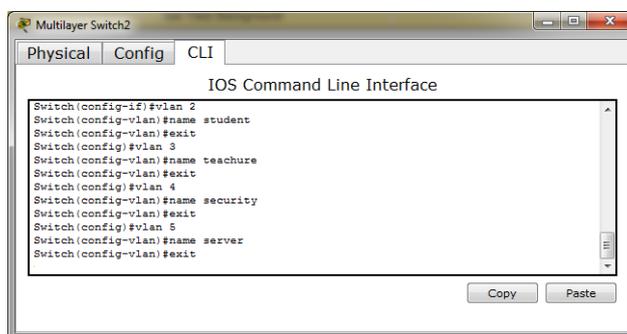


Рисунок 8. Процесс создания VLAN

2) Назначим диапазон VLAN, необходимый для передачи этого трафика в сети, для физического интерфейса, связанного с коммутатором (рисунок 9).

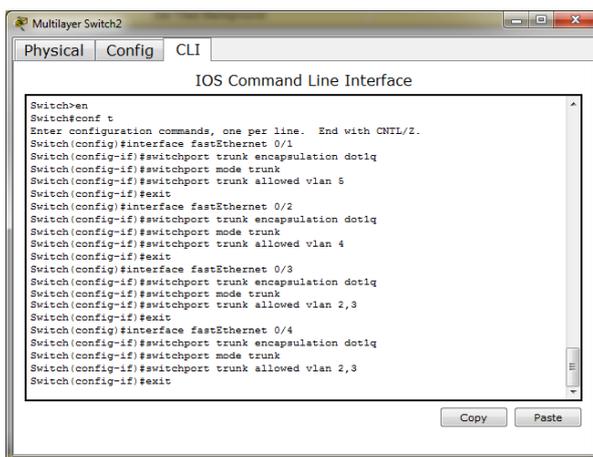


Рисунок 9. Настройка физических интерфейсов коммутатора L3

3) Назначим IP-адреса виртуальным интерфейсам, а также включим IP-маршрутизацию (рисунок 10).

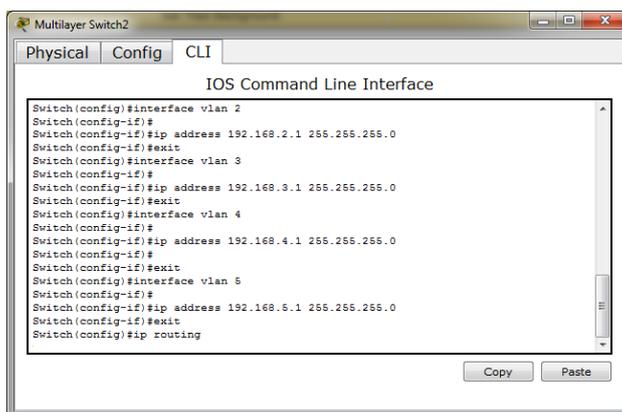


Рисунок 10. Настройка виртуальных интерфейсов коммутатора L3

Опишем этапы настройки оконечного оборудования (рисунок 11).

- 1) Зададим IP-адрес, исходя из номера VLAN.
- 2) Зададим маску подсети.
- 3) Зададим шлюз, который соответствует IP-адресу виртуального интерфейса на коммутаторе L3.

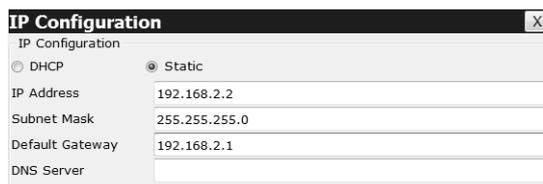


Рисунок 11. Настройка оконечного оборудования

Заключительным этапом является тестирование сети. Для этого необходимо выполнить команду ping с любого оконечного устройства до трех других, находящихся в различных участках сети: шлюз, компьютер, находящийся в данном сегменте сети; компьютер, находящийся в другом сегменте сети (рисунок 12).

Все запрашиваемые узлы ответили на запрос, потери пакетов не произошло, следовательно тестирование пройдено успешно. Исходя из этого настройку и тестирование остальных участков возможно произвести по описанному выше алгоритму.

```
PC>ping 192.168.2.1
Pinging 192.168.2.1 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.2.1: bytes=32 time=1ms TTL=255
Reply from 192.168.2.1: bytes=32 time=0ms TTL=255
Reply from 192.168.2.1: bytes=32 time=0ms TTL=255
Reply from 192.168.2.1: bytes=32 time=0ms TTL=255

Ping statistics for 192.168.2.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms

PC>ping 192.168.3.2
Pinging 192.168.3.2 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.3.2: bytes=32 time=0ms TTL=127
Reply from 192.168.3.2: bytes=32 time=1ms TTL=127
Reply from 192.168.3.2: bytes=32 time=0ms TTL=127
Reply from 192.168.3.2: bytes=32 time=0ms TTL=127

Ping statistics for 192.168.3.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms

PC>ping 192.168.3.3
Pinging 192.168.3.3 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.3.3: bytes=32 time=2ms TTL=127
Reply from 192.168.3.3: bytes=32 time=0ms TTL=127
Reply from 192.168.3.3: bytes=32 time=1ms TTL=127
Reply from 192.168.3.3: bytes=32 time=0ms TTL=127

Ping statistics for 192.168.3.3:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 2ms, Average = 0ms
```

### Рисунок 12. Тестирование сети

Применение VLAN позволило получить следующие преимущества.

а) Гибкое разделение устройств на группы.

VLAN позволяет объединить компьютеры в одну сеть на канальном уровне (2-ой уровень модели OSI), даже если они физически подключены к разным

коммутаторам, а также позволяет изолировать трафик группы узлов от остальной сети.

б) Уменьшение количества широковещательного трафика в сети.

Каждый VLAN — это отдельный широковещательный домен. Например, коммутатор — это устройство 2 уровня модели OSI. Все порты на коммутаторе с лишь одним VLAN находятся в одном широковещательном домене. Создание дополнительных VLAN на коммутаторе означает разбиение коммутатора на несколько широковещательных доменов. Если один и тот же VLAN настроен на разных коммутаторах, то порты разных коммутаторов будут образовывать один широковещательный домен.

в) Увеличение безопасности и управляемости сети.

Когда сеть разбита на VLAN, упрощается задача применения политик и правил безопасности. С VLAN политики можно применять к целым подсетям, а не к отдельному устройству. Кроме того, переход из одного VLAN в другой предполагает прохождение через устройство 3 уровня, на котором, как правило, применяются политики, разрешающие или запрещающие доступ из VLAN в VLAN.

### **Настройка и тестирование агрегирования каналов**

Агрегирование каналов (link aggregation) — технология, которая позволяет объединить несколько физических каналов в один логический. Такое объединение позволяет увеличивать пропускную способность и надежность канала. Агрегирование каналов может быть настроено между двумя коммутаторами, коммутатором и маршрутизатором, между коммутатором и хостом.

Агрегирование каналов даёт возможность объединять от двух до восьми 100 Мбит/с, 1 Гбит/с или 10 Гбит/с портов Ethernet (все порты в канале должны иметь одинаковую скорость), работающего по витой паре или

по оптоволокну, что позволяет достичь результирующей скорости до 80 Гбит/с. Дополнительно, от одного до семи портов могут быть неактивны и включаться в работу при обрыве соединения по одному из активных портов. При отсутствии резервных портов, трафик автоматически распределяется по всем активным соединениям.

В качестве протокола агрегирования целесообразно выбрать LACP (Link Aggregation Control Protocol) – стандартный протокол динамического агрегирования, используемый коммутаторами разных производителей. Протокол стандартизирован и поддерживается другим оборудованием, что позволяет настраивать агрегированные каналы между оборудованием различного производителя.

Преимущества LACP:

- согласование настроек с удаленной стороной позволяет избежать ошибок и петель в сети;
- поддержка резервных интерфейсов позволяет агрегировать до 16ти портов, 8 из которых будут активными, а остальные в режиме резерв.

Алгоритм настройки агрегирования каналов выделенного сегмента сети студгородка ЮЗГУ выполняется способом, описанным ниже.

Опишем этапы настройки коммутатора L2, использующегося как коммутатор уровня доступа для подключения оконечных устройств.

- 1) Выберем протокол агрегирования каналов.
- 2) Создадим агрегирующий канал, объединяющий 2 физических интерфейса Fast Ethernet (рисунок 13).

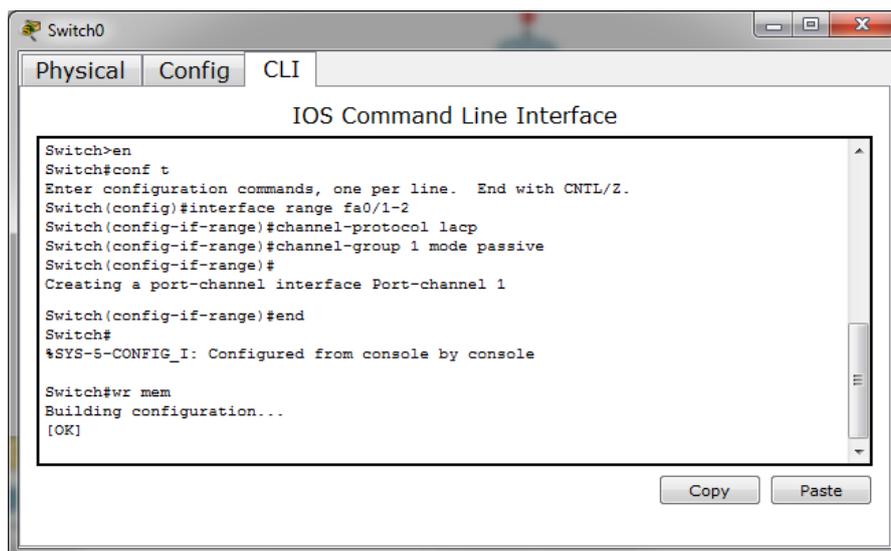


Рисунок 13. Настройка коммутатора L2

Опишем этапы настройки коммутатора L3, использующегося как коммутатор уровня распределения и предназначенного для агрегирования коммутаторов уровня доступа (L2).

- 1) Выберем протокол агрегирования каналов.
- 2) Создадим агрегирующий канал, объединяющий 2 физических интерфейса Gigabit Ethernet, для соединения с маршрутизатором (рисунок 14).

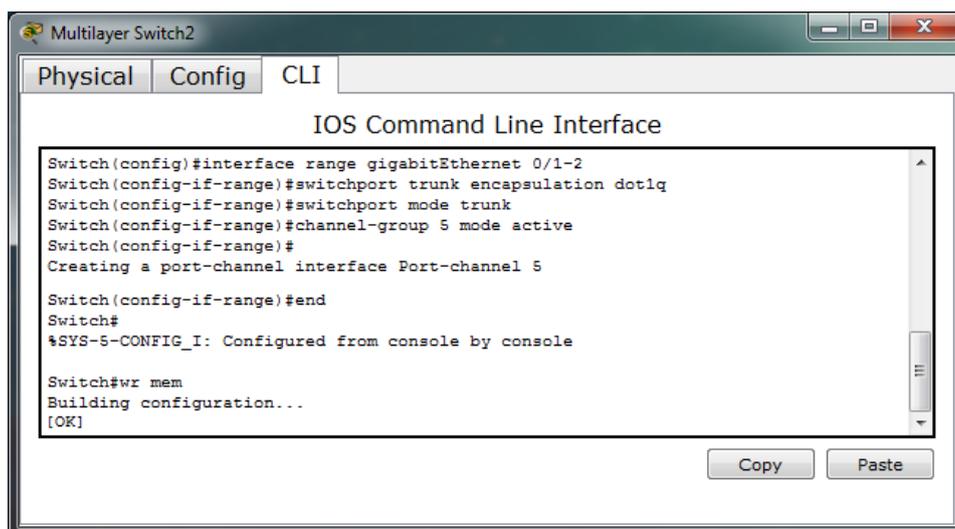


Рисунок 14. Процесс создания агрегирующего канала для соединения с маршрутизатором

3) Создадим несколько агрегирующих каналов по количеству коммутаторов L2, объединяющий 2 физических интерфейса Fast Ethernet (рисунок 4.24).

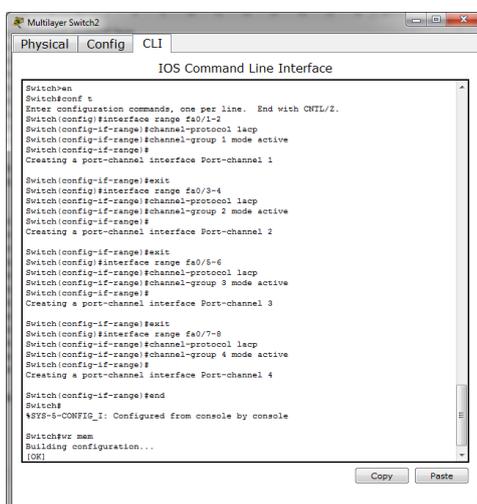


Рисунок 15. Настройка коммутатора L3

Опишем этапы настройки маршрутизатора, используемого для обеспечения доступа из локальной сети в глобальную сеть Интернет и для объединения сетей различных архитектур.

1) Создадим агрегирующий канал, объединяющий 2 физических интерфейса Gigabit Ethernet, для соединения с коммутатором L3 (рисунок 15).

2) Зададим IP-адрес полученному агрегирующему каналу.

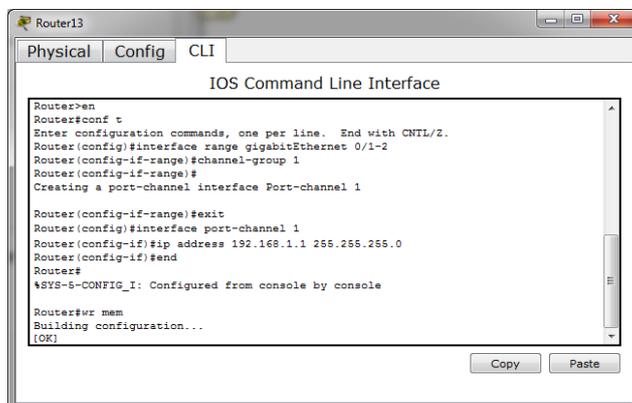


Рисунок 16. Настройка маршрутизатора

Опишем этапы настройки оконечного оборудования (рисунок 17).

- 1) Зададим IP-адрес, исходя из номера VLAN.
- 2) Зададим маску подсети.
- 3) Зададим шлюз, который соответствует IP-адресу виртуального интерфейса на коммутаторе L3.

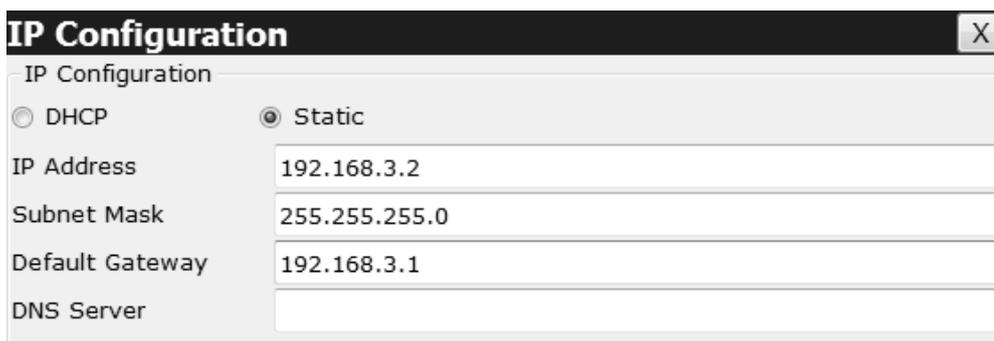


Рисунок 17. Настройка оконечного оборудования

Опишем этапы тестирования сети.

- 1) Выполним команду ping с компьютера PC1 до компьютера PC3, находящегося в другом сегменте сети.
- 2) Остановим работу одного из физических интерфейсов на участке между коммутатором L2 и коммутатором L3, тем самым проверим участок сети на отказоустойчивость (рисунок 18).

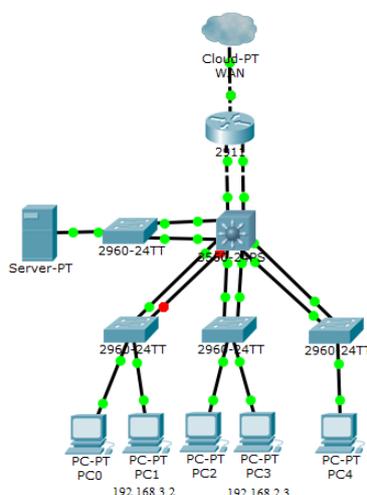


Рисунок 18. Процесс проверки сети на отказоустойчивость

### 3) Повторно выполним команду ping с компьютера PC1 до компьютера PC3 (рисунок 19).

Потери пакетов не происходит, так как один из физических каналов, входящий в состав агрегирующего, остается активным. Исходя из этого тестирование пройдено успешно, поскольку не произошло прерывание связи. Можно сделать вывод, что настройка проведена верно, поэтому настройку и тестирование остальных участков сети проводим по описанному выше алгоритму.

```
PC>ipconfig
FastEthernet0 Connection: (default port)

    Link-local IPv6 Address . . . . . : FE80::290:CFF:FE00:DECD
    IP Address. . . . . : 192.168.3.2
    Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
    Default Gateway . . . . . : 192.168.3.1

PC>ping 192.168.2.3

Pinging 192.168.2.3 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.2.3: bytes=32 time=1ms TTL=127
Reply from 192.168.2.3: bytes=32 time=1ms TTL=127
Reply from 192.168.2.3: bytes=32 time=0ms TTL=127
Reply from 192.168.2.3: bytes=32 time=0ms TTL=127

Ping statistics for 192.168.2.3:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms

PC>ping 192.168.2.3

Pinging 192.168.2.3 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.2.3: bytes=32 time=0ms TTL=127
Reply from 192.168.2.3: bytes=32 time=0ms TTL=127
Reply from 192.168.2.3: bytes=32 time=1ms TTL=127
Reply from 192.168.2.3: bytes=32 time=1ms TTL=127

Ping statistics for 192.168.2.3:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms
```

#### Рисунок 19. Тестирование сети

Применение технологии агрегации каналов позволило:

- повысить пропускную способность канала;
- обеспечить резерв на случай выхода из строя одного из каналов.

#### Настройка и тестирование syslog и NTP

Syslog (system log) – стандарт отправки и регистрации сообщений о происходящих в системе событиях, использующийся в компьютерных сетях, работающих по протоколу IP.

Суть механизма syslog: источники формируют простые текстовые сообщения о происходящих в них событиях и передают их на обработку серверу

syslog, используя один из сетевых протоколов семейства IP (UDP или TCP). Как правило сообщение имеет небольшой размер (до 1024 байт) и отсылается в открытом виде.

Поскольку источники сообщений и сервер syslog могут располагаться на разных машинах, то это позволяет организовать сбор и хранение сообщений от множества географически разнесенных разнородных источников в едином хранилище, что чрезвычайно важно для администраторов сетей, которые могут и не иметь физического доступа сразу ко всем устройствам и компьютерам в сети.

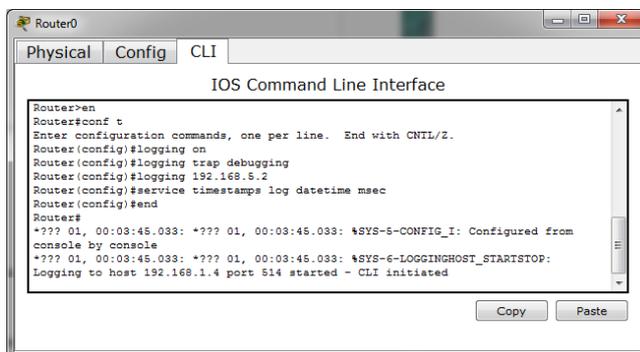
NTP (Network Time Protocol) – сетевой протокол для синхронизации внутренних часов компьютера с использованием сетей с переменной латентностью.

NTP использует для своей работы протокол UDP и учитывает время передачи. Система NTP чрезвычайно устойчива к изменениям латентности среды передачи. В версии 4 способен достигать точности 10 мс (1/100 с) при работе через Интернет, и до 0,2 мс (1/5000 с) и лучше внутри локальных сетей.

Алгоритм настройки syslog-сервера и протокола NTP для выделенного сегмента сети студгородка ЮЗГУ выполняется способом, описанным ниже.

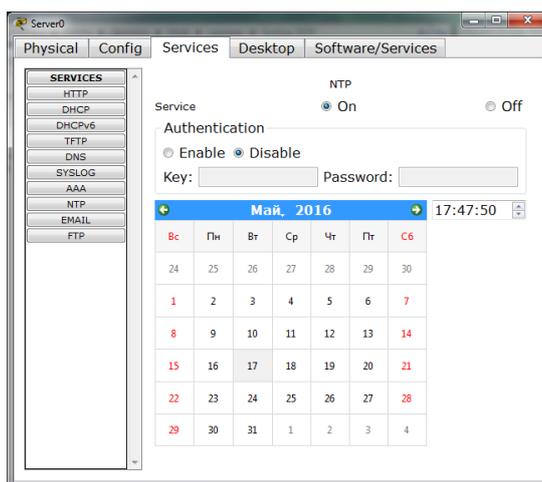
- 1) Включим логирование на маршрутизаторе.
- 2) Настроим уровень логирования, установив режим отправки всех сообщений.
- 3) Укажем IP-адрес syslog-сервера для отправки логов.
- 4) Зададим единый формат времени сообщений для корректного отображения на syslog-сервере (рисунок 20).
- 5) Сгенерируем сообщение, содержащее информацию о его уровне, отправляющем устройстве и времени. В случае

**ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕСООТВЕТСТВИЯ ВРЕМЕНИ ТЕКУЩЕМУ ПРИМЕНЯЕТСЯ ПРОТОКОЛ NTP.**



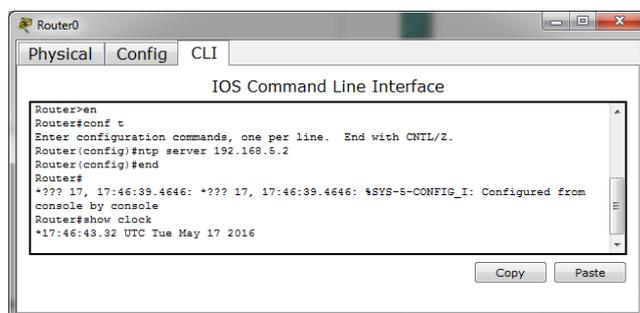
**Рисунок 20. Настройка маршрутизатора**

**6) Включим службу NTP на сервере, выставим корректные дату и время (рисунок 21).**



**Рисунок 21. Настройка протокола NTP на сервере**

**7) Настроим протокол NTP на маршрутизаторе, указав IP-адрес сервера, и проверим время (рисунок 22).**



**Рисунок 22. Настройка протокола NTP на маршрутизаторе**

## 8) Произведем повторную генерацию системных сообщений (рисунок 23).

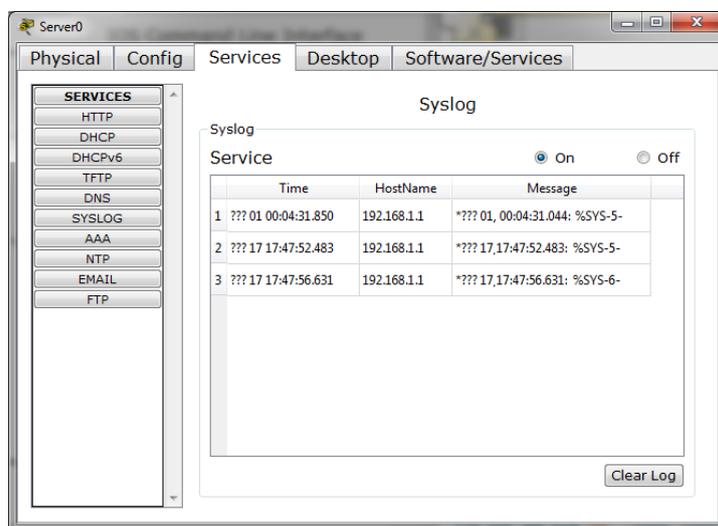


Рисунок 23. Полученные системные сообщения

О правильности настройки свидетельствуют корректные дата и время полученных сообщений, позволяющие использовать их и анализировать. (Знаки вопроса являются следствием использования русскоязычной версии Windows)

Применение syslog-сервера и протокола NTP позволило получить следующие преимущества:

- отслеживание проблем в сети и предотвращение аварий;
- централизованный сбор логов со всех устройств сети.

### Настройка и тестирование DHCP

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) – сетевой протокол, позволяющий компьютерам автоматически получать IP-адрес, маску подсети, шлюз, адрес DNS-сервера, необходимые для работы в сети TCP/IP. Данный протокол работает по модели «клиент-сервер». Для автоматической конфигурации компьютер-клиент на этапе конфигурации сетевого устройства обращается к так называемому серверу DHCP и получает от него нужные параметры. Сетевой администратор может задать диапазон адресов,

распределяемых сервером среди компьютеров. Это позволяет избежать ручной настройки компьютеров сети и уменьшает количество ошибок.

Протокол DHCP предоставляет три способа распределения IP-адресов.

а) Ручное распределение. При этом способе сетевой администратор сопоставляет аппаратному адресу (для Ethernet сетей это MAC-адрес) каждого клиентского компьютера определённый IP-адрес. Фактически, данный способ распределения адресов отличается от ручной настройки каждого компьютера лишь тем, что сведения об адресах хранятся централизованно (на сервере DHCP), и потому их проще изменять при необходимости.

б) Автоматическое распределение. При данном способе каждому компьютеру на постоянное использование выделяется произвольный свободный IP-адрес из определённого администратором диапазона.

в) Динамическое распределение. Этот способ аналогичен автоматическому распределению, за исключением того, что адрес выдаётся компьютеру не на постоянное пользование, а на определённый срок. Это называется арендой адреса. По истечении срока аренды IP-адрес вновь считается свободным, и клиент обязан запросить новый. Кроме того, клиент сам может отказаться от полученного адреса.

Алгоритм настройки DHCP для выделенного сегмента сети студгородка ЮЗГУ выполняется способом, описанным ниже.

1) Зададим DHCP-серверу IP-адрес, маску подсети, шлюз (рисунок 24).

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>

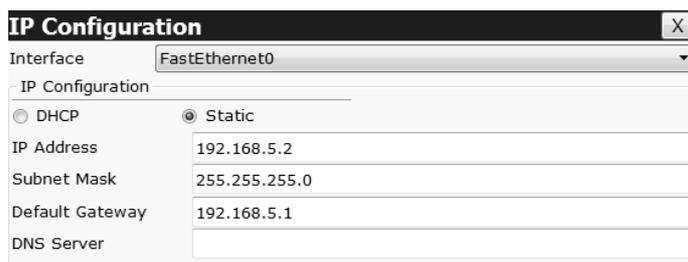


Рисунок 24. Настройка сетевого адреса DHCP-сервера

## 2) Проверим связь с коммутатором (рисунок 25).

```
Packet Tracer SERVER Command Line 1.0
SERVER>ping 192.168.5.1

Pinging 192.168.5.1 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.5.1: bytes=32 time=9ms TTL=255
Reply from 192.168.5.1: bytes=32 time=0ms TTL=255
Reply from 192.168.5.1: bytes=32 time=0ms TTL=255
Reply from 192.168.5.1: bytes=32 time=0ms TTL=255

Ping statistics for 192.168.5.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 9ms, Average = 2ms
```

Рисунок 25. Проверка связи с коммутатором

## 3) Настроим DHCP-сервер. Зададим название диапазона, шлюз, DNS сервер, начальный IP-адрес, маску подсети и максимальное количество пользователей (рисунок 26).

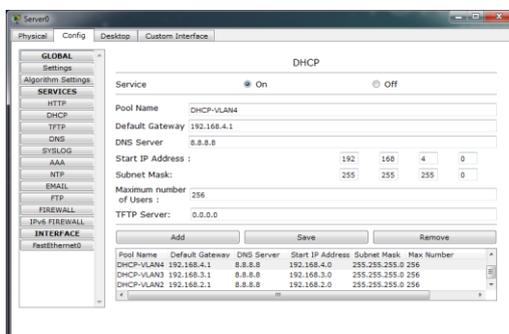


Рисунок 26. Настройка DHCP-сервера

## 4) Настроим на коммутаторе L3 переадресацию DHCP-запросов на DHCP-сервер (рисунок 27).

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>

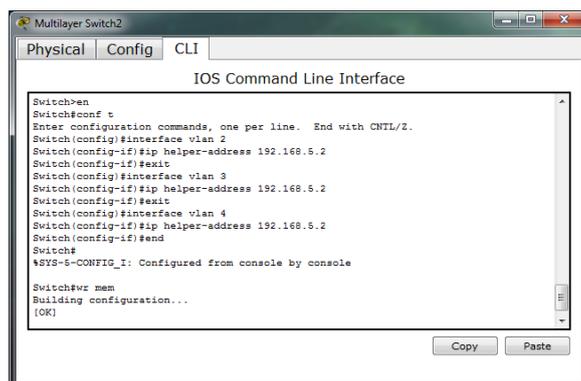


Рисунок 27. Настройка коммутатора L3

5) Получим IP-адрес, маску подсети, стандартный шлюз и адрес DNS сервера с помощью протокола DHCP на оконечном оборудовании (рисунок 28).

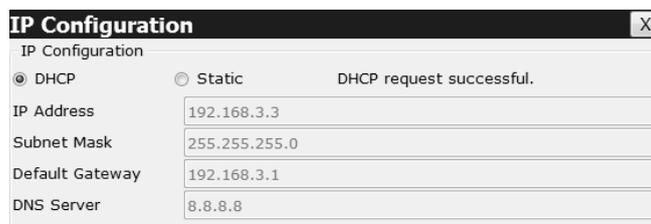


Рисунок 28. Настройка оконечного оборудования

6) Проверим взаимодействие оконечного оборудования. Выполним команду ping до шлюза и компьютера из соседнего сегмента (рисунок 29).

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>

```
PC>ipconfig

FastEthernet0 Connection: (default port)

    Link-local IPv6 Address . . . . . : FE80::200:CFF:FE14:3A00
    IP Address. . . . . : 192.168.3.3
    Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
    Default Gateway . . . . . : 192.168.3.1

PC>ping 192.168.3.1

Pinging 192.168.3.1 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.3.1: bytes=32 time=0ms TTL=255
Reply from 192.168.3.1: bytes=32 time=0ms TTL=255
Reply from 192.168.3.1: bytes=32 time=1ms TTL=255
Reply from 192.168.3.1: bytes=32 time=0ms TTL=255

Ping statistics for 192.168.3.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms

PC>ping 192.168.2.2

Pinging 192.168.2.2 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=0ms TTL=127

Ping statistics for 192.168.2.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms
```

### Рисунок 29. Тестирование сети

Все компьютеры получили корректные IP-адреса в автоматическом режиме, все запрашиваемые узлы ответили на запрос, потери пакетов не произошло, следовательно тестирование пройдено успешно.

Применение DHCP позволило добиться следующих преимуществ:

- безопасная и надежная настройка;
- сокращение затрат времени на управление конфигурацией сети;
- централизованная база сетевых адресов.

В статье был проведен анализ рынка сетевого оборудования, показавший, что несомненным лидером является компания Cisco, производящая значительную долю телекоммуникационных устройств. Решения Cisco используются в основных отраслях российской экономики и ведущих госструктурах.

Был предложен вариант организации локальной вычислительной сети студенческого городка ЮЗГУ. Для его реализации были выполнены следующие пункты:

- построена структурная схема сети студгородка ЮЗГУ (приложение Б);
- выбрано количество сетевого оборудования исходя из численности потенциальных абонентов и количества помещений;
- описана настройка технологий: VLAN, агрегирования каналов, syslog, NTP, DHCP;
- проведено тестирование сети (все компьютеры получили корректные IP-адреса в автоматическом режиме, все запрашиваемые узлы ответили на запрос, потери пакетов не произошло, что говорит об успешности тестирования).

Внедрение технологий, перечисленных, позволит модернизировать существующую сеть студенческого городка ЮЗГУ, а также обеспечит качество обслуживания пользователей.

#### Библиографический список

1. Локальные вычислительные сети [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании «Оптимальные сетевые решения»: Internet - [http://www.ons.ru/systems/4/lokalnye\\_vychislitelnye\\_seti](http://www.ons.ru/systems/4/lokalnye_vychislitelnye_seti)
2. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы [Текст]: учеб. / Олифер В.Г., Олифер Н.А. – М.: Изд-во Питер, 2015. – 992 с.
3. Сетевые топологии – кольцо, звезда и шина [Электронный ресурс] // ITERANET, IT-журнал: Internet – <http://iteranet.ru/it-novosti/2014/04/03/setevye-topologii-kolco-i-zvezda-i-shina>
4. Хмелевская А. В. Сравнительный анализ наиболее распространенных программных комплексов моделирования телекоммуникационных сетей применительно к задаче изучения дисциплин по направлению «Инфокоммуникации» // А. В. Хмелевская, Д. С. Коптев, А. Н. Шевцов, А. Н. Щитов / материалы докладов IV региональной заочной научно – практической конференции «ИИС-2016». – 2017. С. 189 – 203.

УДК 347.822.4

## Коптев Д. С., Шевцов А. Н. Принципы обеспечения безопасности воздушного движения с помощью систем спутниковой связи

Principles of air traffic safety through satellite communication systems

**Шевцов А.Н., Коптев Д.С.**

Юго – Западный государственный университет  
Shevtsov A.N., Koptev D.S.  
Southwestern State University

***Аннотация.** Наряду с огромными успехами в развитии авиационной промышленности следует отметить и тот факт, что до сих пор еще слишком мало внимания уделяется выработке конкретных и действенных правил обеспечения безопасности движения самолетов в воздухе и на земле. Повышение безопасности полетов является жизненной необходимостью, поскольку оно служит делу укрепления доверия общественности к авиации. Важная роль в обеспечении безопасности принадлежит системам оперативной связи борт-Земля. В первую очередь, необходимо выполнять требования 101-й поправки ИКАО по повышению эффективности функционирования системы управления безопасностью полетов (СУБП). Также, одним из компонентов СУБП является обмен информацией с борта на Землю в реальном масштабе времени через спутниковую систему связи.*

***Ключевые слова:** система зависимого наблюдения-вещания, фазовая манипуляция, глобальная навигационная спутниковая система.*

***Abstract.** Along with the tremendous progress in the development of the aviation industry, it should be noted that fact that so far little attention has been paid to the development of specific and effective rules for ensuring the safety of aircraft movements in the air and on land. Improving safety is a vital necessity, since it serves to strengthen public confidence in aviation. An important role in providing security belongs to the systems of operational communication between the Earth and the Earth. First of all, it is necessary to fulfill the requirements of the 101st ICAO amendment to improve the efficiency of the safety management system (SMS). Also, one of the SMS components is the exchange of information from the board to the Earth in real time via a satellite communication system.*

***Keywords:** dependent surveillance-broadcasting system, phase shift keying, global navigation satellite system.*

**В настоящее время системы спутниковой связи (ССС) являются одним из основных средств, способных с учетом современных технологий обеспечить оперативную связь, практически не зависящую ни от географического положения и рельефа местности, ни от расстояния находящихся в зоне радиовидимости спутников-ретрансляторов (СР) мобильных абонентов наземного, морского и воздушного базирования.**

**Одним из наиболее значимых и стремительно развивающихся в последнее время видов информационных технологий является спутниковая**

связь, предоставляющая комплекс информационных услуг каждому пользователю, вне зависимости от его местоположения, передвижения, погодных и климатических условий и т. д.

Действительно, командование вооруженных сил ведущих экономически развитых стран рассматривают спутниковую связь как наиболее значимую и приоритетную для обеспечения информационного превосходства на любых театрах военных действий, поэтому вкладывают огромные средства в развитие и совершенствование военных систем спутниковой связи. Дело в том, что потенциальные возможности военных спутниковых систем, обладающих рядом важнейших достоинств, таких как широкоэвещательность, высокая надежность и качество каналов связи, независимость от расстояния и от физико-географических условий, высокая мобильность, позволяют обеспечить связью абонентов различного ранга: от пунктов управления стратегического звена до подвижных объектов тактического звена управления включая командиров отдельных подразделений (персональную связь).

Средства спутниковой связи находят широкое применение и в системе управления Вооруженных Сил Российской Федерации. В условиях совершенствования форм и способов вооруженной борьбы, применения новейших вооружений и военной техники спутниковая связь рассматривается в качестве одного из важнейших направлений обеспечения устойчивости управления войсками и оружием и своевременной передачи необходимого объема информации при минимальных затратах.

Задача развития и совершенствования отечественных военных систем и средств спутниковой связи с момента их появления и по настоящее время остается актуальной. Именно поэтому исследования, проводимые в данном направлении в 16 ЦНИИИ МО РФ, являются одними из приоритетных.

Институт вместе с Московским НИИ радиосвязи и НИИ радио стоял у истоков создания и развития систем спутниковой связи как военного, так и народно-хозяйственного назначения.

Единая Система Спутниковой Связи (ЕССС) — система спутниковой связи в интересах Вооружённых Сил СССР и позже Вооружённых Сил Российской Федерации (ВС РФ). В своем развитии прошла первый (1970—1985 гг.) и второй (1986—1999 гг.) этапы. В настоящее время осуществляется переход к третьему этапу развития Интегрированной Системе Спутниковой Связи, который характеризуется одновременным функционированием единых систем спутниковой связи старого и нового поколений.

ЕССС-1 представляла собой полностью цифровую систему с высокой степенью помехоустойчивости и обеспечивала связь в С-диапазоне между любыми точками по всей территории Земли. Она гарантировала устойчивую работу части каналов спутниковой связи в условиях воздействия помех за счет использования широкополосных сигналов. ЕССС-1 строилась по радиально-узловому принципу, и в ней впервые в мировой практике в одном из стволов бортового ретранслятора использовалась полная обработка сигналов с формированием группового сигнала с временным уплотнением каналов на участке КА — земная станция.

Работы по созданию Единой системы спутниковой связи 2-го этапа (ЕССС-2) были начаты в 1980-х годах. Как и ЕССС-1, эта система предназначалась для обеспечения организации глобальной засекреченной, помехозащищённой телефонно-телеграфной связи и передачи команд управления в интересах различных ведомств. Главное отличие от ЕССС-1 заключается в значительно повышенной помехоустойчивости каналов связи.

Новая концепция построения ЕССС предусматривала существенное повышение пропускной способности, помехозащищённости и помехоустойчивости за счет введения доступа с кодовым разделением

сигналов (CDMA) на основе использования псевдослучайной перестройки рабочих частот (ППРЧ) с обработкой сигналов на борту, освоения новых более высокочастотных диапазонов (40/20 ГГц) в дополнение к С- и X- диапазонам, повышения мощности передающих устройств узловых абонентских станций и повышения пространственной селекции за счет бортовых антенн спутников.

Для увеличения эффективности использования каналов и уменьшения энергопотребления абонентских станций, была выбрана схема с использованием CDMA для канала «абонентские станции – КА», и TDM (уплотнения во времени) в канале «КА - абонентские станции».

Таким образом, принятые на спутнике через многолучевую антенну группы сигналов CDMA демодулируются, маршрутизируются матричным коммутатором по входам мультиплексоров различных лучей и затем уплотняются ими в парциальные зональные потоки. За счет этого удаётся исключить несанкционированный доступ и обеспечить повышенную помехозащищённость радиолинии с применением сигналов ППРЧ и ФМ-ШПС.

Орбитальная группировка ЕССС-2 вначале состояла из геостационарных спутников типа «Радуга», унаследованных от ЕССС первого этапа, и в таком виде была принята в опытную эксплуатацию. К 1989 году им на смену пришли усовершенствованные аппараты «Радуга-1», и после запуска трёх спутников новой серии ЕССС-2 первого этапа была принята на вооружение. По сравнению с КА «Радуга», на новых спутниках был расширен диапазон применяемых частот, а также была доработана спутниковая платформа. Полезная нагрузка КА «Радуга-1», ретранслятор «Цитадель», состоит из шести стволов и обеспечивает работу в режиме радио-АТС. Бортовые ретрансляторы КА «Радуга-1» позволяют работать не только со стационарными, но и с мобильными и носимыми земными станциями.

Кроме того, как и в ЕССС-1, в ЕССС-2 входили высокоэллиптические спутники «Молния-3».

КА «Молния-3» обеспечивали связь в С-диапазоне (4-6 ГГц) через трёхствольную ретрансляционную аппаратуру «Сегмент-3».

Благодаря использованию новых космических аппаратов возможности ЕССС-2 в области задач Министерства обороны значительно расширились. Теперь было возможно поддерживать двустороннюю связь с оперативно-тактическим звеном управления, отдельными самолётами ВВС и ВМФ, кораблями и подводными лодками. Также повышалась помехозащищённость спутниковых каналов путем использования Ка-диапазона, многолучевых антенн и более совершенных методов обработки сигналов на борту КА.

В составе ЕССС-2 функционируют также стационарные, подвижные, возимые и носимые земные станции различных звеньев управления «Ливень», «Легенда», «Барьер». С 2002 года используются станции нового поколения «Ливень-Л», «Легенда-МД», «Белозер», «Центавр», «Кулон» и другие. Их отличают более высокая надежность, простота в эксплуатации и новые перспективные режимы работы.

В настоящее время, ЕССС-2 уже не отвечает в полной мере современным требованиям системы управления ВС РФ и возможности улучшения характеристик полностью исчерпаны. Наметилось серьёзное отставание ЕССС-2 от современных военных спутниковых систем зарубежных стран, в первую очередь по пропускной способности, а также видам и качеству услуг, предоставляемых конечному пользователю. Поэтому, с начала 2000 гг. начался постепенный переход к системе связи третьего поколения - ИССС.

ИССС (Интегрированная Система Спутниковой Связи) является цифровой системой связи третьего поколения в интересах ВС РФ.

В связи с распадом СССР, некоторые из задач, поставленные перед ЕССС-2, не были решены. Так, например, не были созданы специализированные спутники и земные станции миллиметрового диапазона волн. В то же время, в течение 1990-х гг. были разработаны принципы

построения интегрированной спутниковой системы связи нового поколения (ИССС).

ИССС, 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.

**Основные требования к ИССС:**

- глобальная зона обслуживания, с возможностью концентрации пропускной способности на территории Российской Федерации и перераспределением пропускной способности на 2-3 региональных участка;
- комплексное использование разрешенных 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-и лет.

Сети и направления спутниковой связи с подвижными объектами должны строиться по единым принципам и способам, принятым в системе спутниковой связи Министерства обороны РФ. При этом обеспечивается возможность встречной работы земных станций различных типов, в том числе и различных диапазонов с использованием перекрестных связей в ретрансляторах КА связи.

Создание таких сетей возможно на основе развертывания орбитальной группировки высокоэнергетических космических аппаратов, позволяющих обеспечить необходимую энергетику для функционирования малогабаритных абонентских терминалов, устанавливаемых на подвижных объектах. Кроме того,

КА связи должны иметь возможность изменения конфигурации для конкретного района обслуживания в зависимости от потребностей в определенных типах сетей спутниковой связи. При разработке высокоэнергетических КА связи необходимо применение современных технологий, в первую очередь, технологий построения крупногабаритных антенных систем и межлучевой коммутации сигналов на борту КА связи.

Наряду с огромными успехами в развитии авиационной промышленности следует отметить и тот факт, что до сих пор еще слишком мало внимания уделяется выработке конкретных и действенных правил обеспечения безопасности движения самолетов в воздухе и на земле. Повышение безопасности полетов является жизненной необходимостью, поскольку оно служит делу укрепления доверия общественности к авиации.

Уровень безопасности полета определяется несколькими факторами: техническое состояние непосредственно самолета, уровень тех систем, которые находятся на борту, подготовка экипажа, и собственно организация движения, управление воздушным транспортом. Так называемый человеческий фактор является причиной 70% авиационных происшествий. Это происходит по многим факторам, в частности из-за не качественной радиопередачи. С учетом далеко идущих последствий инцидентов, связанных с актами незаконного вмешательства, и необходимости быстрого и эффективного сотрудничества со многими учреждениями с широким кругом ответственности совершенно необходимо, чтобы диспетчеры воздушного движения, несущие юридическую ответственность за подверженное такому акту воздушное пространство, узнавали обо всех аспектах ситуации как можно быстрее и вслед за этим своевременно передавали необходимую информацию старшему персоналу ОВД с целью предпринятая последними соответствующих действий. Именно это обстоятельство определило выбор темы дипломной работы, поскольку качественный эфир может позволить избежать летного происшествия.

Важная роль в обеспечении безопасности принадлежит системам оперативной связи БОРТ-ЗЕМЛЯ. В первую очередь, необходимо выполнять 101-ю поправку ИКАО по повышению эффективности функционирования системы управления безопасностью полетов (СУБП).

14 ноября 2013 года на очередном Форуме ассоциации вертолетной индустрии (АВИ) в городе Москва было официально доложено о введении в действие поправки №101 к международным стандартам и рекомендуемой практике летной годности воздушных судов (Приложение 8 к Конвенции о ИКАО). Это означает, что с 14.11. 2013 г. в рамках своей программы по безопасности полетов любая организация, ответственная за типовую конструкцию или изготовление воздушного судна должна внедрить систему управления безопасностью полетов (СУБП), которая бы:

- определяла риски для безопасности полетов;
- обеспечивала принятие коррективных действий, необходимых для поддержания согласованного уровня безопасности полетов;
- предусматривала проведение постоянного мониторинга и регулярной оценки уровня безопасности полетов;
- имела своей целью постоянное повышение общей эффективности СУБП.

Проведенный анализ состояния уровня обеспеченности и завершенности СУБП у эксплуатантов летательных аппаратов (ЛА) показал, что достигнутый уровень не в полной мере соответствует предъявляемым требованиям. Действия эксплуатантов в этом направлении носят разобщенный характер с малой степенью унификации организационно-технических решений. Безусловно, реализация СУБП ввиду ее многообразия и сложности, должна носить поэтапный характер с постепенным наращиванием функциональной насыщенности и завершенности. В этой связи на обсуждение авиационной общественности предлагается дорожная карта согласованного интегрированного развития важнейших процедур СУБП с которых необходимо

начинать мероприятия по реализации 101-й поправки ИКАО, по крайней мере, в рамках АВИ.

В настоящее время Российская Федерация занимает не самые ведущие позиции в мире в области безопасности полетов самолетов и вертолетов. По данным МАК 73% авиационных происшествий (АП) связано с летной деятельностью экипажей, а 27% с отказами авиационной техники и другими причинами, а статистика АП имеет синусоидальный незатухающий характер, что свидетельствует о высокой степени актуальности совершенствования СУБП. СУБП должна включать в себя процессы, направленные на существенное снижение влияния человеческого фактора в АП как минимум на 80% в течение 5-6 лет и прогнозирование отказов авиационной техники. Одним из важнейших аспектов СУБД является мониторинг состояния ЛА и регулярная оценка уровня безопасности полетов.

Цель мониторинга и оценки уровня безопасности полетов ЛА состоит в максимально возможном снижении влияния технических и человеческих факторов на безопасность полетов.

Основными задачами являются:

- сбор, предварительная обработка полетной информации для оценки степени соответствия действий пилота полетному заданию и предотвращения проявления «самоуспокоенности», приводящей к снижению общего уровня выполнения работ;
- сбор, хранение, полная обработка на протяжении периода эксплуатации ЛА полетной информации для его эксплуатации по состоянию;
- существенное снижение стоимости стадии эксплуатации в жизненном цикле ЛА.

Понятие показателей эффективности обеспечения безопасности полетов является важнейшим ингредиентом эффективного функционирования СУБП, а также процесса перехода к регламентирующей среде, основанной на

эффективности деятельности. Это понятие помогает осуществлять мониторинг фактического функционирования СУБП, в отличие от простого «проставления галок в соответствующих квадратах».

Для того чтобы определить, функционирует ли система действительно в соответствии с проектными замыслами (а не просто отвечает нормативным требованиям) и для того чтобы выявить, где нужно принять меры для повышения уровня эффективности СУБП до уровня проектного замысла, в СУБП необходимо определить ряд поддающихся измерению результатов эффективности деятельности. Такие поддающиеся измерению результаты эффективности позволяют оценить фактическую эффективность деятельности, являющуюся критической для безопасности полетов, по отношению к существующим организационным средствам контроля, с тем чтобы можно было предпринять соответствующие корректирующие действия и удержать факторы риска для безопасности полетов на НПВУ.

Эффективность обеспечения безопасности полетов в рамках СУБП не имеет отношения к количественному определению результатов значительных последствий (измерение состояния безопасности полетов), а скорее к количественному определению процессов незначительных последствий (измерение показателей эффективности обеспечения безопасности полетов).

Эффективность обеспечения безопасности полетов в рамках СУБП представляет собой исключительно измерение показателей эффективности обеспечения безопасности полетов. Эффективность обеспечения безопасности полетов отражает цели безопасности полетов поставщика обслуживания в виде измеряемых конечных результатов конкретных процессов низкого уровня СУБП.

С точки зрения взаимосвязи между государством и поставщиками обслуживания показатели эффективности обеспечения безопасности полетов предоставляют государству объективные фактические данные для измерения уровня эффективности и действенности СУБП поставщиков обслуживания,

который она должна обеспечить в ходе выполнения поставщиками обслуживания своих основных бизнес-функций. Такие показатели эффективности обеспечения безопасности полетов должны быть согласованы между государством и поставщиками обслуживания в качестве минимально приемлемых показателей, которые поставщик обслуживания должен обеспечить в ходе предоставления услуг. Таким образом, показатели эффективности обеспечения безопасности полетов СУБП являются определенным эталоном, по которому государство может измерять эффективность обеспечения безопасности полетов СУБП, т. е. определить, что СУБП делает гораздо больше, чем просто обеспечивает соблюдение нормативных положений.

При согласовании показателей эффективности обеспечения безопасности полетов СУБП необходимо принимать во внимание такие факторы, как существующий уровень риска для безопасности полетов, затраты/выгоды совершенствования системы, а также то, что широкая общественность ожидает от безопасности авиационной отрасли.

Величины показателей эффективности обеспечения безопасности полетов являются краткосрочными, измеряемыми целями, отражающими эффективность обеспечения безопасности СУБП. Они выражаются в числовой форме; они должны быть понятны, измеряемы и быть связаны с проблемами безопасности СУБП. Величины показателей эффективности обеспечения безопасности исключительно отражают измерение эффективности обеспечения безопасности.

Величины показателей эффективности обеспечения безопасности полетов СУБП не должны отражать измерение состояния безопасности полетов. Поскольку показатели эффективности обеспечения безопасности полетов каждой СУБП будут согласовываться отдельно между государством и индивидуальными авиационными организациями, величины показателей эффективности обеспечения безопасности полетов будут, вследствие этого,

различными в зависимости от сектора авиационной отрасли, например: эксплуатанты воздушных судов, эксплуатанты сертифицированных аэродромов и поставщики ОВД. Ниже приводится пример.

Определение показателей эффективности обеспечения безопасности СУБП представляет собой требование, которое идет гораздо дальше, чем простое соблюдение нормативных национальных и международных требований. Определение показателей обеспечения эффективности безопасности СУБП не заменяет правовых, нормативных или других установленных требований и не освобождает поставщиков обслуживания от выполнения их обязательств в соответствии с соответствующими национальными нормативными положениями и положениями, вытекающими из Конвенции о международной гражданской авиации и соответствующих положений, содержащихся в Приложениях к данной Конвенции.

Одна из важнейших систем безопасности это система регистрации переговоров экипажа, результаты анализа записей которой, являются одним из основных документов при расследовании летных происшествий и катастроф самолетов. Подробный анализ аудиозаписей позволяет восстановить картину происшествия, но, к сожалению, не позволяет предотвратить его. Системы аварийной и экстренной связи, предназначенные для оперативной передачи сообщений о нештатных ситуациях на борту, далеко не во всех случаях могут быть своевременно активированы и неспособны отразить предысторию развития текущей нештатной ситуации в кабине самолета. Осознание важности для безопасности полетов решения проблемы непрерывного (on-line) отображения информации (аудио и видео) с борта, привело к появлению ряда разработок в этом направлении. Помимо этого актуальна оперативная связь со службами управления полетами при проведении летных испытаний новой техники.

## **Преимущество Геостационарных орбит**

Спутник связи, принимает спектр частот с сигналами наземных станций, направленных на него, усиливает и излучает обратно на Землю. Зона в которой возможен прием спутникового сигнала, называется зоной покрытия. Зона покрытия определяется положением на орбите, ориентацией и техническими характеристиками.

Применяя различные виды модуляции, через спутник можно передавать как цифровую информацию, так и аналоговые сигналы. Большинство спутников имеют несколько передатчиков - транспондеров, каждый из которых покрывает некоторую полосу частот. Также, транспондеры различаются поляризацией, с которой они работают. Спутники размещаются в трёх зонах, обусловленных существованием поясов Ван Аллена.

Частным случаем геосинхронной орбиты является геостационарная орбита. При использовании такой орбиты направление движения спутника вокруг Земли соответствует направлению вращения самой планеты, а период обращения космического аппарата примерно равен 24 часам. Это значит, что спутник вращается с той же угловой скоростью, что и Земля, в том же направлении и, стало быть, постоянно находится в одной и той же точке относительно поверхности планеты.

Даже если спутник расположен на геостационарной орбите, на него воздействуют некоторые силы, способные медленно изменять его позицию в течение времени.

Такие факторы, как эллиптическая форма Земли, притяжение Солнца и Луны, а также ряд других увеличивают потенциальную возможность отклонения спутника от своей орбиты. В частности, не совсем круглая форма Земли в районе экватора приводит к тому, что спутник притягивает к двум устойчивым точкам равновесия – одна из них находится над Индийским океаном, а вторая – приблизительно на противоположной части Земли. В результате имеет место

явление, получившее название либрации с востока на запад, или движение вперёд и назад.

Для того чтобы преодолеть последствия такого движения, на борту спутника имеется определённый запас топлива, который позволяет ему проводить «поддерживающие манёвры», возвращающие аппарат чётко в необходимую орбитальную позицию. Необходимый промежуток между временем проведения таких «поддерживающих манёвров» определяется в соответствии с так называемым допуском отклонения спутника, который устанавливается, главным образом, с учётом ширины луча антенны наземной станции. Это значит, что при нормальной работе спутника не требуется никакой подстройки антенны.

Совершенно очевидным является тот факт, что один геостационарный спутник не способен обеспечить полного покрытия сигналом поверхности Земли. Однако, каждый геостационарный спутник «видит» примерно 42% земной поверхности, при этом охват падает по направлению к спутнику, который не может «видеть» поверхность. Это происходит вокруг экватора и также в направлении полярных регионов.

Расположив на геостационарной орбите группировку из трёх равноудалённых друг от друга спутников, можно обеспечить покрытие сигналом всей поверхности Земли от экватора и вплоть до  $81^\circ$  северной и южной широты.

Отсутствие покрытия в полярных регионах не является проблемой для большинства пользователей, однако при необходимости обеспечения стабильного покрытия полярных широт требуется использования спутников, вращающихся на других орбитах.

Одной из проблем, возникающих при использовании спутников, находящихся на геостационарной орбите, является задержка сигнала, вызванная расстоянием, которое он вынужден проделывать.

Минимальное расстояние до любого из геостационарных спутников составляет 35790 км. И это лишь в том случае, если пользователь находится непосредственно под спутником, и сигнал попадает к нему по кратчайшему пути. В действительности же пользователь вряд ли будет находиться точно в данной точке, а стало быть расстояние, которое вынужден будет проделать сигнал, в реальности гораздо больше.

Исходя из длины кратчайшего расстояния от наземной станции до спутника, расчётное минимальное время движения сигнала в одну сторону - то есть, с Земли на спутник или со спутника на Землю - составляет примерно 120 миллисекунд.

Таким образом, для того, чтобы получить ответ в процессе диалога, проходящего через спутник, требуется полсекунды, поскольку сигнал должен пройти через спутник дважды: один раз - в движении в направлении удалённого слушателя, а второй раз назад - с ответом. Эта задержка усложняет телефонные разговоры, для проведения которых используется спутниковый канал связи. Репортёру, получившему вопрос из студии вещания, требуется некоторое время на то, чтобы ответить. Наличие такого эффекта задержки стало причиной того, что многие линии дальней связи используют кабельные каналы вместо спутниковых, ибо задержки в кабеле намного меньше.

Связь с космическими телами на орбите Земли производится преимущественно в диапазонах L, C, Ku и Ka. Данные указаны в таблице 1.

Таблица 1

### Диапазон частот геостационарной орбиты

Название	Диапазон, ГГц		Применение
	Линия спутник-Земля	Линия Земля-спутник	
L	0,39-1,55	1,61-1,71	Подвижная спутниковая связь
C	3,4-5,25	5,725-7,075	Фиксированная спутниковая связь
Ku	10,7-12,57	12,7-14,8	Фиксированная спутниковая связь, спутниковое вещание
Ka	15,4-27,5	27,00-50,2	Фиксированная спутниковая связь, межспутниковая связь

Несмотря на то, что геостационарная орбита широко используется на практике для развёртывания различных технологий, она всё же подходит не для всех ситуаций. Размышляя над возможным использованием данной орбиты следует учесть целый ряд её преимуществ и недостатков.

Преимущества заключаются в следующем: спутник постоянно находится в одной точке относительно Земли - соответственно, не требуется перенаправление антенн.

Недостатки геостационарной орбиты являются следующие:

- сигнал проделывает большее расстояние, а стало быть, наблюдаются большие, в сравнении с LEO или MEO, потери.
- стоимость доставки и размещения спутника на GEO-орбиту выше – в силу большей высоты над Землёй.
- длинное расстояние от Земли до спутника приводит к задержкам сигнала.

Геостационарная спутниковая орбита может пролегать исключительно над экватором, в связи с чем отсутствует покрытие полярных широт.

Однако, несмотря на все имеющиеся недостатки геостационарной орбиты, спутники, расположенные на ней, широко используются во всём мире благодаря главному их преимуществу, которое способно перевесить все

недостатки: геостационарный спутник всегда находится в одной орбитальной позиции относительно той или иной точки на Земле.

### **Принцип работы системы космического мониторинга самолетов по всему миру**

На данный момент многие воздушные суда европейских стран для определения точных координат воздушного судна в пространстве, используя для этого GPS-систему, а передача информации происходит с помощью спутниковой системы связи Иридиум.

Информация о положении самолета объединяется с другой информацией: тип воздушного судна, скорость, его номер, рейс, курс, вертикальная скорость; и затем, каждую секунду передается в широкоэмиттерном режиме.

Другие воздушные суда и наземные станции в радиусе приблизительно 240 км получают конечную информацию.

Наземные станции объединяют полученную с разных точек информацию с дополнительной информацией, полученной от наземных радаров, и ретранслируют данные для всех воздушных судов в зоне обслуживания.

Информация позволяет составлять подробную карту движения самолётов, что увеличивает надежность перелётов и улучшает осведомлённость лётчиков.

Однако так как принимающие станции расположены на суше, получение данных невозможно от самолётов, пролетающих над поверхностью океана далеко от берега либо в труднодоступных местах, где установка и обслуживание приемных станции затруднительно.

В связи с чем необходима разработка системы при которой передача информации может осуществляться через спутники.

Принцип работы системы мониторинга самолетов из космоса по всему миру показан на рисунке 2.

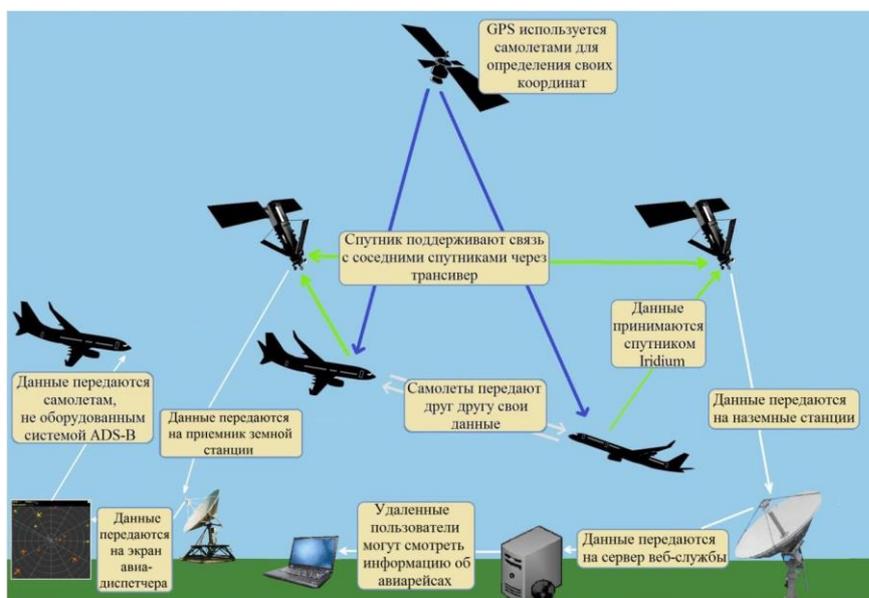


Рисунок 2. Принцип работы системы мониторинга самолетов из космоса

При отслеживании воздушных судов из космоса самолет получает координаты от GPS, затем эта информация комбинируется с другой информацией, такой как тип воздушного судна, скорость, его номер, рейс, курс, вертикальная скорость и широковещательно передается, примерно, каждую секунду. Другие воздушные суда и наземные станции, в радиусе 240км принимают данную информацию. Кроме этого согласно разработкам специалистов данная информация будет передаваться в космос на низкоорбитальные системы спутников Иридиум, которые поддерживают связь напрямую с друг другом. Затем сигнал отправляется на наземную станцию: откуда попадает на авиа диспетчерский центр и на сервер веб-службы. Получение сигнала сразу на авиа-диспетчерской вышке сокращает время запаздывания сигнала, и таким образом по обратному каналу осуществляется связь судна с авиадиспетчерами. В свою очередь сервер перерабатывает всю информацию и выгружает разрешимую для общего доступа информацию в понятном виде на интернет-ресурс, через который удаленные пользователи

могут получать основную информацию о полете и наблюдать общую ситуацию в воздушном пространстве.

На данный момент существуют различные приложения, такие как Flightradar 24, Flight Aware, Flight Stats и Plane Finder для отслеживания полета самолетов. Интернет сайт Flightradar позволяет отслеживать движение самолетов в реальном времени. Данный сервис был создан в 2007 шведской компанией Svenska Resenäät verket AB, которая до сих пор им владеет и занимается его развитием. Данный. Самолёт, оборудованный ADS-B - транспондером, во время всего полёта генерирует и отправляет в эфир (на частоте 1090 МГц) широковещательное, открытое радиосообщение, в котором содержатся актуальные на момент отправления данные - свои точные координаты (определённые с помощью GPS), свою текущую скорость, высоту и другую информацию. Подавляющее большинство приёмников установлены любителями и добровольцами в своих квартирах, домах и других местах и подключены через интернет к серверу Flightradar 24, куда отправляют полученные данные.

Так как Россия является страной с огромной территорией, которая малонаселенна, то использование спутниковой системы для мониторинга воздушных судов является преимущественным. Тогда большая территория могла бы обслуживаться несколькими спутниками, а не многочисленными радарными. К тому же зона покрытия может быть 100% за счет наблюдения из космоса и независимости от возможности установки радара на земле.

Другая работа описывает неудобства строительства радиолокационных станций из-за рельефа и метеорологических условий на примере западного Китая. Так как технология является вполне новым методом, перед применением на практике проводятся тесты для проверки производительности и безопасности. Во время летных испытаний, были собраны данные радара и ADS-B и сравнена их производительность. Чтобы решить асинхронную

проблему, использовалась техника синхронизации мульти-наблюдения, и поскольку радиолокационные данные, выражены в различных координатах использовался метод, объединяющей координаты данных мульти-наблюдения. Сообщения ADS-B имели меньшее количество ошибок, чем радиолокационные данные. К тому же распределение точности и может увеличить точность данных ADS-B. Путем анализа и оценки сделан вывод, что производительность ADS-B лучше, чем РЛС.

### **Перспективы внедрения системы мониторинга и бесперебойной передачи данных с самолетов из космоса для России**

Использование спутников в России является эффективным для страны, поскольку с его помощью можно оценивать состояние воздушного пространства в регионах, не обеспеченных радиолокаторами. Таким образом, на огромных пространствах и в высокогорных районах, где практически нет население, возможна видимость самолетов. Вместе с тем, именно там можно проложить наикратчайшие и, значит, наиболее перспективные международные воздушные маршруты, связывающие экономические центры Азии с городами Европы.

В целом при обзоре современного состояния мониторинга воздушных судов из космоса можно заметить, что развитие трансляции состояния воздушного пространства в интернет затрагивает в основном межгосударственные перелеты, внутригосударственные перелеты остаются без внимания. Тогда как развитие регионов России значительно увеличили потребность в региональных перевозках, а интеграция в международное экономическое пространство и повышение доходов населения России вызывают рост потребности в полетах в ближнее и дальнее зарубежье. Новые пассажирские самолеты, закупаемые российскими авиакомпаниями, являются самолетами западного производства, поэтому все они оборудованы системой ADS-B. Однако наземная сеть для использования возможностей данной систем в России не развита, поэтому ADS-B система используется диспетчерами только

на земле, в качестве системы для обзора летного поля при плохой видимости. В конечном счете, проследить передвижение внутригосударственных рейсов через интернет ресурс становится невозможным, что вызывает определенные неудобства для потребителей.

Рост транзитного движения воздушных судов через воздушное пространство России за период 2005-2008 гг. составлял свыше 10% в год. Если в 2005 году транзит составлял 84,8 млн. самолето-километров, то в 2008 году – 121,1 млн. самолето-километров, в 2009 году – 114,2 млн. самолето-километров, в 2010 году – 128,4 млн. самолето-километров. Сеть воздушных международных транзитных сообщений за период с 1995 по 2009 годы увеличилась с 5 тыс.км до 75 тыс.км. В аэропортах Москвы, Санкт-Петербурга, Воронежа и Белгорода регулярно осуществляют дозаправки грузовые ВС Боинг-747 авиакомпаний «EL AL» (Израиль), «KLM» (Нидерланды), «FedEx» (США), и др.

Для развития транзитного потенциала России, эффективное использование которого является мерой, направленной на извлечение дополнительных доходов для гражданской авиации и сохранения высокой динамики ее развития необходимо принимать новые шаги в разработки систем российского производства. Еще одним показателем увеличения международного трафика является внедрение сокращенных интервалов вертикального эшелонирования воздушных судов (RVSM, Reduced Vertical Separation Minimum) в России. RVSM обеспечивается за счет оборудования воздушных судов усовершенствованными средствами вертикального эшелонирования, внедрения постоянной системы мониторинга выдерживания установленных интервалов вертикального эшелонирования, модернизации средств обслуживания воздушного движения, а также увеличения пропускной способности элементов структуры воздушного пространства. Увеличение пропускной способности элементов структуры воздушного пространства является ключевой компонентой социальной, экономической и экологической

составляющих применения сокращенных интервалов вертикального эшелонирования. Следовательно, для России увеличивается потребность более рационального использования воздушного пространства и всех международных воздушных трасс. Данная задача может быть реализована путем развертки наземной системы, обеспечивающей точность определения координат. При этом ADS-B система позволяет видеть и оценивать воздушную обстановку с точностью гораздо большей, нежели системы, основанные на работе радаров, как первичных, так и вторичных (которой и является Система предупреждения столкновения самолётов в воздухе (TCAS, Traffic alert and Collision Avoidance System)). А привлечение ресурсов. Другой затруднением уменьшения вертикального эшелонирования воздушных судов являются военные самолеты, так как они не могут выдерживать заданную им высоту с большой точностью как самолеты оборудованные ADS-B системой. Вследствие чего между военными и гражданскими ВС оборудованными ADS-B устанавливается двойное эшелонирование (600м. вместо обычных 300м.). Более того первичная (пассивная) радиолокация используемая в военном секторе позволяет видеть лишь метку воздушного судна на индикаторе воздушной обстановки, в то время как такие данные как скорость перемещения, запас топлива, установленное давление альтиметра и другую важную информацию можно получить с помощью вторичной (активной) радиолокации или при использовании системы ADS-B. Первичная радиолокация имеет большой недостаток как «мертвая зона», которая могла бы быть покрыта системой низкоорбитальных спутников при внедрении ADS-B в военную сферу. Точность данных о координатах ВС зависит от количества оборотов первичного радиолокатора, а так как оно ограничено, то на экране при отображении перемещения судна появляются резкие скачки в. Тогда как скорость передачи данных выше скорости оборотов радиолокаторов, что улучшило бы возможности наблюдения военными диспетчерами за своими

самолетами и позволило бы оптимизировать их пути, предоставив больше пространства для гражданских перелетов.

Мелкая авиация, используемая в основном для нужд сельского хозяйственной отрасли, нефтедобычи, при пожаротушении и спасительных мероприятиях, при геологических разведках обнаруживается только первичными радиолокаторами а дополнительные данные с борта передаются путем докладов самих пилотов. В данном случае недостаток первичных локаторов – наличие мертвых зон отражается в эффективном использовании времени и воздушного пространства значительно чем в военной авиации. Например, если мелкое ВС залетает за гору, то она уже не может быть отслежено, и в ночное время полеты для них запрещены из-за недостатка навигационных средств. Для таких самолетов обнаружение с космоса было бы отличным решением, которое позволит рационально использовать воздушное пространство. Данная система ADS-B увеличит безопасность как между мелкими ВС, так и между мелкими ВС и рейсовыми самолетами заходящими на посадку и вылетающими в районе аэродрома. Так как при организации работы мелкой авиации в районе аэродрома ограничивает использование воздушного пространства.

На основе схемы, предложенной для всего мира, производится непосредственное моделирование.

Данная разработка достаточно эффективно внедряется и сегодня, но не стоит забывать и о перспективах страны, где полным ходом происходит внедрение на низкоорбитальные спутниковые группировки системы передачи данных. Такая ССС имеет название Гонец (12 спутников развернуты в 4 орбитальных плоскостях).

Максимальная высота орбиты порядка 1400 км, зона покрытия одним спутником составляет 5000 км. ССС Гонец охватывает полностью всю Россию, назначением системы является оказание услуг связи в глобальном масштабе.

**Стоит обратить внимание и на глобальную навигационную систему GPS.**

### **Определение местоположения воздушного судна посредством глобальной навигационной системы GPS**

Спутниковая навигационная система (GPS, Global Positioning System) состоит из работающих в единой сети 24 спутников, находящихся на 6 орбитах высотой около 20 000 км над поверхностью Земли. Спутники постоянно движутся со скоростью около 3 км/сек, совершая два полных оборота вокруг планеты менее, чем за 24 часа.

Есть множество преимуществ, чтобы перейти к определению местоположения объекта на основе GPS, включая экономию топлива, снижение выброса двуокиси углерода и лучший контроль взлета и посадки. Против радаров выступает отсутствие контроля над труднодоступными местами. При нынешней системе организации воздушного движения, диспетчеры не могут видеть самолет, летящий над океаном на радаре, пока он не находится в пределах 200 миль от берега. Радару часто нужно оценить местонахождение самолета на основе плана полета и времени вылета. Эксперты утверждают, что эта оценка может сделать самолеты уязвимыми в случае, если они нуждаются в чрезвычайной посадке. Исчезновение рейса AirFrance 477 над Атлантическим океаном в 2009 году остро поставило вопрос о необходимости перехода к GPS, которая может точно отслеживать все самолеты. К тому же в настоящее время некоторые рейсы должны пролететь большее расстояние по извилистому маршруту, чтобы их могли отследить наземные маяки. Тогда как спутниковая система GPS может оптимизировать маршрут и таким образом сохранить авиакомпаниям большое количество ресурсов.

Основной принцип использования GPS - определение местоположения путём измерения моментов времени приема синхронизированного сигнала от навигационных спутников антенной потребителя. Чтобы определить момент, в который сигнал был «отправлен» со спутника, навигационное сообщение

модулируется «псевдошумовым» PRN-кодом, соответствующим номеру спутника. Аналогичная последовательность генерируется в GPS приемнике в строгой временной синхронизации с кодом спутника. Принятый со спутника код сравнивается с кодом приемника, и определяется «как давно» в приемнике была сгенерирована схожая последовательность. Выявленный таким образом сдвиг одного кода по отношению к другому будет соответствовать времени прохождения сигналом расстояния от спутника до приемника. Преимуществом кодовых посылок является то, что измерения временного сдвига могут быть проведены в любой момент времени.

Для определения трёхмерных координат GPS-приёмнику нужно иметь четыре уравнения: «расстояние равно произведению скорости света на разность моментов приема сигнала потребителем и момента его синхронного излучения от спутников»:

$$|x - a_j| = c(t_j - \tau), \quad (1)$$

где  $a_j$  - местоположение  $j$ -го спутника,

$t_j$  - момент времени приема сигнала от  $j$ -го спутника по часам потребителя,

$\tau$  - неизвестный момент времени синхронного излучения сигнала всеми спутниками по часам потребителя,

$c$  - скорость света,

$x$  - неизвестное трехмерное положение потребителя.

Как видно, вычисления напрямую зависят от точности хода часов. Код должен генерироваться на спутнике и приёмнике в одно и то же время. На спутниках установлены атомные часы имеющие точность около одной наносекунды. Однако это слишком дорого, чтобы устанавливать такие часы в каждый GPS приёмник, поэтому измерения от четвёртого спутника используются для устранения ошибок хода часов приёмника.

GPS состоит из трёх основных сегментов: космического, управляющего и пользовательского. Спутники GPS транслируют сигнал из космоса, и все

приёмники GPS используют этот сигнал для вычисления своего положения в пространстве по трём координатам в режиме реального времени. Спутниковая группировка системы обращается вокруг Земли по круговым орбитам с одной высотой и периодом обращения для всех спутников. Круговая орбита с высотой порядка 20 200 км является орбитой суточной кратности с периодом обращения 23 часа 56 минут. Наклонение орбиты ( $55^\circ$ ) является также общим для всех спутников системы. Единственным отличием орбит спутников является долгота восходящего узла, или точка, в которой плоскость орбиты спутника пересекает экватор: данные точки отстоят друг от друга приблизительно на 60 градусов. Таким образом, несмотря на одинаковые (кроме долготы восходящего узла) параметры орбит, спутники обращаются вокруг Земли в шести различных плоскостях, по 4 аппарата в каждой.

В GPS используются сигналы множественного доступа с кодовым разделением (Code Division Multiplies Access – CDMA). Передатчики национального космического агентства GPS излучают два непрерывных сигнала на частотах  $L1$  и  $L2$ . Несущая частота  $L1$  состоит из двух компонентов, которые находятся по фазе в квадратуре друг к другу (сдвинуты на  $\pi/2$ ) для удобства их разделения. Первая – модулируется двумя двоичными последовательностями (дальномерный псевдослучайный P-код и информационная последовательность линии передачи данных), складывающимися по модулю 2. Вторая – также модулируется двумя двоичными последовательностями (дальномерный псевдослучайный C/A – код и информационная последовательность), складывающимися по модулю 2. Обе информационные последовательности содержат информацию об эфемеридах НКА, системном времени, поведении «часов» НКА, статусе сообщения и др.

Несущая частота  $L2$  имеет один компонент и модулируется двумя двоичными последовательностями (как правило, дальномерный псевдослучайный P-код или C/A – код и информационная последовательность

линии передачи данных), складывающимися по модулю 2. Здесь предусмотрен режим использования только  $P(Y)$ -кода, когда информационная последовательность вообще не передается. Во всех случаях скорость передачи данных информационных последовательностей 50 бит/с.

Таким образом, сигналы GPS занимают в L-диапазоне две полосы шириной по 20,46 МГц, в центре которых находятся частоты L1 и L2. Эти частоты когерентно порождены на НКА одним генератором и на земле частота этого генератора должна иметь величину 10,23 МГц (тактовая частота P-кода).

В информационном сигнале GPS квадратурные составляющие несущей частоты модулируются двумя псевдослучайными последовательностями. Каждая последовательность есть бифазный (0,  $\pi$ ) сдвинутый код BPSK. Одна последовательность – сумма по модулю 2  $P(Y)$  кода и навигационных данных, другая последовательность – сумма по модулю 2 C/A кода и навигационных данных. При этом составляющая C/A кода должна быть задержана относительно P сигнала на 90 градусов. Несущая частота L2 модулируется только одной из этих 2х последовательностей. Код, используемый для модуляции несущей L2, выбирается наземными командами. Третий вид модуляции несущей L2 также определяется наземными командами. Он использует в качестве модулирующего сигнала  $P(Y)$  – код без навигационных данных. Для навигационных спутников все элементы передаваемого сигнала (несущие, коды и данные) когерентны и создаются одним бортовым источником частоты.

Номинальная частота этого источника для наблюдателя на Земле составляет 10,23 МГц. Несущая частота спутника и величина поправки частот для наблюдателя, находящегося на спутнике измеряются для компенсации релятивистских эффектов. Величины поправки часов изменяются на величины  $\Delta f/f = -4,4647 \cdot 10^{-10}$ , что эквивалентно изменению частоты P-кода (10,23 МГц) на  $\Delta f = -4,5674 \cdot 10^{-3}$  Гц (частота генерации P-кода будет 10, 22999999543 МГц)

В дальнейшем, возможно, будет сформирована Глобальная спутниковая навигационная система (GNSS, Global Navigation Satellite System). Данная система позволит с высокой точностью отслеживать маршрут любого летательного аппарата во всем воздушном пространстве планеты, что недоступно пока действующим навигационным средствам. Создание GNSS позволит объединить американскую систему GPS и российскую систему ГЛОНАСС, а также и другие системы, такие как Galileo. При интеграции систем повышается их эффективность, поскольку, по сути, объединяются орбитальные группировки. Как известно, в «ГЛОНАСС» число орбитальных плоскостей в два раза меньше, чем в GPS, однако в каждой из них находится в два раза больше спутников. Наклонение орбитальных плоскостей «ГЛОНАСС» почти на 100 выше, чем в GPS. Это означает, что аппаратура потребителей может «видеть» спутники «ГЛОНАСС» в таких точках орбиты (особенно на высоких широтах), где GPS-спутники просто недоступны. Предполагается, что сочетая функции GNSS с новыми технологиями в области связи, удастся преодолеть ряд других проблем, связанных с ограниченными возможностями пилотов и наземных диспетчеров. Аппаратура на борту самолета будет с большой скоростью получать с земли информацию в цифровом виде и тут же направлять ее в компьютер. Отпадет необходимость в переговорах между бортом и землей и, следовательно, рухнут языковые барьеры - стандартные сообщения можно без труда перевести в вид, понятный человеку независимо от его национальности. Эта информация позволит оперативно корректировать план полета и управлять движением по маршруту. На Десятой Аэронавигационной конференции (AN Conf/10) ИКАО подтвердила свое обязательство изучить вопрос об использовании глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS) и линий передачи данных в интересах гражданской авиации.

Таким образом к основным преимуществам спутниковой навигации следует отнести обеспечение точной и надежной четырехмерной навигации (три

координаты и время) во всех районах и на всех высотах полета ВС и, как следствии:

- снижение риска катастроф, связанного с неточностью информации о местоположении ВС, особенно в тех районах/высотах полета ВС, где использование традиционных средств невозможно или экономически нецелесообразно;

- использование единого средства навигации для обеспечения всех этапов полета ВС, включая точные заходы на посадку;

- повышение экономичности полетов ВС при высокой точности самолетовождения и использования зональной навигации за счет сокращения полетного времени и экономии топлива;

- снижение затрат на обслуживание воздушного движения и на эксплуатацию ВС при замене разнотипного бортового оборудования едиными средствами.

### **Спутниковые системы дифференциальной коррекции**

В силу природы спутниковых систем навигации, ни один, самый совершенный GPS приемник не может автономно определить свое местоположение с точностью выше  $\pm 5-15$  м в плане, причем, эта точность будет постоянно изменяться в зависимости от геометрии расположения спутников в пространстве, от атмосферных условий, и от множества других факторов. В большинстве случаев такая точность позиционирования будет недостаточной для задач навигации. Системы дифференциальной коррекции - методы улучшения характеристик работы навигационной системы, такие, как точность, надежность и доступность, через интеграцию внешних данных в процессе расчета.

На территории США, Канады, Японии, КНР, Европейского Союза и Индии имеются станции WAAS, EGNOS, MSAS и т.д. передающие поправки для

дифференциального режима, что позволяет снизить погрешность до 1 - 2 м. на территории этих стран.

При использовании более сложных дифференциальных режимов, точность определения координат можно довести до 10 см. То есть для повышения точности позиционирования систем GPS и ГЛОНАСС на земной поверхности или в околоземном пространстве, используются спутниковые и наземные системы дифференциальной коррекции. Они обеспечивают некоторую территорию информацией о дифференциальных поправках. Система дифференциальной коррекции делится на спутниковую и наземную.

Наземная система дифференциальной коррекции включает в себя наземную систему дифференциальной коррекции (GBAS, ground-based augmentation system) и наземную региональную систему дифференциальной коррекции (GRAS, ground-based regional augmentation system).

В наземных вспомогательных системах дополнительные информационные сообщения передаются через наземные радиостанции. Примерами наземной системы дифференциальной коррекции являются ЛККС (локальная контрольно-корректирующая станция) - российская система, LAAS (Local Area Augmentation System) - предоставляется США.

Существуют также ведомственные системы дифференциальной коррекции: МДПС - морская дифференциальная подсистема; АДПС - авиационная дифференциальная подсистема.

Спутниковая система дифференциальной коррекции (SBAS – Satellite Based Augmentation System) обеспечивает определенную территорию данными дифференциальных поправок, транслируемых с геостационарного спутника.

Спутниковые вспомогательные системы поддерживают увеличение точности сигнала за счет использования спутниковой трансляции сообщений. Такие системы обычно состоят из нескольких наземных станций, координаты расположения которых известны с высокой степенью точности.

Работу системы широкозонного дифференциального сервиса можно представить следующим образом. Базовые станции мониторинга системы определяют координаты каждого спутника дифференциальной коррекции, а также осуществляют непрерывное слежение за всеми спутниками NAVSTAR и ГЛОНАСС.

Далее станции RIMS передают накопленную информацию на контрольные станции системы.

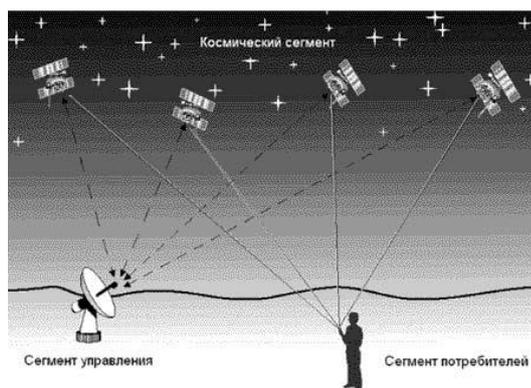
На станциях МСС формируются дифференциальные поправки и происходит вычисление точности сигналов навигационных систем принятых всеми станциями мониторинга и погрешностей определения их координат вследствие влияния ионосферы.

Затем вычисленные поправки передаются на навигационные станции передачи данных, равномерно расположенные на обслуживаемой территории. Эти станции используются для закладки навигационной информации и управления геостационарными спутниками.

После этого поправки передаются на геостационарные спутники и становятся доступны пользователям GPS-ГЛОНАСС приемников на частоте L1 GPS с модуляцией и кодированием по образцу GPS-сигнала.

Сигналы являются бесплатными и принимаются практически всеми GPS приемниками, включая кодовые (навигационные). Эти системы помогают повысить точность позиционирования до  $\pm 1-5$  м в плане, что вполне достаточно для задач навигации.

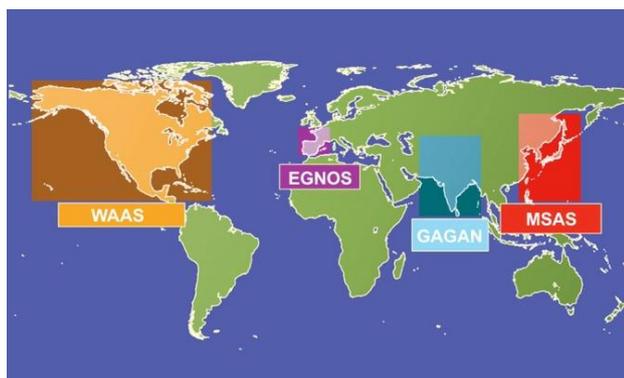
Принцип работы спутниковой системы дифференциальных поправок представлен на рисунке 3.



**Рисунок 3. Диаграмма принципа работы спутниковой системы дифференциальных поправок**

На сегодняшний день созданы несколько таких спутниковых систем, транслирующих дифференциальный сигнал свободного доступа, представленных на рисунке 5. Основными спутниковыми системами дифференциальной коррекции являются:

- WAAS,
- EGNOS,
- СКНОУ,
- MSAS,
- GAGAN,
- SNAS.



**Рисунок 4. Основные спутниковые системы дифференциальной коррекции**

- WAAS (Wide Area Augmentation System) - поддерживается Федеральным управлением гражданской авиации США;
- EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) - поддерживается Европейским космическим агентством;
- СКНОУ (Система координатно - временного и навигационного обеспечения Украины) - разработано ПАО «АО Научно-исследовательский институт радиоэлектронных измерений» по заказу Государственного космического агентства Украины. Эксплуатируется предприятиями ГКАУ входящими в состав Национального центра управления и испытания космических средств;
- MSAS (Multi - functional Satellite Augmentation System) - поддерживается Японским Министерством земли, инфраструктуры, транспорта и туризма;
- GAGAN (GPS Aided Geo Augmented Navigation) - предоставляется Индией;
- SNAS (Satellite Navigation Augmentation System) - предоставляется Китаем.

Широкозонная уточняющая система Система WAAS это первая спутниковая система дифференциальной коррекции свободного доступа на территории США. В настоящее время система WAAS обеспечивает дифференциальным сервисом территории Канады и Мексики и значительную часть акватории Тихого Океана. Система WAAS содержит более 20 базовых станции, расположенных на всей территории Соединенных Штатов. Каждая их станций оборудована GPS аппаратурой и специальным программным обеспечением, предназначенным для приема GPS сигналов, анализа полученных измерений, вычисления ошибок ионосферы, отклонений траекторий и часов спутников. Эти данные передаются на центральную станцию управления (Master Station - WMS), где повторно обрабатывается и анализируются с учетом измерений, полученных со всех базовых станций сети.

Затем корректирующая информация передается на геостационарные спутники и уже оттуда ретранслируются пользователям.

Начиная с 1993 года была запущена программа EGNOS направленная на улучшение работы систем GPS и ГЛОНАСС на территории Европы. Система EGNOS использует сигналы спутников навигационных систем NAVSTAR и ГЛОНАСС, двух спутников Inmarsat III (Atlantic Ocean Region - East, Indian Ocean Region) и спутника Artemis, запущенного 12 июля 2001 г. Европейским Космическим Агентством (ЕКА). Система EGNOS обеспечивает повышение точности GPS-ГЛОНАСС позиционирования до  $\pm 1-5$  м на территории стран Западной и Центральной Европы, акватории Средиземного моря и части акватории Атлантического океана. На территориях стран Восточной Европы система EGNOS работает в тестовом режиме, и прием сигнала еще нестабилен.

**Улучшение показателей передачи сигнала за счет использования кодового разделения с бифазной модуляцией**

Чтобы избежать прослушивания посторонними информации, передаваемой по радиоканалу между спутниковой приемной станцией, которая приняла вещательный сигнал, и наземными контрольными пунктами спутниковой системы, необходимо, чтобы спутниковые приемные станции имели средства для кодирования данных вещательного сигнала, передаваемых центру безопасности полетов и центру управления полетами. Поэтому во время посадки или взлета самолетов при передаче и инструкций на борт предлагается использовать кодовое разделение сигнала с бифазной модуляцией.

Кодовое разделение совместно с бифазной модуляцией позволяет гибко распределять ресурсы, лучше защищать каналы от помех и от нежелательного доступа к ним, использовать меньшую мощность и время передачи за счет наименьшего отношения сигнал/шум.

Множественный доступ с кодовым разделением (CDMA, Code Division Multiple Access) обеспечивает существенное увеличение емкости сети, он подразумевает передачу голосовой информации только в оцифрованном виде.

В основе его лежит давно применяемый в военной радиосвязи метод модуляции с использованием шумоподобного или широкополосного сигнала (ШПС: в англоязычной литературе используется термин *spreadspectrum*, что переводится на русский язык как «распределенный», или «растянутый», «размытый» спектр).

В случае использования CDMA информацию можно принять, только зная последовательность, на которую был перемножен полезный сигнал при передаче, в противном случае он будет выглядеть как шум. Если два сигнала, находящихся в зоне действия одной станции, работают на общей частоте, но с разными кодирующими последовательностями, то эти сигналы практически не будут создавать помех друг для друга. Для передачи информации отводятся частотный диапазон и фрагменты псевдослучайной последовательности, поразному смещенные от начала этой последовательности. Емкость ячейки сети CDMA определяется тем, насколько независимы друг от друга коды, используемые абонентскими аппаратами.

С позиции замирания, федингов преимущества, с точки зрения качества связи, дает применение широкополосной модуляции сигнала. Широкополосный сигнал значительно меньше страдает от помех, особенно узкополосных. Узкополосная помеха способна ухудшить широкополосный сигнал только в относительно узком частотном диапазоне, и полезная информация может быть восстановлена по неповрежденным участкам несущего диапазона, как показано на рисунке 5.

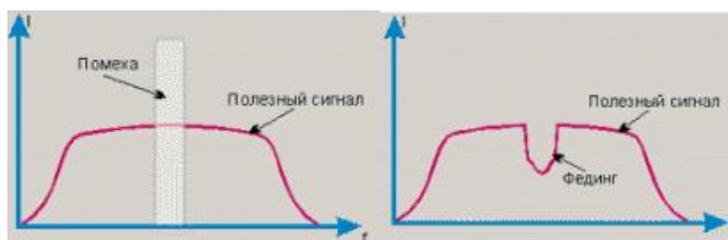


Рисунок 5. Воздействие узкополосных помех (а) и федингов (б) на широкополосный сигнал.

В CDMA системах с большой полосой канала связи используют бифазную модуляцию (BPSK, Bi-Phase Switch Key), которая является классическим видом модуляции.

Упрощенная структурная схема модулятора показана на рисунке 6.

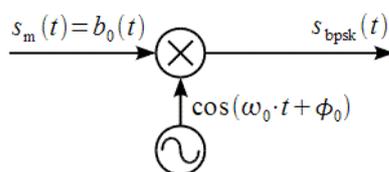


Рисунок 6. Упрощенная структурная схема BPSK модулятора

Рассмотрим цифровой сигнал в качестве модулирующего сигнала  $b(t) = sm(t)$  на фазовый модулятор с девиацией фазы равной  $\pi$  рад. Поскольку  $b_0(t)$  принимает только значения равные 0 и 1, то синфазная  $I(t)$  и 34 квадратурная  $Q(t)$  компоненты комплексной огибающей  $z(t) = I(t) + j \cdot Q(t)$  BPSK сигнала равны:

$$I(t) = \cos(\pi \cdot b(t)) = \pm 1 = b_0(t) \quad (2)$$

$$Q(t) = \sin(\pi \cdot b(t)) = 0 \quad (3)$$

Тогда BPSK сигнал можно записать:

$$S_{bpsk}(t) = I(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \phi_0) - Q(t) \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \phi_0) = \dots = b_0(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \phi_0) \quad (4)$$

Поясняющие графики формирователя BPSK показаны на рисунке 7.

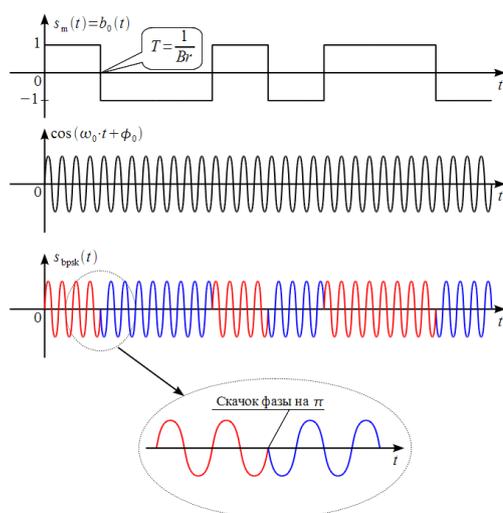


Рисунок 7. Поясняющие графики BPSK модулятора

Информация передается со скоростью  $B_r$  бит/с, длительность одного импульса цифровой информации равна  $T = 1/B_r$ .

Исходный модулирующий сигнал  $s_m(t) = b_0(t) (\cos(\omega_0 \cdot t + \phi_0))$ , на рисунке 8  $\phi_0 = -\pi/2$ ). Результатом является фазоманипулированный сигнал со скачком фазы на  $\pi$  рад. Таким образом, BPSK модуляция – вырожденный тип фазовой манипуляции, который совпадает с балансной амплитудной модуляцией при биполярном цифровом модулирующем сигнале.

BPSK обладает хорошими характеристиками зависимости коэффициента двоичных ошибок BER (Bit Errors Rate) от отношения битовой мощности сигнала к плотности шума, как и в классической узкополосной радиосвязи.

$$P_{\text{ош}} = Q\left(\sqrt{2 \frac{E_b}{N_0}}\right), \quad (5)$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot dt, \quad (6)$$

При использовании BPSK-модуляции в одном символе кодируется только один информационный бит. Модуляция BPSK используется для передачи данных на скоростях 6 и 9 Мбит/с.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- при перемещении точки приема условия периодически изменяются, так как сложение волн, приходящих с разных направлений, создает пространственную интерференционную картину. Для систем CDMA с BPSK-модуляции действие этого эффекта сильно ослабляется из-за того, что на разных частотах в пределах его широкого спектра создаются разные интерференционные картины, что и вызывает выравнивание результирующего сигнала;

- время задержки сигналов при прохождении больших расстояний может меняться из-за изменений характеристик среды распространения, причем это сказывается по-разному на сигналах, приходящих разными путями, что при сложении вызывает временные флуктуации уровня сигнала (замирания). Несинфазное изменение уровня сигнала на разных частотах спектра CDMA сигнала приводит к сильному ослаблению этого эффекта на подобные системы;

- помимо повышения качества связи, устойчивость CDMA с BPSK-модуляции приводит к значительной экономии ресурса источников питания и улучшению экологических параметров.

В других сетях данные обычно передаются с более высокой мощностью, чем это нужно для устойчивой связи с базовой станцией, что позволяет при внезапном возникновении фединга не потерять связь (происходит лишь незначительное снижение ее качества).

### Библиографический список

1. Единая Система Спутниковой Связи [Электронный ресурс] // . – URL: <http://mylsa.ru> (дата обращения: 27.10.2017).
2. СУБП [Электронный ресурс] // . – URL: [www.aviationunion.ru](http://www.aviationunion.ru) (дата обращения: 27.10.2017).

3. Шевцов А. Н. Исследование опыта зарубежных авиакомпаний в вопросе обеспечения безопасности полётов гражданской авиации за счёт применения средств связи «Борт – Земля» // А. Н. Шевцов / сборник научных трудов по материалам I международной научно – практической конференции «Промышленность, сельское хозяйство, энергетика и инфраструктура: проблемы и векторы развития». – Санкт-Петербург, 2017. – С. 392 – 426.

4. Шевцов А. Н. Изучение требований к сетям связи при обеспечении воздушного движения // А. Н. Шевцов / сборник научных трудов по материалам I международной научно – практической конференции «Промышленность, сельское хозяйство, энергетика и инфраструктура: проблемы и векторы развития». – Санкт-Петербург, 2017. – С. 353 – 391.

5. Шевцов А. Н. Актуальность исследования современного состояния организации полётов гражданской авиации и уровня обеспечения её безопасности // А. Н. Шевцов / сборник научных трудов по материалам I международной научно – практической конференции «Промышленность, сельское хозяйство, энергетика и инфраструктура: проблемы и векторы развития». – Санкт-Петербург, 2017. – С. 320 – 352.

6. Шевцов А. Н. Расчёт отношения сигнал/шум и определение вероятности символьной ошибки для лётной трассы «Воздушное судно – спутник Ямал – Земля» // А. Н. Шевцов, А. Н. Щитов, Д. С. Коптев / сборник научных трудов по материалам I международного научно – практического форума «Наука, технологии, техника: современные парадигмы и практические разработки». – Санкт-Петербург, 2017. – С. 572 – 605.

УДК 621.396.96

**Коптев Д. С., Шевцов А. Н. Качественная и количественная оценка способов повышения помехозащищенности сложных сигналов в цифровых системах радиосвязи**

**Qualitative and quantitative evaluation of ways to increase noise immunity of complex signals in digital radiocommunication systems**

**Шевцов А.Н., Коптев Д.С.**

**Юго – Западный государственный университет  
Shevtsov A.N., Koptev D.S.  
Southwestern State University**

*Аннотация.* В настоящее время большое распространение получили цифровые радиосистемы передачи информации общего пользования такие как системы сотовой связи, спутниковые системы цифрового телевидения и другие. В то же время любое самостоятельное государство должно иметь эффективные службы общественной безопасности, на вооружении которых находятся современные технические средства, в том числе специальные радиотехнические системы.

*Ключевые слова:* частотно-модулированный сигнал, согласованный фильтр, узкополосный сигнал.

*Abstract.* At present, digital radio systems for the transfer of information of general use, such as cellular communication systems, satellite digital television systems, and others have become widespread. At the same time, any independent state should have effective public security services, which are equipped with modern technical means, including special radio-technical systems.

*Keywords:* frequency-modulated signal, matched filter, narrow-band signal.

**В системах радиосвязи приём сигнала постоянно происходит на фоне помех. В диапазонах ДВ, СВ и КВ основную роль играют атмосферные и промышленные помехи, а также помехи от сторонних радиосистем. В УКВ диапазоне нужно учитывать собственные шумы РПрУ. Касательно мультипликативных помех, то они могут быть в любом диапазоне волн.**

**Основной задачей при приёме сигналов с минимальными искажениями является обеспечение максимальной помехозащищённости. (помехозащищенность включает в себя помехоустойчивость и скрытность).**

Индустриальные помехи, проникающие непосредственно в узлы РПрУ можно предотвратить экранировкой. Например, для ослабления влияния внешних электромагнитных полей в РПрУ применяется электромагнитный экран вокруг тракта радиочастоты. В индивидуальные экраны перемещаются катушки контуров, в металлических трубках размещаются некоторые провода, а монтаж выполняется на металлически заземлённом шасси. Так как РПрУ получают энергию от внешних источников питания, следовательно, источник помех может быть электрически соединён с РПрУ через общие цепи питания, то для устранения их влияния применяют заградительные фильтры, ослабляющие напряжения помех и не влияющие на полезный сигнал.

Другие способы борьбы с помехами предусматривают целый класс устройств, основанных на обработке сигнала и помех. Известны различные методы повышения помехозащищённости систем радиосвязи (СРС) (рисунок 1).

Выбор требуемого метода в каждом конкретном случае определяется с учетом технической сложности реализации поставленных задач и возможностей разрабатываемой системы связи. Наибольшей эффективностью обладают системы, использующие комбинацию различных методов повышения помехозащищённости.



Рисунок 1. Основные методы повышения помехоустойчивости СРС

В статье приведены результаты исследования сигнальных методов повышения помехозащищённости, а также анализа воздействия аддитивной и

мультипликативной помех на полученный сигнал. Одним из наиболее перспективных направлений является исследование сигнальных методов увеличения помехоустойчивости.

Отличительная особенность модуляции негармонической несущей - это возможность существенного расширения спектра полезного сигнала и как следствие повышение его помехозащищённости.

Широкополосные сигналы получили широкое распространение благодаря следующим их особенностям:

- возможности реализовать преимущества оптимальных методов обработки сигналов;
- обеспечению высокой помехоустойчивости;
- возможности успешно бороться с многолучевым распространением радиоволн путём разделения лучей;
- одновременной работе большого числа абонентов в общей полосе частот;
- повышенной скрытности;
- электромагнитной совместимости широкополосных и узкополосных систем радиосвязи и радиовещания и систем телевизионного вещания;
- более эффективному использованию спектра частот на ограниченной территории по сравнению с узкополосными системами связи.

#### **Частотная селекция и режекция**

Среди способов борьбы с помехами наибольшую группу образуют устройства основанные на селекции сигналов по отличительным от помех признакам.

Частотная селекция основана на различии спектров сигналов и помех. Она рассматривается как одно из основных средств помехозащиты от преднамеренных активных и пассивных помех. Основой принципа частотной

селекции является известное из радиотехники выражение спектральной функции сигнала на выходе линейного четырехполюсника

$$\dot{S}_{\text{вых}}(\omega) = \dot{K}(j\omega)\dot{S}_{\text{вх}}(\omega), \quad (1)$$

где  $K(j\omega)$  - коэффициент передачи четырёхполюсника;

$S_{\text{вх}}(j\omega)$  - энергетический спектр.

Если выбрать частотную характеристику четырёхполюсника, пропускающую только спектр полезного сигнала, то можно устранить влияние помех, находящихся вне полосы приема (здесь не учитывается блокирование).

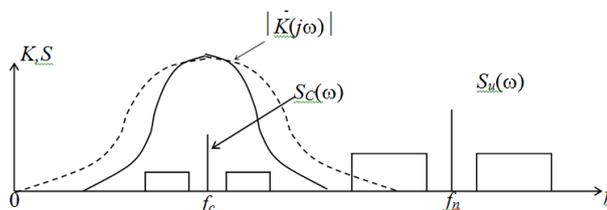


Рисунок 2. Частотная характеристика четырёхполюсника

Напомним, что для неискаженного приема необходимо, чтобы в полосе спектра сигнала модуль коэффициента передачи фильтра принял постоянное значение  $|\dot{K}(j\omega)| = K_0$ , а фазовая характеристика была линейна (рисунок 3).

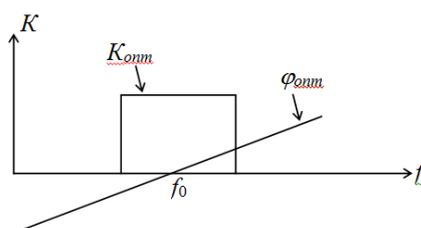


Рисунок 3. Фазовая характеристика фильтра

Широкополосные системы связи (ШСС) или системы, использующие для кодирования информации шумоподобные сигналы, известны давно.

Помехоустойчивость ШСС определяется отношением мощности сигнала и мощности помехи на выходе согласованного фильтра (коррелятора) (1).

Соотношение (1) означает, что при фиксированных значениях  $P_c$  и  $P_n$  на входе приёмного устройства (ПУ) ШСС, повысить отношение сигнал-помеха на выходе ПУ можно только увеличивая базу используемого шумоподобного сигнала.

Для фазоманипулированных ШПС (ФМ-ШПС), фаза которых принимает только два значения - 0 и  $\pi$ , база сигнала равна числу элементов порождающей его кодовой последовательности  $N$ . Среди ШПС с небольшими базами наиболее известны двоичные последовательности Баркера. Увеличенными базами обладают  $M$ -последовательности.

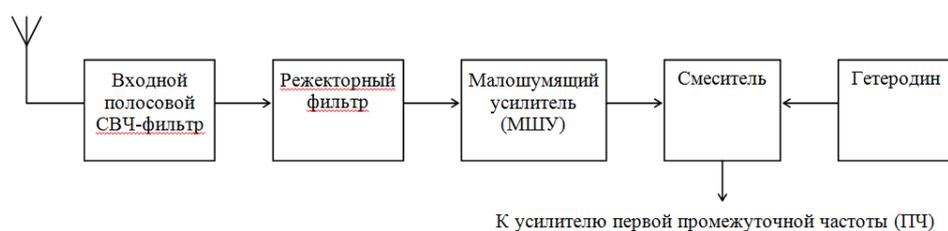
Для защиты ШСС от помех, уровень которых превышает обеспечиваемый базой допустимый запас помехоустойчивости, применяют дополнительные методы подавления. Указанные методы можно разделить на две группы - режекция пораженной части спектра ШПС и компенсация помехи в ПУ путем создания ее копии с последующим вычитанием созданной копии помехи из входного сигнала. Реализация дополнительных методов защиты осуществляется, в основном, цифровым способом на промежуточной или видеочастоте ПУ. При этом полагают, что входные сверхвысокочастотные (СВЧ) каскады ПУ преобразуют входную смесь полезного сигнала, шума и помех линейно, не внося значительных искажений в принимаемый сигнал.

В условиях растущего количества работающих систем беспроводной связи, которое наблюдается в последнее десятилетие, возникают ситуации, когда уровень помех, поступающих на вход ШСС, превышает возможности динамического диапазона (ДД) ПУ. Аналогичная ситуация возможна в случае целенаправленного подавления действующей ШСС мощной узкополосной помехой (УП), поскольку именно УП постановщику помех легче всего генерировать. В этом случае входные СВЧ каскады ПУ, а именно маломощный усилитель (МШУ) и смеситель переходят в нелинейный режим работы. Искажения полезного ШПС, возникающие вследствие нелинейных

преобразований во входных каскадах ПУ, невозможно компенсировать последующей цифровой обработкой, так как характер таких искажений трудно предсказуем. Следовательно, возникает необходимость дополнительной защиты входных каскадов ПУ от воздействия мощных помех.

Одним из вариантов защиты входных каскадов ШСС от мощной УП может быть ее режекция в спектре полезного сигнала на СВЧ с помощью режекторного фильтра, а если помех несколько, то с помощью блока режекторных фильтров.

На рисунке 4 показана блок-схема входных каскадов ШСС с включенным в нее режекторным фильтром.



**Рисунок 4. Блок-схема входных каскадов ШСС с включенным в нее режекторным фильтром**

Один из возможных алгоритмов защиты ШСС от мощных УП с использованием СВЧ фильтров на диэлектрических резонаторах (ДР) представлен на рисунке 5.

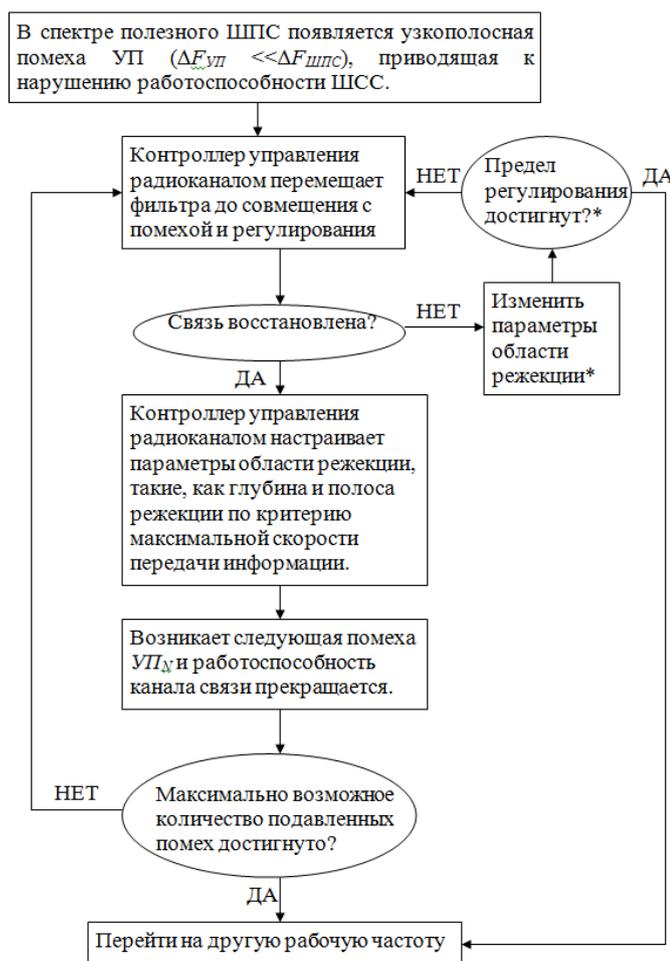


Рисунок 5. Алгоритм защиты ШСС от мощных УП с использованием СВЧ фильтров

Под пределом регулирования в данном случае понимается максимальная область спектра ШПС, которая может быть подвержена режекции при сохранении заданного качества связи. Режекция спектра ШПС вызывает искажение корреляционной функции (КФ), величина и форма основного пика которой являются основным фактором, используемым в приемнике ШСС при обнаружении и приеме сигнала. КФ сигнала  $\Psi(t)$ , прошедшего через режекторный фильтр, и эталонного ШПС, можно найти через его энергетический спектр  $S(\omega)$  следующим образом:

$$\Psi(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) K(\omega) e^{j\omega t} dt, \quad (2)$$

где  $K(\omega)$  - коэффициент передачи режекторного фильтра.

Поскольку нахождение коэффициента передачи режекторного фильтра на ДР представляет собой сложную электродинамическую задачу, воспользуемся для дальнейших расчетов более простой моделью, а именно моделью однозвенного параллельного LC-фильтра с высоким значением добротности. По определению, коэффициент передачи равен

$$K(j\omega) = \frac{\dot{U}_{ВЫХ}}{\dot{U}_{ВХ}} = \frac{R_H}{Z_\Phi + R_H}, \quad (3)$$

где  $Z_\Phi$  - реактивное сопротивление параллельного LC - фильтра.

Нетрудно определить, что реактивное сопротивление в (4) равно

$$Z_\Phi = \frac{j\omega L}{1 - \omega^2 LC}. \quad (4)$$

После несложных преобразований из (4) и (5) получим коэффициент передачи параллельного однозвенного LC фильтра

$$K(j\omega) = \frac{R_H(1 - \omega^2 LC)}{j\omega L + R_H(1 - \omega^2 LC)}. \quad (6)$$

Энергетический спектр  $S(\omega)$  в (3) равен квадрату амплитудного спектра  $G(\omega)$ , который можно представить в виде произведения

$$G(\omega) = S_0(\omega)H(\omega) \quad (7)$$

где  $S_0(\omega)$  - спектр прямоугольного импульса  $u_0(t)$  с единичной амплитудой и длительностью  $\tau_0$

$$S_0(\omega) = \int_0^{\tau_0} u_0(t) e^{-j\omega t} dt = \tau_0 \frac{\sin(\omega \cdot \tau_0 / 2)}{\omega \cdot \tau_0 / 2} e^{-j\omega \tau_0 / 2}, \quad (8)$$

где  $H(\omega)$  - спектр кодовой последовательности.

$$H(\omega) = \sum a_n e^{-j(n-1)\omega \tau_0} \quad (9)$$

Спектр фазоманипулированного ШПС, образованного M-последовательностью длиной 63 элемента, рассчитанный согласно (7) - (9), прошедший через два режекторных фильтра с коэффициентом передачи (4) - (6), настроенных на две произвольные частоты, показан на рисунке 6. КФ этого сигнала, рассчитанная согласно (3) - (9), по отношению к КФ неискаженного ШПС приведена на рисунке 7.

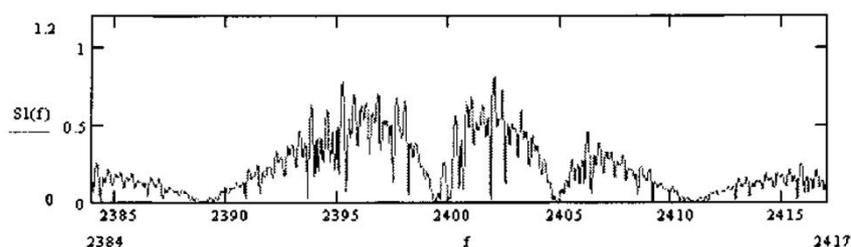


Рисунок 6. Спектр фазоманипулированного ШПС, прошедшего через два режекторных фильтра

Нетрудно видеть, что форма основного пика КФ меняется незначительно, уменьшается лишь его амплитуда. Получены результаты, согласно которым режекция не более чем четверти спектра ШПС, не вызывает существенных искажений КФ, лишь уменьшает амплитуду основного пика.

Чтобы выяснить максимальное число  $N_{\text{МАКС}}$  мощных УП, которые могут быть подавлены описанным способом, необходимо знать ширину спектра полезного сигнала  $\Delta F$ , ширину полосы режекции каждого включенного фильтра на ДР  $\Delta f_i$ , которая должна превышать ширину спектра помехи  $\Delta F_{\text{УП}}$ . В этом случае

$$N_{\text{МАКС}} = \frac{1}{4} \frac{\Delta F}{\Delta f_i} \quad (10)$$

при  $\Delta f_i \leq \Delta F_{\text{УП}}$ .

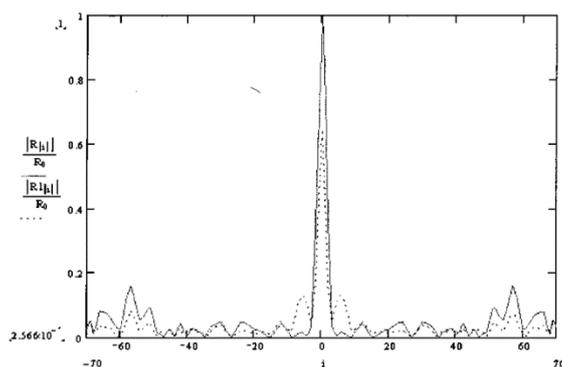


Рисунок 7. Корреляционная функция шумоподобного сигнала (пунктир) в сравнении с КФ неискаженного ШПС (сплошная линия)

Для более точного определения  $N_{\text{МАКС}}$  в каждом конкретном случае необходимо задаться величиной порога обнаружения, которая зависит от принятого в системе критерия обнаружения.

Высказанные здесь предположения справедливы в том случае, когда на ШСС действуют только мощные УП, ширина спектра которых значительно меньше ширины спектра полезного сигнала  $\Delta F_{\text{УП}} \ll \Delta F$ , а мощность значительно превышает границы динамического диапазона ПУ  $P_{\text{УП}} \gg P_{\text{МАКС.ПУ}}$ .

Из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

- защиту широкополосных систем связи от воздействия узкополосных помех, мощность которых превышает границы динамического диапазона приемного устройства, необходимо осуществлять во входных каскадах ПУ, до маломощного усилителя и смесителя.

- для защиты ШСС от мощных нестационарных УП можно использовать перестраиваемые режекторные СВЧ фильтры на диэлектрических резонаторах.

- максимально возможное количество УП, которые могут быть подавлены указанным способом, зависит от ширины спектра полезного ШПС, ширины полосы режекции каждого фильтра на ДР и величины порогового уровня основного пика корреляционной функции, при котором происходит обнаружение полезного сигнала, принятого в конкретной системе.

Ниже представлена программа создания радиоБаркера-11 с одной узкополосной помехой (Приложение А), с тремя узкополосными помехами (Приложение Б) их режекцией и корреляционной обработкой в программной среде MATLAB.

В ходе исследования была создана модель в программной среде MATLAB, в которую, наряду с ШПС (манипулированный по фазе 11-ти позиционным кодом Баркера радиосигнал), введены три узкополосные помехи (гармонические колебания на разных, близко расположенных частотах), аддитивно воздействующие на сигнал в его полосе.

Математически данная модель может быть описана выражением

$$u(t) = \sum_{n=1}^N a_n u_0 [t - (n - 1)\tau_0] \cos \omega_0 t + b_1 \cos \omega_1 t + b_2 \cos \omega_2 t + b_3 \cos \omega_3 t, \quad (1.11)$$

где  $N$  - количество парциальных прямоугольных импульсов ШПС сигнала;

$u_0$  - парциальный прямоугольный импульс;

$a_n$  - амплитуда парциального импульса;

$(n - 1)\tau_0$  - временной сдвига парциального импульса;

$b_1, b_2, b_3$  - амплитуды 1-й, 2-й и 3-й узкополосных помех соответственно;

$\omega_0, \omega_1, \omega_2, \omega_3$  - несущие частоты ШПС сигнала и узкополосных помех

соответственно.

Спектр аддитивной смеси (11) может быть представлен, как

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) e^{-i\omega t} dt = S_{\text{сигн}} + S_{\text{пом1}} + S_{\text{пом2}} + S_{\text{пом3}}, \quad (12)$$

где  $S_{\text{сигн}}, S_{\text{пом1}}, S_{\text{пом2}}, S_{\text{пом3}}$  - спектры ШПС и узкополосных помех (11)

соответственно.

На рисунке 8 представлены графики результата воздействия на приемный тракт ШПС трех узкополосных помех. На графике а) изображен ШПС сигнал (манипулированный по фазе 11-ти позиционным кодом Баркера),

график б) отражает его свертку, из графика в) очевиден результат суммирования сигнала и трех помех, на графике г) представлен суммарный спектр ШПС и трех помех, график д) показывает свертку ШПС и одной помехи, график е) демонстрирует свертку ШПС и трех узкополосных помех. Данные результаты получены при отношении помеха/сигнал = 1/1 для каждой из трех помех.

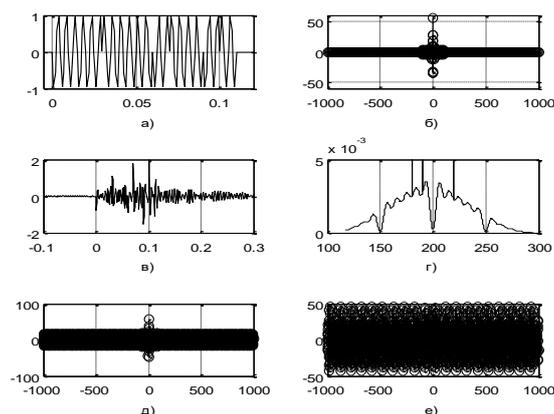


Рисунок 8. Графики результата воздействия на приемный тракт ШПС  
трех узкополосных помех

Из рисунка 8 очевидно, что узкополосные помехи подавляют ШПС при незначительном отношении помеха/сигнал.

На основе полученных результатов можно сделать традиционный вывод о необходимости смены несущей частоты ШПС или сужении полосы его спектра. Однако, система связи с ШПС обладает повышенной скрытностью именно за счет расширенного спектра, что является ее несомненным достоинством и сделанный вывод не может быть удовлетворительным. Тогда необходимо применить известный, но еще не получивший достаточно широкого распространения метод режекции помех в широкополосных радиоприемных трактах. Он основывается на использовании блоков режекторных фильтров как в линейной части приемника, так и после смесителя и АЦП на промежуточной частоте.

В ходе исследования была создана модель в программной среде MATLAB, где были введены режекторные фильтры через функции

$$[b,a]=\text{cheby1}(5,1,[218,222]/500,'stop') \quad (13)$$

$$q=\text{filter}(b,a,G3). \quad (14)$$

Функция (13) описывает фильтр Чебышева 1-го рода 5-го порядка. Аналогичные функции могут описывать фильтры Баттерворта, Бесселя, эллиптические и другие. Функция (14) применяют функцию (13) для фильтрации.

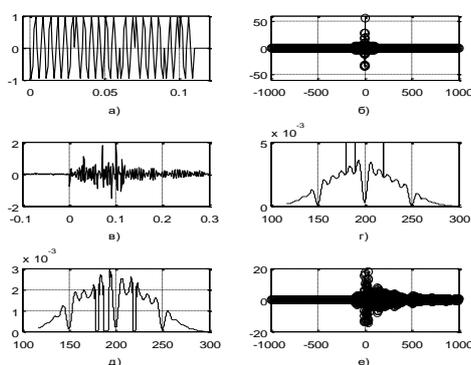
Сигнал, прошедший через блоки режекторных фильтров может быть представлен как

$$u_{\text{реж}}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) K_{\text{анал}}(\omega) K_{\text{цифр}}(\omega) e^{i\omega t} d\omega, \quad (15)$$

где  $K_{\text{анал}}(\omega)$  - коэффициенты передачи аналогового блока режекторных фильтров;

$K_{\text{цифр}}(\omega)$  - коэффициенты передачи цифрового блока режекторных фильтров.

На рисунке 9 представлены графики результата воздействия на приемный тракт ШПС трех узкополосных помех и их режекции с помощью режекторных фильтров. На графиках а) - г) представлены ШПС, его свертка, аддитивная смесь (1), суммарный спектр (2) соответственно, режектированный спектр д) и свертка очищенного сигнала е). Данные результаты получены при отношении помеха/сигнал=1000/1 для каждой из трех помех.



**Рисунок 9. Графики результата воздействия на приемный тракт ШПС трех узкополосных помех и их режекции с помощью режекторных фильтров**

Из рисунка 9 очевидно, что при режектировании узкополосных помех, даже при значительном отношении помеха/сигнал, осуществляется уверенный прием сигнала (рисунок 9,е). Вместе с тем, наблюдается некоторое снижение его корреляционного пика (рисунок 9,е) примерно в 2,5 раза, что объясняется режектированием некоторой доли спектральных составляющих самого сигнала.

Таким образом, в результате исследования приемного тракта ШПС при воздействии узкополосных помех предложены модели помеховой обстановки и даны оценки помехоустойчивости. Рассмотренный метод позволяет осуществлять устойчивый прием ШПС в условиях воздействия множества мощных узкополосных помех.

### **Использование помехоустойчивых видов модуляции**

Известно, что помехоустойчивость выражается в соотношении интенсивности полезного сигнала и шума (помех). Одним из способов достижения хорошего баланса является подбор подходящей модуляции для передачи данных.

В настоящее время известно большое число различных ШПС, которые нашли применение в различных системах радиосвязи. Данные ШПС можно разделить на частотно-модулированные (ЧМ), многочастотные (МЧ),

фазоманипулированные (ФМн) (сигналы с кодовой фазовой модуляцией - КФМ сигналы), дискретные частотные (ДЧ) (сигналы с кодовой частотной модуляцией - КЧМ сигналы, частотноманипулированные (ЧМн) сигналы), дискретные составные частотные (ДСЧ) (составные сигналы с кодовой частотной модуляцией - СКЧМ сигналы). Иногда ФМ сигналы называют просто ШПС, ДЧ сигналы - сигналы с «прыгающей частотой».

ЧМ сигналы являются непрерывными сигналами, частота которых меняется по определенному закону. На рисунке 1.10,а изображён ЧМ сигнал длительностью  $T$ , частота которого меняется по V-образному закону от  $f_0 - F/2$  до  $f_0 + F/2$ , где  $f_0$  - центральная (несущая) частота сигнала,  $F$  - ширина спектра, равная девиации частоты  $F = \Delta f_d$ .

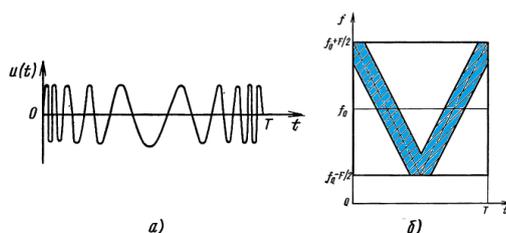


Рисунок 10. Частотно-модулированный сигнал (а) и частотно-временная плоскость (б)

На рисунке 10,б представлена частотно-временная ( $f, t$ ) - плоскость на которой штриховкой приближённо изображено распределение энергии ЧМ сигнала по частоте и по времени.

База ЧМ сигнала

$$B = FT = \Delta f_d T. \quad (16)$$

Ч сигналы (рисунок 11,а) являются суммой  $N$  гармоник от  $u_1(t)$  до  $u_N(t)$ , амплитуды и фазы которых определяются в соответствии с законами формирования сигналов. На частотно-временной плоскости (рисунок 11,б) штриховкой выделено распределение энергии одного элемента (гармоники) МЧ сигнала на частоте  $f_k$ . Все элементы (все гармоники) полностью перекрывают

выделенный квадрат со сторонами  $F$  и  $T$ . База сигнала  $V$  равна площади квадрата. Ширина спектра элемента  $F = 1/T$ .

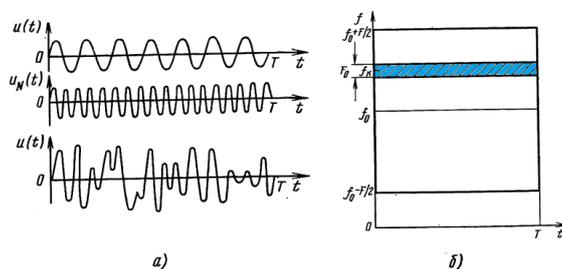


Рисунок 11. Многочастотный сигнал (а) и частотно-временная плоскость (б)

База МЧ сигнала

$$V = FT = F/F_0 = N. \quad (17)$$

ФМн сигналы представляют последовательность радиоимпульсов, фазы которых изменяются по заданному закону. Обычно фаза принимает два значения (0 или  $\pi$ ). При этом радиочастотному ФМн сигналу соответствует видео-ФМ сигнал (рисунок 1.12, а), состоящий из положительных и отрицательных импульсов. Если число импульсов  $N$ , то длительность одного импульса  $\tau_0 = T/N$ , а ширина его спектра равна приблизительно ширине спектра сигнала  $F_0 = 1/\tau_0 = N/T$ .

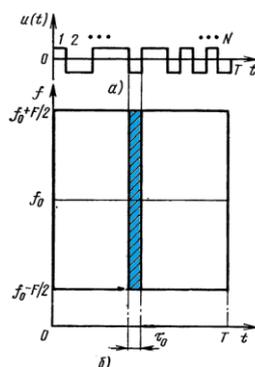


Рисунок 12. Фазоманипулированный сигнал (а) и частотно-временная плоскость (б)

На частотно-временной плоскости (рисунок 12,б) штриховкой выделено распределение энергии одного элемента (импульса) ФМн сигнала. Все элементы перекрывают выделенный квадрат со сторонами  $F$  и  $T$ . База ФМ сигнала

$$B = FT = T/T_0 = N, \quad (18)$$

т. е. равна числу импульсов в сигнале.

ДЧ сигналы представляют последовательность радиоимпульсов (рисунок 1.13,а), несущие частоты которых изменяются по заданному закону. Пусть число импульсов в ДЧ сигнале равно  $M$ , длительность импульса  $T_0 = T/M$ , его ширина спектра  $F_0 = 1/T_0 = M/T$ . Над каждым импульсом (рисунок 13,а) указана его несущая частота. На частотно-временной плоскости (рисунок 13,б) штриховкой выделены квадраты, в которых распределена энергия импульсов ДЧ сигнала. Как видно из рисунка 13,б, энергия ДЧ сигнала распределена неравномерно на частотно-временной плоскости.

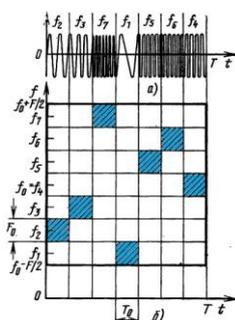


Рисунок 13. Дискретный частотный сигнал (а) и частотно-временная плоскость (б)

База ДЧ сигналов

$$B = FT = MF_0MT_0 = M^2F_0T_0 = M^2, \quad (19)$$

поскольку база импульса  $F_0T_0 = 1$ .

ДСЧ сигналы являются ДЧ сигналами, у которых каждый импульс заменён шумоподобным сигналом. На рисунке 14,а изображён видеочастотный ФМ сигнал, отдельные части которого передаются на различных несущих частотах.

Номера частот указаны над ФМ сигналом. На рисунке 14,б изображена частотно-временная плоскость, на которой штриховкой выделено распределение энергии ДСЧ сигнала.

Рисунок 14,б по структуре не отличается от рисунка 13,б, но для рисунка 14,б площадь  $F_0T_0 = N_0$  - равна числу импульсов ФМ сигнала в одном частотном элементе ДСЧ сигнала. База ДСЧ сигнала

$$B = FT = M^2F_0T_0 = N_0M^2. \quad (20)$$

Число импульсов полного ФМ сигнала

$$N = N_0M. \quad (21)$$

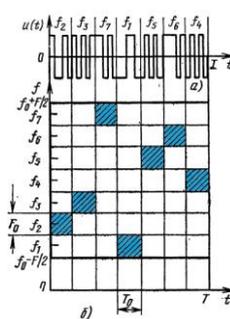


Рисунок 14. Дискретный составной частотный сигнал с фазовой манипуляцией ДСЧ-ФМ (составной сигнал с кодовой частотной модуляцией и фазовой манипуляцией СКЧФ-ФМ) (а) и частотно-временная плоскость (б)

Изображённый на рисунке 14,б ДСЧ сигнал содержит в качестве элементов ФМн сигналы. Поэтому такой сигнал сокращённо называют ДСЧ-ФМн.

В качестве элементов ДСЧ сигнала можно взять ДЧ сигналы. Распределение энергии такого сигнала на частотно-временной плоскости изображено на рисунке 15.

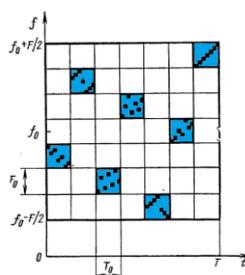


Рисунок 15. Частотно-временная плоскость дискретного составного сигнала с частотной манипуляцией ДСЧ-ЧМ (составной сигнал с кодовой частотной модуляцией и частотной манипуляцией КЧМ-ЧМ)

Если база элемента ДЧ сигнала

$$B_0 = F_0 T_0 = M_0^2, \quad (22)$$

то база всего сигнала

$$B = M_0^2 M^2. \quad (23)$$

Такой сигнал сокращённо называют ДСЧ-ЧМ.

Частотно-модулированные сигналы нашли широкое применение в радиолокационных системах, поскольку для рассмотренного ЧМ сигнала можно создать согласованный фильтр на приборах с поверхностными акустическими волнами (ПАВ). В системах связи необходимо иметь множество сигналов. При этом необходимость быстрой смены сигналов и переключения аппаратуры формирования и обработки приводят к тому, что закон изменения частоты становится дискретным. При этом от ЧМ сигналов переходят к ДЧ сигналам.

Многочастотные сигналы являются непрерывными и для их формирования и обработки трудно приспособить методы цифровой техники. Кроме этого недостатка, они обладают также и следующими: у них плохой пик-фактор (рисунок 11,а) и для получения большой базы необходимо иметь большое число частотных каналов  $N$ .

Основное достоинство дискретных частотных сигналов в том, что для получения необходимой базы  $B$  число каналов  $M = \sqrt{B}$ , т. е. значительно меньше, чем для МЧ сигналов. Именно это обстоятельство и обусловило

внимание к таким сигналам и их применение в системах связи. Вместе с тем для больших баз  $B = 10^4 \dots 10^6$  использовать только ДЧ сигналы нецелесообразно, так как число частотных каналов  $M$  от  $10^2$  до  $10^3$ , что представляется чрезмерно большим.

В настоящее время, особый интерес представляют фазоманипулированные сигналы, поскольку возможность применения ФМн сигналов в качестве ШПС с базами от  $10^4$  до  $10^6$  ограничена в основном аппаратурой обработки. При использовании согласованных фильтров в виде приборов на ПАВ возможен оптимальный приём ФМн сигналов с максимальными базами  $B_{\max}$  от 1000 до 2000. ФМн сигналы, обрабатываемые такими фильтрами, имеют широкие спектры (порядка от 10 до 20 МГц) и относительно короткие длительности (от 50 до 100 мкс). Обработка ФМн сигналов с помощью видеочастотных линий задержки при переносе спектра сигналов в область видеочастот позволяет получить базы  $B = 100$  при  $F = 1$  МГц и  $T = 100$  мкс. Весьма перспективными являются согласованные фильтры на приборах с зарядовой связью (ПЗС). С помощью согласованных фильтров ПЗС можно обрабатывать ФМ сигналы с базами от  $10^{-2}$  до  $10^{-3}$ с. Цифровой коррелятор на ПЗС способен обрабатывать сигналы до базы  $4 \cdot 10^4$ . Следует отметить, что ФМн сигналы с большими базами целесообразно обрабатывать с помощью корреляторов (на БИС или на ПЗС). При этом  $B = 4 \cdot 10^4$  представляется предельной. Но при использовании корреляторов необходимо в первую очередь решить вопрос об ускоренном вхождении в синхронизм. Так как ФМн сигналы позволяют широко использовать цифровые методы и технику формирования и обработки и можно реализовать такие сигналы с относительно большими базами, то поэтому ФМн сигналы являются одними из перспективных видов ШПС.

Таким образом, наиболее перспективные ШПС для систем связи являются ФМ, ДЧ, ДЧС-ФМ сигналы.

## Спектральное представление ШПС

Сигналом называется изменяющаяся физическая величина, отображающая сообщение. Сигнал  $U$ , являющийся функцией времени  $t$ , записывается в виде  $U = U(t)$ .

Широкополосными сигналами называют такие сигналы, у которых произведение ширины спектра  $F$  на длительность  $T$  много больше единицы .

Это произведение называется базой сигнала и обозначается  $B$ , т. е.

$$B = FT. \quad (24)$$

У широкополосных сигналов  $B \gg 1$ . Широкополосные сигналы часто называют шумоподобными сигналами (ШПС) или сложными (в отличии от простых сигналов с  $B = 1$ ).

Множество сигналов  $U_j(t)$ , определяемое единым правилом построения, называется системой сигналов. Таким образом, система сигналов определена, если известно правило построения сигналов. Номер сигналов указан в виде индекса  $j$ . Если число сигналов в системе  $L$ , то можно пронумеровать сигналы натуральными числами от 1 до  $L$  и обозначить  $j = 1, L$ . Число  $L$  называется объёмом системы сигналов.

В дальнейшем рассматриваются сигналы, которые можно представить в следующем виде:

$$U(t) = A(t)\cos[\omega_0 t + \theta(t)], \quad (25)$$

где  $A(t)$  - огибающая,

$\omega_0$  - несущая частота,

$\theta(t)$  - медленноменяющаяся часть фазы сигнала.

Представлению соответствует радиочастотный сигнал. Так как рассматриваются реальные сигналы, то все функции времени и параметры правой части известны.

На рисунке 16, а показан фазоманипулированный сигнал (ФМ), состоящий из четырёх радиоимпульсов с одинаковой несущей частотой, но с

различными начальными фазами. На рисунке 16, б и в представлены его огибающая  $A(t)$  и фаза  $\theta(t)$ . Огибающая постоянна на интервале длительностью  $T$ , а фаза равна двум значениям:  $0$  и  $\pi$ .

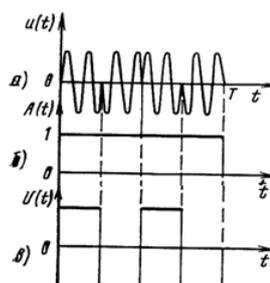


Рисунок 16. Фазоманипулированный сигнал (а), огибающая ФМ сигнала (б), видеочастотный ФМ сигнал (в)

Если несущая частота сигнала  $\omega_0 = 0$ , то такой сигнал является видеочастотным. На рисунке 16, в изображён видеочастотный спектр  $U(t)$  - последовательность положительных и отрицательных прямоугольных импульсов, полученный из ФМ сигнала рисунок 16,а при условии, что  $\omega_0 = 0$ . Так как знаки импульсов видеочастотного сигнала определяются начальными фазами импульсов радиочастотного сигнала, то по аналогии с радиочастотным сигналом видеочастотный также называется фазоманипулированным сигналом.

Спектр сигнала  $U(t)$  определяется преобразованием Фурье

$$g(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} U(t)e^{-i\omega t} dt. \quad (26)$$

Спектр является функцией угловой частоты  $\omega = 2\pi f$ , где  $f$  - линейная частота. Бесконечные пределы интегрирования соответствуют общему случаю. При определении спектра финитного сигнала (с конечной длительностью) необходимо учитывать его расположение на оси времени  $t$ .

Спектр может быть представлен в виде

$$g(\omega) = |g(\omega)| \exp[i\varphi(\omega)], \quad (27)$$

где  $|g(\omega)|$  - амплитудный спектр сигнала,

$i\varphi(\omega)$  - фазовый спектр сигнала.

Сигнал находится по спектру с помощью обратного преобразования Фурье

$$U(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} g(\omega) e^{i\omega t} d\omega. \quad (28)$$

Радиосигнал (2.2) содержит быстроменяющийся множитель в виде косинусоиды, в аргумент которой входит несущая частота  $\omega_0 = 2\pi f_0$ . Соответственно спектр (2.3) этого сигнала состоит из двух частотных полос, сосредоточенных около частот  $\omega_0$  и минус  $\omega_0$ . При теоретических исследованиях целесообразно для упрощения промежуточных математических операций «освободить» сигнал и его спектр от несущей частоты  $\omega_0$ . Это можно осуществить при введении комплексной огибающей сигнала.

Комплексная огибающая радиосигнала определяется как

$$U(t) = |U(t)| \exp[i \omega_0 t], \quad (29)$$

где модуль  $|U(t)| = A(t)$  является огибающей сигнала  $U(t)$ .

Переход от комплексной огибающей к сигналу осуществляется с помощью следующей формулы:

$$U(t) = \operatorname{Re} U(t) \exp[i \omega_0 t], \quad (30)$$

где  $\operatorname{Re}$  - действительная часть.

На рисунке 17,в была изображена комплексная огибающая ФМ сигнала (рисунок 17,а). Она представляет собой последовательность прямоугольных видеоимпульсов и является действительной функцией времени. Это обусловлено тем, что начальные фазы импульсов ФМ сигнала принимают одно из двух значений: 0 или  $\pi$ . В общем случае комплексная огибающая содержит и действительную и мнимую составляющие, но всегда является видеосигналом, чем и объясняется переход к ней от радиосигнала.

Спектр комплексной огибающей

$$G(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} U(t) e^{-i\omega t} d\omega. \quad (31)$$

Комплексная огибающая сигнала находится согласно обратному преобразованию Фурье

$$U(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega) e^{i\omega t} d\omega. \quad (32)$$

### Оптимальном прием сигналов

Приём информации начинается после завершения процесса поиска и синхронизации сигналов. Будем считать, что для передачи информации используются двоичные символы. При этом символу 0 соответствует сигнал  $S_1(t)$ , а символу 1 -  $S_2(t)$ ; сигналы  $S_i(t)$ ,  $i = 1, 2$  полностью известны на приёмной стороне, и никаких ограничений на их свойства не накладывается. Такой подход позволяет получить результаты, пригодные для произвольных сигналов. Приём сигналов всегда осуществляется на фоне помех, т. е. наблюдается реализация вида

$$x(t) = S_i(t) + n(t), \quad (33)$$

где  $S_i(t)$  - полезный сигнал,

$n(t)$  - помеха с равномерным спектром.

При этом потребуется решить задачу оптимального приёма, заключающуюся в определении правильности принятого символа (нахождение отношения правдоподобия).

Если на входе приёмника действует сигнал  $x(t)$ , равный сумме полезного сигнала  $S_i(t)$  и помехи  $n(t)$  или только помехи, то оптимальный приёмник в случае сигнала с полностью известными параметрами вычисляет корреляционный интеграл, а затем сравнивает его величину с порогом  $z_0$ . Если помеха является гауссовским случайным процессом, спектральная плотность которого равномерна (белый шум), то корреляционный интеграл имеет вид

$$z(t) = \int_0^T x(t) S_i(t) dt, \quad (34)$$

где  $T$  - длительность одного символа.

Оптимальный приём сигналов осуществляется с помощью корреляторов или согласованных фильтров, которые вычисляют значение корреляционного интеграла.

На рисунке 18 представлен структурная схема корреляционного приёмника.

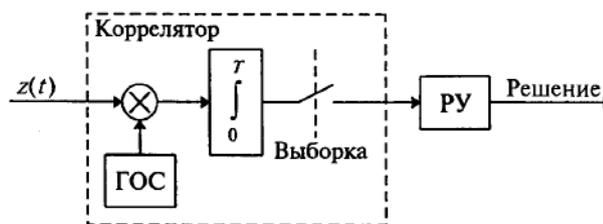


Рисунок 18. Структурная схема корреляционного приёмника

Как видно, основными элементами корреляционного приёмника являются коррелятор, состоящий из генератора опорного сигнала (ГОС), умножителя и интегратора, а так же решающее устройство (РУ). На перемножитель поступают входной сигнал  $x(t)$  и сигнал  $S_i(t)$  от ГОС. Произведение  $x(t)S_i(t)$  интегрируется с момента прихода ( $t = 0$ ) и до момента окончания обнаруживаемого сигнала ( $t = T$ ). РУ определяет, какой из сигналов  $S_1(t)$  или  $S_2(t)$  передавался в моменты времени, кратные  $T$ . В данной схеме устройство, непосредственно вычисляющее значение функции называется коррелятором, поэтому приёмник называется корреляционным.

Глагол «коррелировать» означает «совпадать», «согласовываться». Корреляторы пытаются найти соответствие принятого символа  $x(t)$  с каждым возможным сигналом прототипом  $S_i(t)$ , известным приёмнику априори. Другими словами, правило принятия решения выглядит следующим образом: выбрать сигнал  $S_i(t)$ , индекс которого соответствует максимальной  $z(t)$ .

Так как режим работы коррелятора зависит от изменения  $S_i(t)$  во времени, то коррелятор является линейным устройством (поскольку операции умножения и интегрирования линейны) с переменными параметрами. Поэтому

его иногда называют активным фильтром в отличие от пассивных фильтров, параметры которых постоянны во времени.

Значение может быть вычислено также с помощью линейного фильтра с постоянными параметрами. Согласованный фильтр (рисунок 18) является пассивным фильтром.

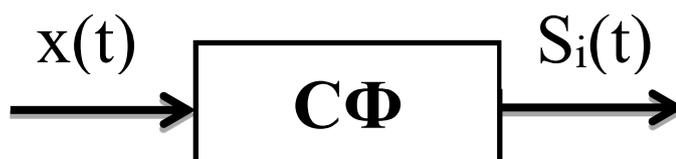


Рисунок 18. Согласованный фильтр

Напряжение на выходе согласованного фильтра в момент окончания сигнала ( $t = T$ ) с точностью до постоянного множителя  $A$  равно напряжению на выходе коррелятора

$$U(T) = Az. \quad (35)$$

Импульсная характеристика согласованного фильтра

$$h(t) = AS_i(T-t), \quad (36)$$

которая по форме является отображённым сигналом с запаздыванием  $T$ .

Общим между коррелятором и согласованным фильтром является равенство (с точностью до постоянной) выходных напряжений в момент времени  $t = T$ . С точки зрения обнаружения сигнала это и определяет их взаимную эквивалентность. Основное отличие заключается в том, что согласованный фильтр - устройство с постоянными параметрами, а коррелятор - устройство с переменными во времени параметрами. Следствием этого является то, что согласованный фильтр инвариантен относительно задержки сигнала и его начальной фазы (насколько эти величины изменяются в сигнале на входе фильтра, настолько они изменятся и в сигнале на выходе), а коррелятор не инвариантен.

Структура оптимального приёмника изменяется, если сигнал имеет несколько неизмеряемых или измеряемых случайных параметров, но его основная часть остаётся прежней, так как всегда должен быть согласованный фильтр или коррелятор

### Корреляционное представление ШПС

Оптимальный приём сигналов осуществляется с помощью согласованных фильтров или корреляторов. Нормированный отклик согласованного фильтра, определяемого с помощью интеграла свёртки

$$r_{jk}(\tau) = \frac{1}{E} \int_{-\infty}^{\infty} U_j(t) U_k(t - \tau) dt, \quad (37)$$

где  $U_j(t)$  - сигнал на входе фильтра, согласованного с сигналом  $U_k(t)$ . Энергии сигналов с номерами  $j$  и  $k$  равны  $E$ ,

$\tau$  - сдвиг сигнала  $U_j(t)$  относительно отклика  $U_k(t)$ .

При  $j = k$  и  $\tau = 0$  из (2.14), отбрасывая индексы имеем

$$r(0) = \frac{1}{E} \int_{-\infty}^{\infty} U^2(t) dt = 1, \quad (38)$$

что и определяет нормированность отклика согласованного фильтра.

Выражение в правой части определяет интегральную взаимосвязь между сигналами  $U_j(t)$  и  $U_k(t)$  при некотором сдвиге  $\tau$ . Если  $\tau$  - переменная величина, то  $r_{jk}(\tau)$  - функционал, зависящий как от функций  $U_j(t)$  и  $U_k(t)$ , так и от сдвига  $\tau$ . Именно поэтому  $r_{jk}(\tau)$  называется корреляционной функцией (КФ) сигналов  $U_j(t)$  и  $U_k(t)$ . В зависимости от того, согласован или не согласован сигнал с фильтром, имеется ли дополнительное доплеровское смещение несущей частоты сигнала, КФ имеют различные представления.

Если фильтр согласован с сигналом, т. е.  $j = k$  то получаем определение функции неопределённости (ФН)

$$R(\tau, \Omega) = \frac{1}{2E} \int_{-\infty}^{\infty} U(t) \dot{U}(t - \tau) e^{i\Omega t} dt = \frac{1}{4\pi E} \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega - \Omega) \dot{G}(\omega) e^{i\omega t} d\omega, \quad (39)$$

где  $\tau$  - сдвиг по времени между сигналами,

$\Omega$  - доплеровский сдвиг частоты.

Автокорреляционная функция (АКФ) - сечение ФН при  $\Omega = 0$ . Полагая  $\Omega = 0$ , из находим

$$R(\tau) = \frac{1}{2E} \int_{-\infty}^{\infty} U(t)\dot{U}(t - \tau) dt = \frac{1}{4\pi E} \int_{-\infty}^{\infty} |G(\omega)|^2 e^{i\omega\tau} d\omega. \quad (40)$$

Из равенства (2.17) видно, что АКФ является преобразованием Фурье энергетического спектра комплексной огибающей сигнала. Согласно обратному преобразованию Фурье энергетический спектр

$$|G(\omega)|^2 = 2E \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau. \quad (41)$$

На рисунке 19,а изображён фазоманипулированный шумоподобный сигнал (ФМ-ШПС) длительностью  $T$ , а на рисунке 19,б - его АКФ.

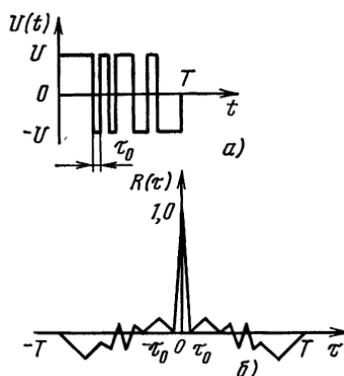


Рисунок 19. Фазоманипулированный шумоподобный сигнал (а) и его автокорреляционная функция (б)

Элементарный импульс имеет длительность  $\tau = T/N$ , где  $N$  - число импульсов. Для ФМ-ШПС,а  $N = 15$ . Автокорреляционная функция ФМ-ШПС состоит из центрального пика с амплитудой 1, размещённого на интервале  $(-\tau_0, \tau_0)$ , и боковых пиков, распределённых на интервалах  $(-T, -\tau_0)$  и  $(\tau_0, T)$ . Амплитуды боковых пиков принимают различные значения, но у сигналов с «хорошими» корреляционными свойствами они малы, т. е. существенно меньше амплитуды центрального пика, равной 1.

Существуют различные оценки боковых пиков, но все они описываются одинаковым по форме соотношением. Для ФМ-ШПС оценка боковых пиков имеет вид

$$R = \alpha/\sqrt{N}, \quad (42)$$

где  $\alpha$  - некоторая величина, зависящая от вида оценки, класса сигнала и, в общем случае от  $N$ .

Для произвольных ШПС с базой  $B$  оценка боковых пиков

$$R = \alpha/\sqrt{B}. \quad (43)$$

Соотношение (42) и (43) определяют одну и ту же зависимость оценок величины боковых пиков от базы ШПС, поскольку  $N$  у ФМ-ШПС пропорционально базе  $B$ . Чем больше база, тем меньше боковые пики. В пределе, когда  $B \rightarrow \infty$ , АКФ имеет вид треугольного импульса, изображённого на рисунке 20.

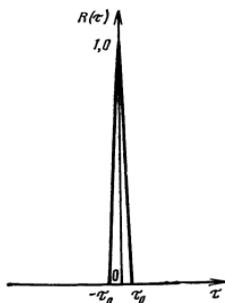


Рисунок 20. Идеальная АКФ

Боковые пики на рисунке 20 не изображены, поскольку при  $B \rightarrow \infty$  они стремятся к нулю в соответствии с (42) и (43). Длительность центрального пика АКФ так же стремится к нулю, поскольку  $\tau_0 = T/N$ , с ростом базы  $B$  (числа импульсов  $N$ )  $\tau_0 \rightarrow 0$ . АКФ, называется идеальной, так как она не имеет боковых пиков. Именно такую АКФ имеют длительные реализации шума, что и объясняет название «шумоподобные» сигналы.

### Имитационное моделирование импульсного сигнала и ШПС Баркер-11

Условия современной телекоммуникационной связи характеризуются сложной сигнально-помеховой обстановкой. При построении широкополосных трактов радиоприемных устройств для данных условий возникает необходимость оценки их устойчивости к воздействию интенсивных помех

разного рода. Создание реальной сигнально-помеховой обстановки требует значительных финансовых, трудовых, временных и аппаратурных затрат. Исходя из этого, задача разработки имитационных моделей такой обстановки является актуальной.

Математически модель сигнала может быть описана выражением

$$u(t) = A_m(t)\cos(\omega t + \varphi(t)), \quad (44)$$

где  $A_m(t)$  - амплитуда, изменяющаяся во времени,

$\omega$  - несущая частота,

$\varphi(t)$  - фаза, изменяющаяся во времени.

Задавая функцию  $A_m(t)$ , можно получить амплитудную или импульсную модуляцию. Функция  $\varphi(t)$  позволяет получить разные виды угловой модуляции: частотную или фазовую.

Система компьютерной математики MATLAB, основанная на мощных и современных матричных методах вычислений, является одним из лучших языков программирования высокого уровня для реализации технических вычислений. MATLAB открывает широчайшие возможности в математическом моделировании сигналов.

В программной среде MATLAB сигнал с амплитудной и угловой модуляцией может быть легко представлен в тех же символах. Для формирования сигнальных импульсных последовательностей используется функция

$$y1 = \text{pulstran}(t,d1,'rectpuls',\tau), \quad (44)$$

где  $t$  - вектор значений моментов времени;

$d1$  - задержка, с помощью которой можно задавать период следования импульсов;

'rectpuls' - функция генерации прямоугольного импульса;

$\tau$  - длительность импульса.

Рассмотрим некоторые из возможных сигналов:

### 1) Прямоугольный импульс (рисунок 21).

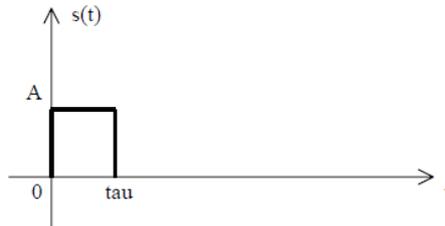


Рисунок 21. Прямоугольный импульс длительностью tau

Для формирования прямоугольного импульса используется функция

$$y1 = A \cdot \text{rectpuls}(t - \tau/2, \tau), \quad (45)$$

где A - амплитуда импульса;

rectpuls - функция генерации прямоугольного импульса;

t - вектор значений моментов времени;

tau - длительность импульса.

При вводе этого оператора либо нужно предварительно задать значения амплитуды A и длительность tau, либо в самом операторе вместо идентификаторов A и tau поставить численные значения.

Ниже представлен смоделированный одиночный импульс длительностью 4 (рисунок 22), его АКФ (рисунок 23) и написанный в программной среде MATLAB код (Приложение В).

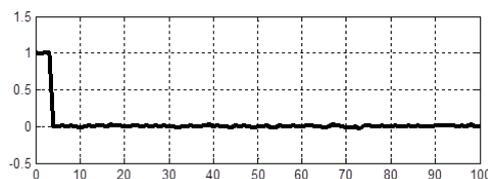
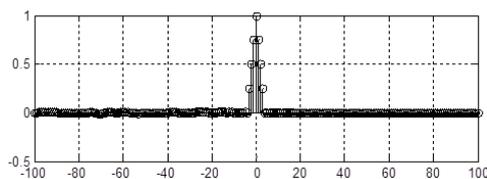
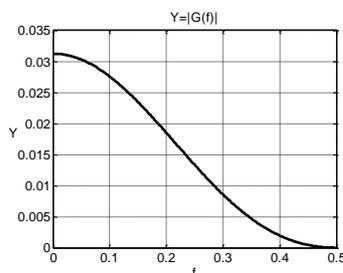


Рисунок 22. Смоделированный одиночный импульс длительностью 4



**Рисунок 23. АКФ смоделированного одиночного импульса длительностью 4**

Ниже представлен спектр смоделированного одиночного импульса длительностью 4 (рисунок 24) и написанный в программной среде MATLAB код (Приложение Г).



**Рисунок 24. Спектр смоделированного одиночного импульса длительностью 4**

## 2) Пачки импульсов.

Для генерации конечной последовательности (пачки) импульсов одинаковой формы с произвольно задаваемыми задержками и амплитудами используется функция `pulstran`.

Для формирования сигнальных импульсных последовательностей используется функция

Ниже представлен смоделированный с помощью функции `pulstran` информационный ШПС на основе кода Баркера (рисунок 26), его АКФ (рисунок 25) и написанный в программной среде MATLAB код (Приложение Д).

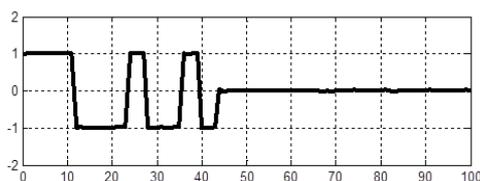


Рисунок 26. Смоделированный с помощью функции pulstran информационный ШПС на основе кода Баркера

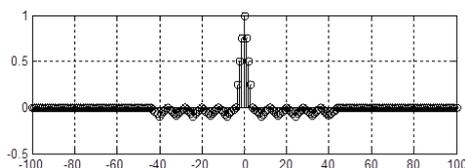


Рисунок 27. АКФ смоделированного с помощью функции pulstran информационного ШПС на основе кода Баркера

Ниже представлен спектр смоделированного с помощью функции pulstran информационного ШПС на основе кода Баркера (рисунок 28) и написанный в программной среде MATLAB код (Приложение Е).

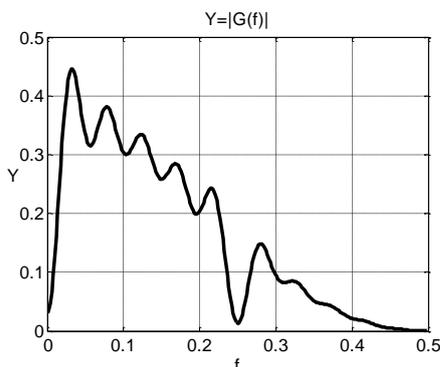


Рисунок 28. Спектр смоделированного с помощью функции pulstran информационного ШПС на основе кода Баркера

Системы связи с ШПС занимают особое место среди различных систем связи, что объясняется их свойствами. В статье были проанализированы основные способы формирования и приёма фазоманипулированных шумоподобных сигналов в системах радиосвязи повышенной помехозащищённости. В результате проведённых исследований можно сказать, что ФМ сигналы являются одними из перспективных видов ШПС, так как они обеспечивают наибольшую помехозащищённость, позволяют широко

использовать цифровые методы и технику формирования и обработки сигналов, просты в реализации.

Основные достоинства ФМ ШПС, определяющие широкое их применение в системах связи следующие:

- высокая помехозащищенность в условиях значительной плотности помех. Отметим что, чем шире спектр ФМ ШПС и чем больше его база, тем выше как энергетическая, так и параметрическая скрытность, а методы расширения спектра в разы увеличивают помехоустойчивость и в разы уменьшают мощность сигнала, тем самым увеличивая скрытность сигнала;

- кодовая адресация большого числа абонентов и их кодовое разделение при работе в общей полосе частот;

- простота реализации больших и сверхбольших баз (десятки, сотни тысяч);

- обеспечение устойчивой связи в условиях многолучевого распространения радиоволн;

- электромагнитная совместимость с узкополосными системами радиосвязи.

Тем не менее необходимо отметить, что на сегодняшний день применение только ФМ-ШПС в системах радиосвязи не может обеспечить заданной помехоустойчивости и скрытности. Наибольший эффект повышения помехоустойчивости может быть достигнуто при работе широкополосных систем лишь комплексом методов: энергетических, пространственных, временных, частотных и сигнальных.

#### Библиографический список

1. Варакин, Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами [Текст] / Л. Е. Варакин. - Москва: Радио и связь, 1985. - 384с.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>

2. Борисов, В. И. Помехозащищённость систем радиосвязи с расширением спектра несущей псевдослучайной последовательностью [Текст] / В. И. Борисов. - Москва: Радио и связь, 2003. - 640с.

3. Сергиенко, А. Е. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А. Е. Сергиенко. - Санкт-Петербург: Питер, 2002. - 603с.

## СЕКЦИЯ 2. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

УДК 636.5.084

**Комирная А.Н. Использование в рационе кур кормового концентрата «Фурор-Т»**

The use of fodder concentrate «Furor-T» in the chickens's ration

**Комирная Анастасия Николаевна**

Кубанский государственный аграрный университет

**Научный руководитель**

**Комлацкий В.И.**, д.с.-х.н.,

заведующий кафедрой частной зоотехнии и свиноводства

Кубанский государственный аграрный университет

Kamernaya Anastasia Nikolaevna

Kuban state agricultural university

Komlatsky V.I.,

doctor of agricultural sciences, head of the department of private animal husbandry and pig farming

Kuban state agricultural university

***Аннотация.** Для реализации генетического потенциала высокопродуктивных кроссов птицы необходимо обеспечить птицу высококачественными кормами, обогащенными микроэлементами и биологически активными веществами. В производственных условиях учхоза «Кубань» Кубанского ГАУ проведен научно-производственный опыт по использованию в качестве добавки кормового концентрата «Фурор-Т». Установлено положительное влияние на яйценоскость птицы и массу яиц.*

***Ключевые слова:** птица, продуктивность, сохранность, яйценоскость, масса яиц.*

***Abstract.** To realize the genetic potential of highly productive cross-country poultry it is necessary to provide the bird with high-quality fodders enriched with microelements and biologically active substances. In the production conditions of the «Kuban» school of Kuban State University conducted a scientific and production experience on the use of fodder concentrate «Furor-T» as an additive. A positive effect on the egg lay of the bird and the mass of eggs was established.*

***Keywords:** bird, productivity, safety, egg production, weight of eggs.*

**На сегодняшний день главной задачей птицеводства является увеличение производства, повышение качества и снижение себестоимости яиц и мяса птицы. Для этого используются высокопродуктивные кроссы птицы с высоким**

генетическим потенциалом. Однако запрограммированная продуктивность может быть достигнута только при оптимальных условиях содержания и кормления [3]. Поэтому чрезвычайно важно обеспечить птицу высококачественными кормами, обогащенными микроэлементами и биологически активными веществами, обеспечивающими интенсивные обменные процессы.

В последнее время прослеживается тенденция использования в качестве таких ингредиентов органических кислот. Их применяют в основном по четырем направлениям:

1. Консервация сырья и комбикормов. В данном случае кислоты убивают микроорганизмы, которые потребляют энергию, белок и жиры.
2. Контроль над патогенной микрофлорой.
3. Обеззараживание питьевой воды.
4. Положительное влияние на питательные свойства корма, так как после обработки корм лучше усваивается, что влияет на повышение продуктивности.

В частности используются гуминовые вещества, активизирующие клеточный метаболизм и регенеративные процессы [4]. Как правило, для этого используются природные вещества с нестабильным составом.

Фирмой «Эссон» (г. Нижний Новгород) разработан и выпускается кормовой концентрат «Фурор-Т», представляющий собой смесь биодоступных органических высокомолекулярных соединений стабильного состава. В нем содержится 20% биологически активной органической фульвовой кислоты и 28% гуминовой кислоты. Механизм действия этих соединений комплексный. Они улучшают усвояемость минералов и микроэлементов, обеспечивают связывание и выведение из организма многих токсичных веществ, что способствует детоксикации организма, обладают пребиотическим действием, положительно влияя на формирование микрофлоры кишечника. Гуминовые и фульвовые кислоты повышают сопротивляемость живого организма к

инфекциям, стрессам, снижают риск негативных последствий при вакцинации. С помощью этого концентрата можно получать экологически чистую продукцию без применения антибиотиков. Добавление этих кислот улучшает конверсию корма как при добавлении антибиотиков, что положительно влияет на экономические показатели.

Нами в производственных условиях учхоза «Кубань» КубГАУ был проведен научно-производственный опыт по использованию в рационе поголовья птицы кормового концентрата «Фурор-Т» с целью определения влияния кормового «Фурор-Т» на яйценоскость кур-несушек и массу яиц. Для проведения опыта было выделено 400 голов кур-несушек кросса Хай-Лайн коричневый одного возраста, которых разделили на 2 группы по 200 голов каждая. У первой группы (контроль) был обычный ежедневный рацион, соответствующий по нормативам возрасту кур-несушек. Второй группе (опыт) в рацион добавляли кормовой концентрат «Фурор-Т» в расчете 300 г концентрата (К) на 1 тонну корма основного рациона (ОР). Следует отметить, что опыт проводился в аномально жаркий летний период 2017 года, вследствие чего оборудование фермы не всегда обеспечивало комфортный микроклимат внутри помещения.

Результаты исследований показали, что использование в рационах кур-несушек изучаемой добавки оказало положительное влияние на продуктивные показатели. Улучшились показатели жизнеспособности кур-несушек. Сохранность в контрольной группе составила 96%, в опытной – 99%.

Яйценоскость кур в контрольной группе уменьшилась на 3,3%, в опытной - увеличилась на 0,9%.

Нами проведены исследования по изменению массы яиц. В контрольной группе средняя масса яйца увеличилась за период наблюдений на 0,4 % и составила в конце опыта 57,7 г. В опытной группе зафиксировано увеличение массы яйца на 5% , при этом средняя масса яйца в конце

наблюдений была равна 60,4 г. Разница в массе яиц между опытной и контрольной группами составила - 4,6 процента.

Таким образом, установлено, что введение в рацион птицы кормового концентрата «Фурор-Т» оказывает положительное влияние на сохранность, яйценоскость птицы и массу яйца. При добавлении концентрата аномально высокие температуры меньше влияют на продуктивность и увеличивают сохранность поголовья.

#### Библиографический список

1. Денс П. Применение органических кислот в птицеводстве // Farm Animal. - 2013. - № 3. - С.77.
2. Фисинин В.И. и др. Методические указания по оптимизации рецептуры комбикормов для сельскохозяйственной птицы. - Москва. - 2014. - 119с.
3. Жияков Т.П. Повышение резистентности организма животных путем применения препарата Гумитон: автореферат: 03.00.13. / Жияков Т.П.-Томск, 2006.
4. Гуматы в животноводстве [Электронный ресурс].-<http://humate.ru>

## СЕКЦИЯ 3. БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 57.017.3

**Романова К.Р. Кашперова С.Г. Взаимосвязь стресса, ожирения и жесткости кровеносных сосудов у машинистов локомотивов, работающих в условиях дальневосточной железной дороги**

Interrelation between stress, obesity and stiffness of blood vessels of locomotive drivers working on the Far Eastern Railway

**Романова Каролина Романовна**,  
ст. 2 к. Естественнонаучного института (ЕНИ) Дальневосточного государственного университета путей сообщения,  
профиль «Техносферная безопасность»;

**Кашперова Светлана Геннадьевна**,  
асп. ЕНИ, первого года обучения, направление 20.06.01  
«Техносферная безопасность», направленность «Безопасность  
в чрезвычайных ситуациях»;  
Научные руководители:

**Целых Е.Д.** д.б.н., профессор кафедры «Техносферная  
безопасность» Дальневосточного государственного университета  
путей сообщения;

**Ахтямов М.Х.** д.б.н., профессор кафедры «Техносферная  
безопасность», директор Естественнонаучного института  
Дальневосточного государственного университета путей  
сообщения

Romanova Karolina Romanovna  
2-year student, Institute of Natural Sciences, Far Eastern State Transport  
University, profile «Technospheric security»

Kashperova Svetlana Gennadievna  
Graduate student of Institute of Natural Sciences, direction 20.06.01 «Technospheric  
security», the focus «Safety in emergency situations», Far Eastern State Transport University

Scientific advisors:  
Celix E.D. Doctor of Biological Science,  
Professor of the department «Technospheric security»,  
Far Eastern State Transport University  
Akhtyamov M.H. Doctor of Biological Science,  
Professor of the department «Technospheric security»,  
Director of the Natural Science Institute  
Far Eastern State Transport University

***Аннотация.** У машинистов электропоезда определена низкая физическая активность (I группа), которая является одной из главных причин ожирения (II степень), высокого артериального давления (133,13 мм. рт.ст.). Уровень стресса  $\geq 263$  (при нормативе до 100).*

*Низкую физическую активность, ожирение и повышенное систолическое давление можно рассматривать как негативную составляющую «человеческого фактора» риска возникновения чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте.*

***Ключевые слова:** машинисты электропоезда, факторы риска, физическая активность, ожирение, систолическое давление.*

***Abstract.** It is determined that electric train drivers have low physical activity (group I), which is one of the main causes of obesity (grade II), high blood pressure (133.13 mm Hg). The level of stress  $\geq 263$  (with a norm of up to 100).*

*Low physical activity, obesity and increased systolic pressure are considered as a negative component of the "human factor" of the risk of emergencies in railway transport.*

***Keywords:** electric train drivers, risk factors, physical activity, obesity, systolic pressure.*

---

**Актуальность исследования.** Во всех странах безопасность является важнейшим условием существования человеческого общества, занимая самое приоритетное место [15].

Развитие тягового подвижного состава железнодорожного транспорта сопровождается усложнением трудового процесса (техническим и информационным), его интенсификацией, изменением условий профессиональной деятельности.

Это увеличивает нагрузку на машинистов электроподвижного состава (МЭ), способствует возникновению и развитию стрессовых ситуаций; предъявляет повышенные требования к организму работника.

При нарушении условий эксплуатации и безопасности движения, многократно возрастает риск, что может привести к возникновению чрезвычайных ситуаций (ЧС) с человеческими жертвами, большим материальным ущербом, нанесению экологического вреда окружающей среде, а так же нарушению движения поездов в целом.

В большинстве исследований указано, что ЧС на железных дорогах России обусловлены внутренними причинами, связанными с неправильной организацией процесса перевозок. Все причины сведены в три основные группы: технические, технологические, организационные.

**К техническим причинам относятся:**

**а) несовершенство конструкций технических устройств и транспортных средств,**

**б) их старение, износ;**

**в) снижение уровня надежности безопасной эксплуатации железнодорожных путей, стрелочных переводов, переездов, подвижного состава,**

**г) оборудования мест посадки и высадки пассажиров, погрузки и выгрузки грузов, других сооружений, в том числе средств обеспечения безопасности.**

**д) до сих пор немного исследований посвящено вкладу человеческого фактора в формирование развитие чрезвычайных ситуаций (ЧС).**

**К организационным фактам относятся:**

**а) несовершенство системы нормативно-технических правил и условий выполнения работ;**

**б) низкий уровень обучения и подготовки руководителей и работников, связанных с обеспечением безопасности;**

**в) нарушение режима их труда и отдыха;**

**г) текучесть кадров и т.п.**

**К технологическим причинам относятся:**

**а) использование технологий с повышенным риском, их несоответствие нормативным показателям;**

**б) изменение последовательности операций;**

**в) увеличение нагрузки до сверхдопустимых значений;**

**г) неудовлетворительное качество, отклонение режимов и норм технического обслуживания и ремонта.**

**Развитие тягового подвижного состава железнодорожного транспорта сопровождается усложнением трудового процесса (техническим и**

информационным), его интенсификацией, изменением условий профессиональной деятельности. Это увеличивает нагрузку на МЭ, способствует возникновению и развитию стрессовых ситуаций; предъявляет повышенные требования к организму работника.

По результатам опроса 15 стран Европейского Союза стало известно, что: 56% работников железной дороги отмечают высокие темпы работы, 60% — жесткие сроки выполнения, 40% — монотонию, 30% — жалуются на стресс и его проявления, 10% — сообщают, что на рабочем месте к нему применяют тактику запугивания. Экономический ущерб от профессионального стресса в странах Европейского Союза ежегодно составляет около 15 млрд. евро.

Значительное количество работ российских ученых посвящено способам предаварийной диагностики оборудования электровоза, предназначенных для выявления предаварийного состояния работы и ранних стадий развития нестационарных режимов работы контролируемого оборудования электровоза, что особенно важно при управлении электровозом в «одно лицо» (без помощника машиниста): по шуму и вибрации [1]; автоматической локомотивной сигнализации и автостопа с устройствами контроля скорости и бдительности машиниста [14]; путей повышения экологической безопасности и эффективности использования магистральных тепловозов [7] и др. Однако в настоящее время вектор внимания проблемы безопасности склоняется в сторону «человеческого фактора». Ряд авторов показывает, что успешность к действиям в аварийной ситуации, ликвидации ЧС зависит, в первую очередь зависит от личностных особенностей человека [3].

Многие российские исследователи отмечают специфические условия производственной деятельности машиниста, которые являются неблагоприятными и, в настоящее время, еще не могут быть полностью устранены:

- значительное нервно-эмоциональное напряжение из-за повышенной бдительности при вождении поездов и строгого соблюдения графика движения, с личным риском и высокой степенью персональной ответственности за безаварийное движение,

- шум (на втором месте), в связи с этим регистрируется также профзаболевание — нейросенсорная тугоухость [6].

- режим труда и отдыха у большинства машинистов и их помощников характеризуется неритмичным чередованием дневных и ночных смен, началом и окончанием работы в различное время суток, вынужденным отдыхом в пунктах оборота, наличием сверхурочной работы,

- другие составляющие: микроклимат, курение, избыточный вес, отягощенная наследственность [9;13].

Среди наиболее характерных и повторяющихся недостатков организации работы на ЖД являются отсутствие сменности, следовательно, периодичности предоставления отдыха ведет к снижению производительности труда; не всегда бывают продуманы вопросы организации питания, доставки к месту работ в жаркое время прохладительных напитков, в холодное время — горячего питания [8].

Все указанное вызывает состояния, связанные с нарушением суточной ритмики (расстройство сна, низкая работоспособность ночью и др.), режима и характера питания, что в свою очередь приводит к обменным нарушениям, избыточному весу, заболеваниям органов пищеварения, нервно-эмоциональному напряжению, вызывающему психосоматические заболевания. Значительное продолжительное психоэмоциональное напряжение в сочетании с частыми острыми стрессовыми ситуациями; интеллектуальные, сенсорные, эмоциональные нагрузки, режим работы у работников локомотивных бригад определяют заболеваемость, которая незначительно зависит от территории ЖД, но количество случаев и дней с

временной утратой трудоспособности у работников локомотивных бригад ДВЖД выше заболеваемости в целом по дороге [5].

Среди работников железнодорожного транспорта, заболеваемость органов пищеварения занимает 3-е ранговое место после заболеваний органов дыхания, костно-мышечной системы и соединительной ткани. Уже в возрасте 20-29 лет общая заболеваемость органов пищеварения у работников локомотивных бригад более чем в 2 раза выше, чем у городского населения. Возрастная тенденция к повышению заболеваемости также характерна для данной профессиональной группы, т. е. в возрасте 50-59 лет заболеваемость у лиц данной профессии выше, чем в возрасте 20-29 лет почти в 2 раза.

В структуре общей заболеваемости 18,5% составляли гастриты, язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки. Данные антропометрических исследований свидетельствуют о том, что выявленные нарушения фактического питания работников локомотивных бригад (жировая ориентация пищевого рациона) приводят к избыточной массе тела у 48,8% работников железнодорожного транспорта [4].

Результаты исследования, проведенного ФГБНУ «НИИ питания», показали, что в питании работников локомотивных бригад имеют место существенные нарушения. Рекомендуемая пищевая ценность суточных рационов питания для машинистов поездов дальнего следования представлена в таблице 1 [12].

Таблица 1

**Рекомендуемая пищевая ценность суточных рационов питания  
для проводников поездов дальнего следования**

<b>Пищевые вещества</b>	<b>Рекомендуемая величина потребления в сутки</b>
<b>Энергетическая ценность (ккал)</b>	
<b>мужчины</b>	2600
<b>Макронутриенты (в г, не более)</b>	
<b>Белки,</b>	70-80
<b>Жиры</b>	85
<b>Углеводы</b>	365

Таким образом, достаточно глубоко изучено влияние на возникновение ЧС условий и факторов вождения, профиля пути, санитарно-гигиенических условий труда новых локомотивов.

Актуальность данного исследования состоит в незначительном количестве научных данных о роли таких факторов риска ЧС по вине человека как гипокинезия, ожирение и снижение возможностей сердечно-сосудистой и дыхательной систем, возрастающий уровень стресса у МЭ влияющих на здоровье и продолжительность жизни МЭ в целом.

**Гипотеза:** низкий коэффициент физической активности наряду с негативными факторами питания у мужчин специальности машинист мужчин специальности машинист электропоезда приводят к ожирению, снижению резервных возможностей дыхательной системы и изменению артериального давления в сторону повышения, что является негативной составляющей «человеческого фактора риска» в возникновении чрезвычайной ситуации

**Цель проекта:** определение взаимосвязей физической активности, степени ожирения с функциональными характеристиками сердечно-сосудистой и дыхательной систем на фоне нутриентного состава питания машинистов электропоезда как негативной составляющей «человеческого фактора риска» в возникновении чрезвычайной ситуации.

### **Задачи проекта**

**1.** Определить анатомо-морфологические характеристики (рост, масса тела, 7-мь кожно-жировых складок, обхваты грудной клетки) мужчин специальности машинист электропоезда.

**2.** Определить функциональные показатели сердечно-сосудистой (частота сердечных сокращений, артериальное давление, возраст сосудов, эластичность крупных артериальных и мелких периферических сосудов) и дыхательной систем (резервный объем легких, экскурсия легких, насыщенность крови кислородом) мужчин специальности машинист электропоезда.

**3.** Выявить уровень стресса в обследуемой группе.

**4.** Определить коэффициент физической активности мужчин специальности машинист электропоезда.

**5.** Найти взаимосвязи между морфофункциональными показателями.

**6.** Выявить нутриентный состав среднесуточного рациона питания мужчин специальности машинист электропоезда.

**Объем и методы исследования.** Проведено обследование мужчин-МЭ (n=63), средний возраст которых составил  $34,00 \pm 5,85$  года, совершающих поездки с максимальной продолжительностью  $10,00 \pm 0,08$  часов (2016-2017 гг.). Были измерены/определены/ рассчитаны:

1) показатели сердечно-сосудистой системы (ЧСС, АД, ПД, возраст сосудов, эластичность крупных артериальных и мелких периферических сосудов, с использованием прибора АнгиоСкан -01П (Россия), (Рис. 1 Б);

2) характеристики дыхательной системы (резервный объем легких, экскурсия легких, насыщенность крови кислородом);

3) рост, масса тела, 7-мь кожно-жировых складок, обхваты грудной клетки МЭ, индекс ИМТ (Рис. 2 Б);

4) уровень стресса в обследуемой группе с использованием прибора АнгиоСкан-01П (Россия);

5) методом анкетирования — режим дня (Рис. 2 А);

6) методом анкетирования — нутриентный состав среднесуточного рациона питания.

7) основной и общий обмен, получен коэффициент физической активности МЭ.

8) средняя продолжительность жизни исследована по результатам медицинской документации (форма № 026/у; 112,63).

9) данные интегрированы с коэффициентом активности и индексом стресса (с использованием прибора АнгиоСкан-01П, Россия).

10) стандартные методы вариационной статистики: определение достоверности полученных данных в условиях стандартного нормального распределения для независимых выборок — по коэффициенту Стьюдента; ошибка оценивалась с помощью средней квадратической ошибки ( $M \pm m$ ).

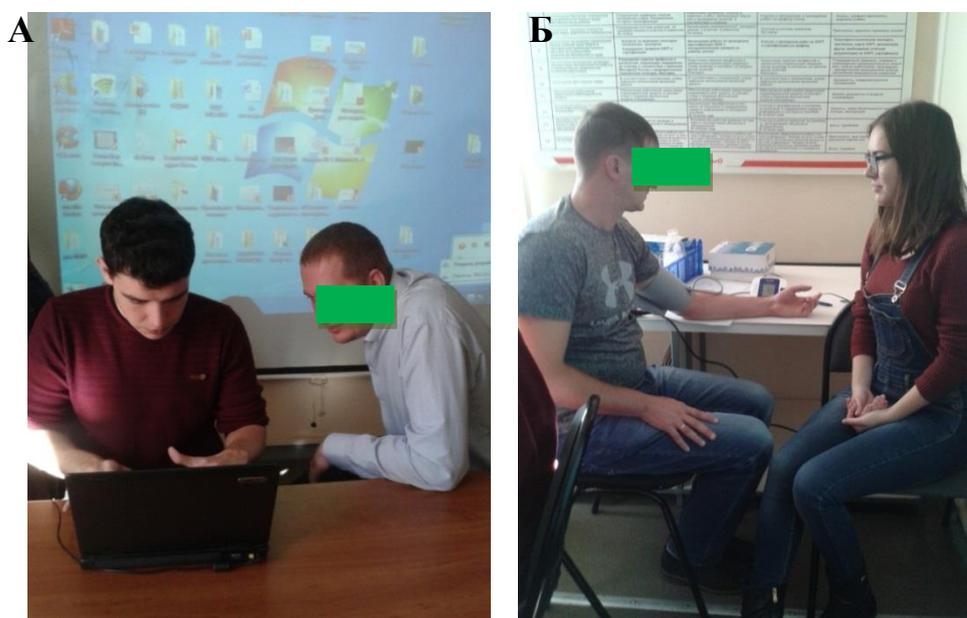


Рисунок 1 А, Б. Рабочие моменты тестирования по определению корневых психофизиологических характеристик с использованием цветового теста Люшера (А) и измерения артериального давления (Б)

*Примечание:* здесь и далее: на фотографиях студенты Естественного факультета Дальневосточного государственного университета путей сообщения, добровольно участвующие в обследовании, и обследуемые — мужчины-машинисты электропоезда;

А — студент 1 курса ЕНИ ДВГУПС - Р. Чехарь;

Б — студентка 2 курса ЕНИ ДВГУПС – В. Никифорова.



Рисунок 2 А, Б. Рабочие моменты анкетирования (А) и измерения толщины кожно-жировых складок (Б)

*Примечание:* А — студенты 3 курса ЕНИ ДВГУПС – А. Полещук (около окна) и Б. Шучковский; Б — студентка 2 курса ЕНИ ДВГУПС – М. Яролиева.

**Результаты исследования.** Практически все виды работ во время поездки машинисты осуществляют, вынужденно, «в положении сидя» из-за размеров и устройства кабины (Рис. 3).



Рисунок 3. Кабина электропоезда (снимок сделан снаружи)

*Примечание:* внутреннее тесное пространство кабины не дает возможности изображения самого машиниста.

Деятельность, связанная с невозможностью активного движения в течение нескольких часов сама по себе является стрессором, кроме тех, которые указаны в литературных источниках (шум, вибрация, напряжение в сочетании с частыми острыми стрессовыми ситуациями; интеллектуальные, сенсорные, эмоциональные нагрузки, режим работы, нарушение суточной ритмики, нарушение режима и характера питания) [1; 4; 6; 8; 9; 12; 13].

Оценка соотношения массы и роста тела была проведена по Индексу Кетле (ИМТ) [10]. Результаты исследования, риск здоровью, согласно классификации ВОЗ оценивается как «от повышенного до высокого» [2], (Табл. 1).

Таблица 1

### Интерпретация индекса массы тела (ИМТ) согласно рекомендациям ВОЗ

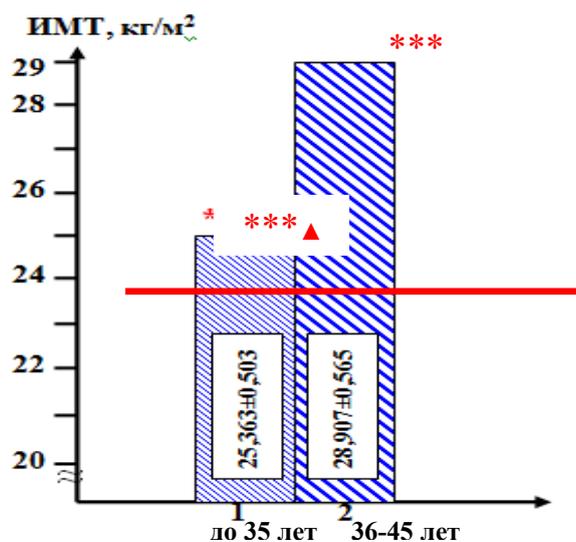
Классификация здоровья в зависимости от ИМТ	ИМТ		Риск здоровью
	18-25 лет	Более 25 лет	
Норма	19,5-22,9	20,0-25,9	Отсутствует
Избыток массы тела	23,0-27,4	26-27,9	Повышенный
Ожирение I степени	27,5-29,9	28,0-30,9	Повышенный
Ожирение II степени	30,0-34,9	31,0-35,9	Высокий
Ожирение III степени	35,0-39,9	36,0-40,9	Очень высокий
Ожирение IV степени	<40,0 и	41,0 и выше	Чрезвычайно высокий
<b>в группе МЭ с I группой физической активности</b>	<b>от 28 до 42</b>		<b>От повышенного риска здоровью до высокого</b>

*Примечание:* данные собственного исследования выделены в рамке; остальные — в соответствии с рекомендациями ВОЗ.

Таким образом, Индекс Кетле (ИМТ) выявил у половины обследуемых ИМТ соответствующее 28,76, т.е. ожирение I степени, соответственно «повышенный риск здоровью».

Согласно мнению некоторых отечественных исследователей-дальневосточников, наиболее стабильной группой считаются машинисты в возрасте от 36 до 45 лет [11]. Однако по результатам нашего исследования, именно в группе 36-45 лет ИМТ соответствует ожирению I степени и достоверно отличается от ИМТ МЭ группы до 35 лет ( $p \leq 0,001$ ). Тем не менее, избыток массы тела отмечен в обеих возрастных группах (Рис. 4).

Таким образом, в группе МЭ, работающих на ДВЖД, у половины обследованных ИМТ соответствует 28,76, т.е. ожирение I степени.



**Рисунок 4. Средний индекс массы тела ( $M \pm m$ ) у мужчин разных возрастных групп, работающих машинистами локомотивов ( $n=63$ )**

*Примечание:* согласно определению ВОЗ, «избыток массы тела (группа 1) — это повышенный риск здоровью; ожирение I/II степени (группа 2) — повышенный/высокий риск здоровью; здесь и далее: достоверные различия с нормативом показаны: при  $p \leq 0,05$  (\*); при  $p \leq 0,01$  (\*\*); при  $p \leq 0,001$  (\*\*\*); достоверные различия между возрастными группами показаны: при  $p \leq 0,05$  (▲); при  $p \leq 0,01$  (▲▲); при  $p \leq 0,001$  (▲▲▲).

Встречается ожирение III и IV степени (13%), что, согласно классификации ВОЗ, составляет очень высокий и чрезмерно высокий риск здоровью.

При определении экскурсии грудной клетки у МЭ ДВРЖД, было установлено, что резервные возможности дыхательной системы резко снижены (Рис. 5).

Средний показатель ЭГК, без учета возраста, составляет  $6,07 \pm 0,58$  см, что соответствует нижней границе физиологического норматива. При этом в группе мужчин МЭ до 35 лет ЭГК ниже норматива и соответствует дизадаптивному состоянию (Рис. 5).

Таким образом, колебания среднего показателя ЭГК составили 5,6-6,3 см. Достоверных различий между возрастными группами не определено. ЭГК не

соответствует пределу физиологического норматива в возрастной группе 20-35 лет, на нижней границе норматива у мужчин МЭ 36-45 лет.

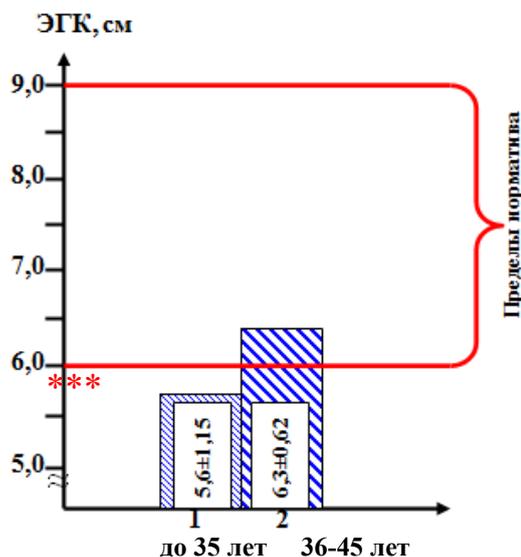


Рисунок 5. Средний показатель ( $M \pm m$ ) экскурсии грудной клетки у мужчин разных возрастных групп, работающих машинистами локомотива ( $n=63$ )

Средний показатель насыщенности крови кислородом ( $SpO_2$ ) значительно достоверно отличается между возрастными группами ( $p \leq 0,001$ ).  $SpO_2$  не соответствует пределам физиологического возрастного норматива в возрастной группе 36-45 лет.

В группе мужчин МЭ 20-35 лет показатель  $SpO_2$ , в среднем соответствует пределам физиологического норматива.

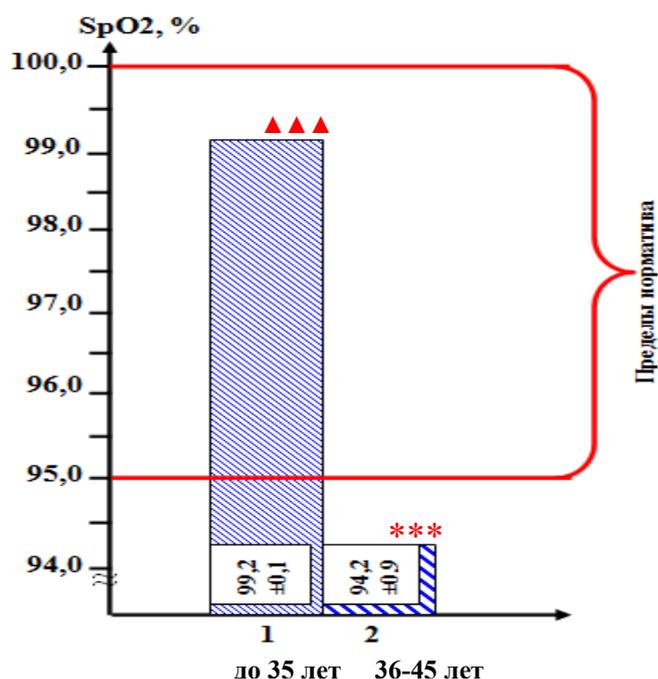


Рисунок 6. Средний показатель ( $M \pm m$ ) насыщенности крови кислородом у мужчин разных возрастных групп, работающих машинистами локомотива ( $n=63$ )

Лишение возможности двигаться приводит к многочисленным морфофизиологическим отклонениям от нормативных показателей в организме мужчин МЭ. Определена достоверная коррелятивная взаимосвязь между низкой насыщенностью крови кислородом и высокой ИМТ (ожирение I степени) у мужчин МЭ возрастной группы 36-45 лет (Рис. 7).

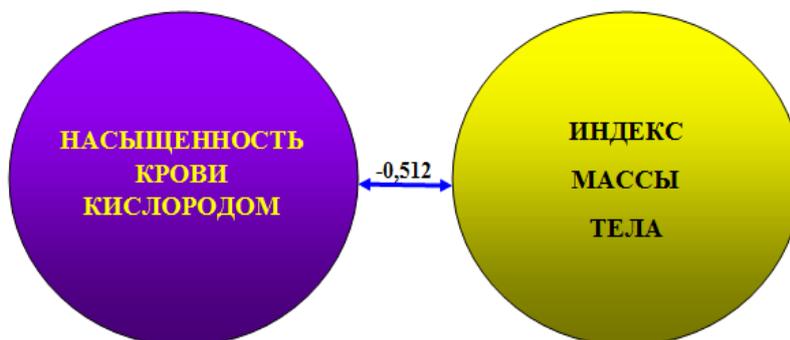


Рисунок 7. Корреляционная взаимосвязь между «Индексом массы тела», указывающим на ожирение, и низкой «Насыщенностью крови кислородом» у мужчин разных возрастных групп (машинисты электропоезда,  $n=63$ )

Проведен анализ средних затрат энергии основного и общего обмена у мужчин младшей (до 35 лет) и старшей (36-45 лет) возрастной группы, МЭ. При этом рассматривались варианты различной продолжительности поездки, энергетические затраты в период отдыха после поездки (обычный режим дня). Отдельные примеры показаны в таблицах 2, 3, 4, 5.

Таблица 2

Энергия основного обмена в сутки мужчины 22 лет — помощника машиниста

Основной обмен Антропометрические показатели	Основной обмен по антропометрическим показателям	Основной обмен в сутки, час
по массе (88 кг), полу	5187	216,125
по росту (188 см), возрасту, полу	3356	139,833

Таблица 3

Энергия основного обмена в сутки мужчины 45 лет — машиниста  
электропоезда

Основной обмен Антропометрические показатели	Основной обмен по антропометрическим показателям	Основной обмен в сутки, час
по массе (85 кг), полу	5363	223,458
по росту (168 см), возрасту, полу	2255	93,958

Таблица 4

Общий обмен в сутки мужчины 22 лет — помощника машиниста, в режиме поездки с максимальной продолжительностью (12 часов)

№	Виды деятельности	Время (в часах)	Увеличение к основному обмену в % (рабочая прибавка)	Общий обмен = $\Sigma$ рабочих прибавок + Основной обмен/сутки
1	Утренний туалет	0,25	40+30+ 30=100	456,083
2	Прием пищи в завтрак	0,25	40+30+ 30+30=130	486,083
3	Поездка в машине к месту работы	0,17	20+60+30+30=140	496,083
4	Медицинский осмотр	0,25	20+30+30=80	436,083
5	Знакомство с книгой замечаний по состоянию тепловоза	0,08	20+60+30=110	466,083
6	По команде машиниста делает приемку локомотива (проверяет состояние тепловоза)	0,33	40+60+30=130	486,083
7	Регламент переговоров с машинистом (наставления)	0,02	20+45+60+30=155	511,083
8	Подготовка локомотива к отправлению (настраивает охлаждение, устраняет неполадки)	0,33	460	816,083
9	Ведение личной книги учета топлива	0,02	20+60+30+30=140	496,083
10	Основная деятельность – поддержание рабочего состояния дизеля	7	320	676,083
11	Прием пищи (чай, булочки, конфеты)	3,89	20+30+30+30=110	466,083
12	Прием пищи- Обед (берут с собой)	0,33	20+30+30+30=110	466,083
13	Сдача локомотива в Депо	0,33	260	616,083
14	Прохождение теста на алкоголь и наркотики (кровь или моча на анализ)	0,25	20+30+30=80	436,083
15	Поездка в машине к месту проживания	0,17	20+60+30+30=140	496,083
16	Вечерний туалет	0,5	180	536,083
17	Прием пищи	0,5	150	506,083
18	Сон	11,17	-	
Итого:			2795	8848,411

Таблица 5

Общий обмен в сутки мужчины 45 лет — машиниста электропоезда в режиме поездки с максимальной продолжительностью (12 часов)

№	Виды деятельности	Время (в часах)	Увеличение к основному обмену в % (рабочая прибавка)	Общий обмен = $\sum$ рабочих прибавок + Основной обмен/сутки
1	Утренний туалет	0,25	40+30+ 30=100	417,416
2	Прием пищи в завтрак	0,25	40+30+ 30+30=130	447,416
3	Поездка в машине к месту работы	0,17	20+60+30+30=140	457,416
4	Медицинский осмотр за 1 час перед поездкой	0,25	20+30+30=80	397,416
5	Знакомство с книгой замечаний по состоянию тепловоза	0,08	20+60+30=110	427,416
6	Проверяет пульт управления на наличие неполадок	0,33	40+60+30=130	447,416
7	Регламент переговоров с помощником машиниста (наставления)	0,02	20+45+60+30=155	472,416
8	Контроль за состоянием технологического оборудования (сидя)	0,33	210	527,416
9	Основная деятельность – управление тепловозом	10,66	60+30+30+40+20=180	497,416
10	Прием пищи- Обед (берут с собой)	0,33	20+30+30+30=110	427,416
11	Сдача локомотива в Депо	0,33	260	577,416
12	Прохождение теста на алкоголь и наркотики (кровь или моча на анализ)	0,25	20+30+30=80	397,416
13	Поездка в машине к месту проживания	0,17	20+60+30+30=140	457,416
14	Вечерний туалет	0,5	180	497,416
15	Прием пищи	0,5	150	467,416
16	Сон	9,58	-	
Итого:			2135	7096,24

В результате проведенного исследования по установлению основного и общего обмена, и после расчета соответствующего коэффициента, у машинистов была выявлена очень слабая физическая активность.

Очень низкий коэффициент физической активности — 1,36, не дотягивает до I группы физической активности (1,4) — категория мужчин, занимающихся интеллектуальным трудом, в то время как водители транспорта — 3-я группа физической активности — работники физического труда средней тяжести, и средний коэффициент активности 1,9. Колебание коэффициента физической активности составляет от 1,13 до 1,46. Низкий коэффициент физической активности в условиях труда машинистов локомотивов ведет к различным негативным последствиям:

- Во-первых, при таком коэффициенте интенсивности труда (1,36) должен быть резко снижена калорийность среднесуточного рациона, т.е. снижено количество основных пищевых веществ — белков, жиров, углеводов.

- Во-вторых, невыполнение «драконовских» диетологических требований неизбежно ведет к ожирению, которому подвержены 89% мужчин-машинистов (средний возраст 32-35 лет).

- В-третьих, уменьшение количества пищи приводит к снижению поступления витаминов и микроэлементов, являющихся экоградиентными характеристиками.

Для обследуемой группы МЭ, в условиях данного режима дня, энергозатрат и коэффициент физических затрат ниже, чем для I группы физической активности (Табл. 6).

Таблица 6

Среднее количество макронутриентов (белки, жиры, углеводы), рекомендуемое в сутки для обследованных мужчин с I группой физической, в сравнении с мужчинами II, III, VI и V групп физической активности

<u>Нутриенты</u>	<u>Белки (г/сут.)</u>	<u>Жиры (г/сут.)</u>	<u>Углеводы (г/сут.)</u>
Норматив(1,4)			
I группа физической активности	65	70	303
II группа физической активности	72	83	366
III группа физической активности	84	98	432
VI группа физической активности	96	113	499
V группа физической активности	101	137	524
Реальное содержание нутриентов в фактическом среднесуточном рационе питания	142,13±2,35	189,22±73,69	346,43±148,12
Рекомендуемое (1,36) количество в сутки	63,14±5,31	68,00±3,85	294,34±15,33

*Примечание:* (1 колонка) 1,4, 1,36 — коэффициенты физической активности: I группы физической активности: работники умственного труда, с минимальными энергетическими затратами на жизнедеятельность — все профессии, связанные с умственной деятельностью: руководители, студенты, секретари, делопроизводители, преподаватели, научные работники (общий обмен: 9799-10265кДж/сут.), и обследуемой группы — мужчины МЭ.

Определена физиологическая потребность энергетических затрат, которая соответствует 7972,326 кДж/сут., что не совпадает с нормативным показателем для III группы физической активности (13816,44 кДж/сут.), к которой должны относиться водители транспорта.

Исходя из реальных энергозатрат в сутки мужчин МЭ, необходимо снизить в суточном рационе питания количество макронутриентов: белков — на 33,0%, жиров — на 44,1%, а углеводов — на 46,9%, в сравнении со среднесуточным рационом питания для мужчин III группы физической

активности (работники физического труда средней тяжести: станочники, слесари, хирурги, продавцы, водители транспорта (общий обмен: 12360-13827 кДж/сут.) (Табл. 6).

В сравнении с реальным составом макронутриентов в среднесуточном рационе питания мужчин МЭ, избыток белков, жиров и углеводов составил: 44,4%, 35,9% и 84,9%, соответственно ( $p \leq 0,001$ ;  $p \leq 0,001$ ;  $p \leq 0,001$ ), (Рис. 8).

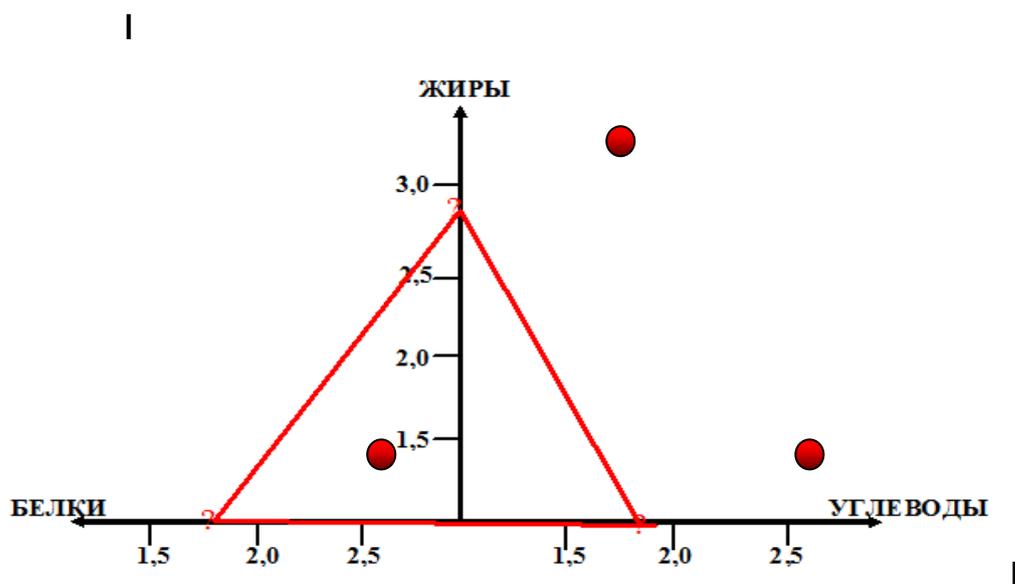


Рисунок 8. Содержание белков, жиров, углеводов (кол-во раз от физиологического норматива) в сравнении с физиологическим нормативом (III группа физической активности) в среднесуточном рационе питания мужчин-машинистов локомотива ( $n=63$ ), работающих на ДВЖД

Среднее количество белков, жиров и углеводов в суточном рационе фактического питания машинистов электропоезда превышает гигиенические нормативы в 1,7; 1,9 белков и жиров на 0,2 составляют дефицит углеводов. Избыточное питание также является одним из основных факторов риска развития ожирения и гипертензии

Определена достоверная корреляционная взаимосвязь избыточности нутриентного состава питания высоким индексом стресса ( $265 \pm 34$ ) и 100% проявляющейся I/II степенью ожирения.

В условиях психофизиологического напряжения, двигательная активность на уровне I группы является недостаточной, что сказывается на уровне стресса (в среднем,  $\geq 263$ , при нормативе до 100), (Рис. 8).

У мужчин-машинистов локомотива, в условиях психофизиологического напряжения, отягощенного:

- 1) ожирением (I-IV степени),
- 2) низким показателем экскурсии грудной клетки,
- 3) недостаточной насыщенностью крови кислородом (94,2%), особенно в возрастной группе 36-45 лет,

— средний уровень стресса  $\geq 241,12$  (при физиологическом нормативе — от 20 до 100), (Рис. 9).

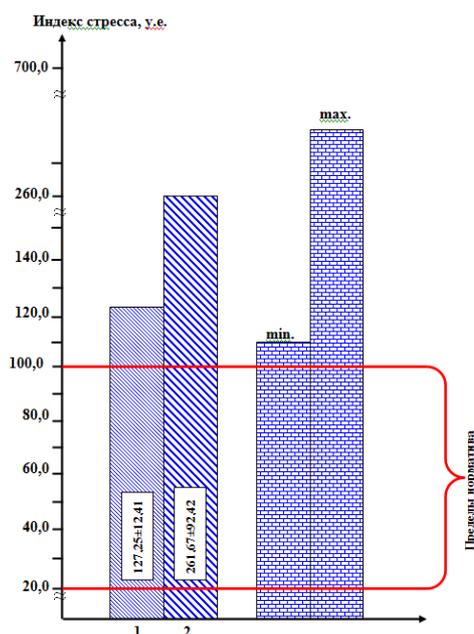


Рисунок 9. Средние ( $M \pm m$ ), минимальный и максимальный показатели индекса стресса по возрастным группам у мужчин, работающих машинистами локомотива ( $n=63$ )

При этом минимальный показатель уровня стресса также не укладывается в пределы физиологического норматива, а максимальный показатель = 684.

Таким образом, нами определено, что физиологический стресс в организме мужчин МЭ определяется многими факторами, но низкая физическая активность является триггерной точкой для развития практически всех отклонений сердечно-сосудистой и дыхательной систем.

Практические рекомендации включают, среди прочих (активный отдых в периоды между поездками и т.д.), необходимость в дизайнерском усовершенствовании кабины машинистов с принудительными степ-системами и т.д., увеличивающими общий обмен и повышающие таким образом, способность поддерживать массу тела, давление, дыхательные объемы в пределах физиологического норматива.

Необходимо также отметить, что на фоне средней продолжительности жизни ♂ в РФ 65,29 лет, у мужчин-машинистов локомотива ОАО РЖД — 55-60 лет.

## **ВЫВОДЫ**

1. У машинистов электропоезда определена I группа физической активности, что соответствует населению с инвалидностью 1-2-й групп.
2. Низкая физическая активность является одной из главных причин ожирения, с преобладающей II степенью.
3. Низкая физическая активность и ожирение являются триггерами высокого артериального давления, которое вне поездки составляет 133,13 мм.рт.ст.
4. В условиях психофизиологического напряжения, двигательная активность на уровне I группы является недостаточной, что сказывается на уровне стресса: в среднем  $\geq 263$  (при нормативе до 100).
5. При оценке профессионального риска, ожирение и повышенное систолическое давление и, особенно, низкую физическую активность, можно, рассматривать как негативную составляющую «человеческого фактора» риска

возникновения чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте. Условия работы диктуют необходимость в дизайнерском усовершенствовании кабины машинистов с принудительными степ-системами и т.д., увеличивающими общий обмен и повышающими способность поддерживать массу тела, давление, дыхательные объемы в пределах физиологического норматива.

#### **Библиографический список**

1. Бережной А.Л., Пустоветов М.Ю., Солтус К.П. Способ предаварийной диагностики оборудования электровоза // патент на изобретение RUS 2379205 06.08.2008.
2. Васильевой М.В., Новикова А.А. Изучение распространения болезни ожирения в современном Мире // Биомедицинская инженерия и электроника, 2013. — №2. — С. 51-54.
3. Волохина А.Т., Глебова Е.В., Клейман И.Б. и др. Анализ производственной деятельности персонала // Безопасность в техносфере, 2014. — Т. 3. — №.1 (46). — С. 45-52.
4. Живаев А.С. Физиологические аспекты обеспечения безопасности движения в высокоскоростном движении // Актуальные проблемы транспортной медицины, 2008. — № 1 (11). — С. 076-081.
5. Козлов А.И. Пища людей / Серия: Наука для всех. — М.: Изд-во ВЕК, 2005 — 272 с.
6. Копейкин Н.Ф., Станкевич А.И., Бондарева А.Р. и др. Гипертоническая болезнь как профзаболевание работников локомотивных бригад // Гигиена и санитария, 2011. — № 3. — С. 28-30.
7. Михеев В.А., Чулков А.В., Гришина Ю.Б. и др. Режимы работы магистральных тепловозов на восточном полигоне железных дорог России // Научные труды SWorld, 2009. — Т. 1. — № 2. — С. 35-36.

8. Одинцов Л.Г., Чумак С.П., Виноградов А.Ю. и др. Технология ведения аварийно-спасательных работ при ликвидации чрезвычайных ситуаций // МЧС России, 2011. — М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011. — С. 152-177 (286 с.).

9. Пономарева С.Б. Гипертоническая болезнь у работников локомотивных бригад, по данным НУЗ «Отделенческая больница на станции Тында ОАО «РЖД» // Амурский медицинский журнал, 2014. — № 2(6). — С. 21-24.

10. Практикум по нормальной физиологии / под ред. В.И. Торшина. — М: Изд-во РУДН, 2004. — 609 с.

11. Селедцова А.Г., Левкова Е.А. Возрастная динамика профессионально-важных качеств машинистов // сб. тр. конф. «Повышение эффективности транспортной системы региона: проблемы и перспективы», Хабаровск, 21-22 октября 2015 г. — Хабаровск: ДВГУПС, 2015. — С. 142-148

12. Трошина М.Ю. Профессиональные факторы и проблемы организации рационального питания работников основных профессий железнодорожного транспорта // Сб. ст. к 90-летию ВНИИЖГ (1925-2015) «История становления и развития отечественного центра гигиенической науки и здравоохранения на железнодорожном транспорте». — М., 2015. — С. 170-173.

13. Цфасман А.З. Внезапная сердечная смерть (и ее профессиональные аспекты). — М.:МЦНМО, 2002. — 248 с.

14. Шихер Я.Г., Меерзон Ю.М., Ронзнер А.Г. и др. Устройство автоматической локомотивной сигнализации и автостопа // патент на полезную модель RUS 79862 28.07.2008.

15. Самсонкін В.М., Мойсеєнко В.І. Безпека руху у поїздів на залізничному транспорті. — Київ: Видавництво «Каравела», 2014. — 46 с.

УДК 614. 8 - 052: 656. 2

## Тесленко И.М., Куленко Е.А. Наезд подвижного состава - основной вид смертельного производственного травматизма работников ОАО «РЖД»

Rolling stock rolling - the main type of fatal industrial injuries of JSC «Russian Railways» employees

**Тесленко Ирина Михайловна,**

Кандидат технических наук, доцент кафедры Техносферная безопасность,  
Дальневосточный государственный университет путей сообщения

**Куленко Елена Александровна,**

Магистрант кафедры Техносферная безопасность,  
Дальневосточный государственный университет путей сообщения  
Teslenko Irina Mikhailovna,

Ph. D., Associate Professor, Department of Technospheric Safety,  
Far Eastern State Transport University

Kulenko Elena Aleksandrovna,

Graduate student, Department of Technospheric Safety  
Far Eastern State Transport University

***Аннотация.** В работе проанализирован производственный травматизм в ОАО «РЖД» за период с 2003 года по 2016 год. Рассмотрена динамика коэффициента частоты общего и смертельного производственного травматизма. Выявлены основные виды происшествий в ОАО «РЖД», проведен анализ производственного травматизма от наезда подвижного состава по Дирекциям, по видам выполняемых работ. Выявлены причины производственного травматизма от наезда подвижного состава.*

***Ключевые слова:** ОАО «РЖД», производственный травматизм, коэффициент частоты производственного травматизма, дирекции, виды выполняемых работ, причины производственного травматизма.*

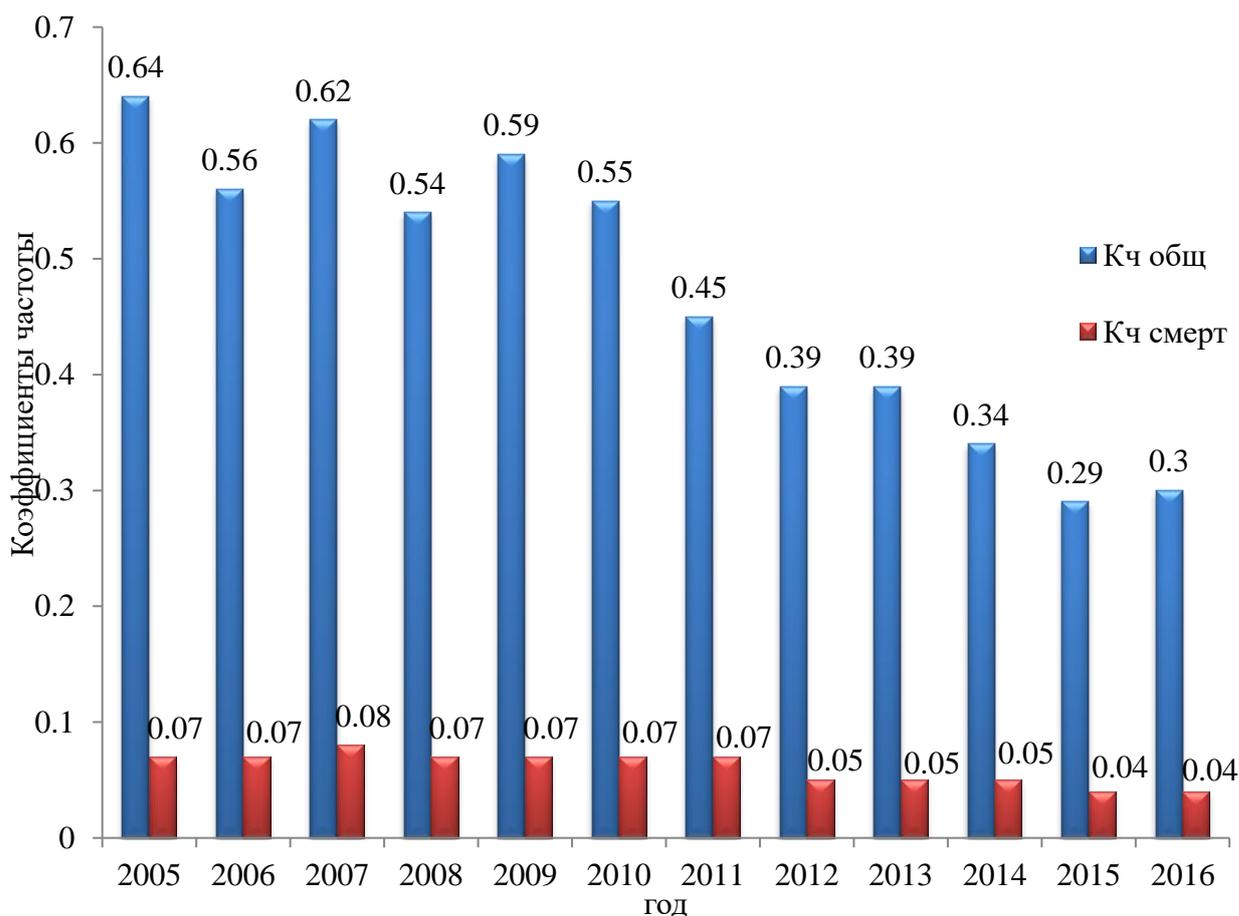
***Abstract.** In operation industrial injuries in JSC "Russian Railways" from 2003 for 2016 are analyzed. Dynamics of coefficient of frequency of the general and fatal industrial injuries is considered. Main types of incidents in JSC "Russian Railways" are revealed, the analysis of industrial injuries from zoom-in of the rolling stock on Directorates, by types of the performed works is carried out. The reasons of industrial injuries from zoom-in of the rolling stock are established.*

***Keywords:** JSC "Russian Railways", industrial injuries, coefficient of frequency industrial injuries, directorate, types of work performed, reasons of industrial injuries.*

**Железнодорожный транспорт имеет особое значение для России. Он является важнейшей составной частью экономической системы страны. Но именно железнодорожный транспорт является потенциальным источником случаев производственного травматизма с большим числом пострадавших, значительным материальным ущербом и отраслью с повышенной опасностью.**

**В ОАО «РЖД» за период с 2003 года по 2016 год травмировано 8248 человек, в**

том числе 1031 человек со смертельным исходом и 2239 человек с тяжелым исходом. Динамика коэффициента частоты общего производственного травматизма в ОАО «РЖД» с 2009 по 2016 год имеет тенденцию к снижению [1,2], коэффициент частоты со смертельным исходом с 2004 года по 2016 год остается величиной практически постоянной от 0,07 до 0,04 (рис.1).



**Рисунок 1. Динамика коэффициента частоты производственного травматизма в ОАО «РЖД» за период с 2005 года по 2016 года**

Основными видами происшествий в ОАО «РЖД» являются: наезд подвижного состава, поражение электрическим током, дорожно-транспортные происшествия, падение с высоты. Всего за период с 2007 года по 2016 год по основным видам происшествий травмировано 1644 человека, в том числе 442 человека со смертельным исходом (рис.2).

**Проведя анализ общего производственного травматизма по основным видам происшествий в ОАО «РЖД» за период с 2007 года по 2016 год можно сделать вывод:**

**- первое место занимает падение с высоты - пострадал 551 человек, что составляет 33 % от общего числа пострадавших;**

**- второе место – дорожно-транспортные происшествия – пострадало 448 человек (30 %);**

**- третье место – наезд подвижного состава – пострадало 339 человек (22 %);**

**- четвертое место – поражение электрическим током – пострадало 235 человек (15 %).**

**Динамика производственного травматизма со смертельным исходом по основным видам происшествий показала:**

**- первое место занимает наезд подвижного состава - пострадало 180 человек, что составляет 41 % от общего числа смертельно травмированных;**

**- второе место – поражение электрическим током – пострадало 110 человек (25 %);**

**- третье место – дорожно-транспортные происшествия – пострадал 91 человек (20 %);**

**- четвертое место – падение с высоты – пострадал 61 человек (14 %).**

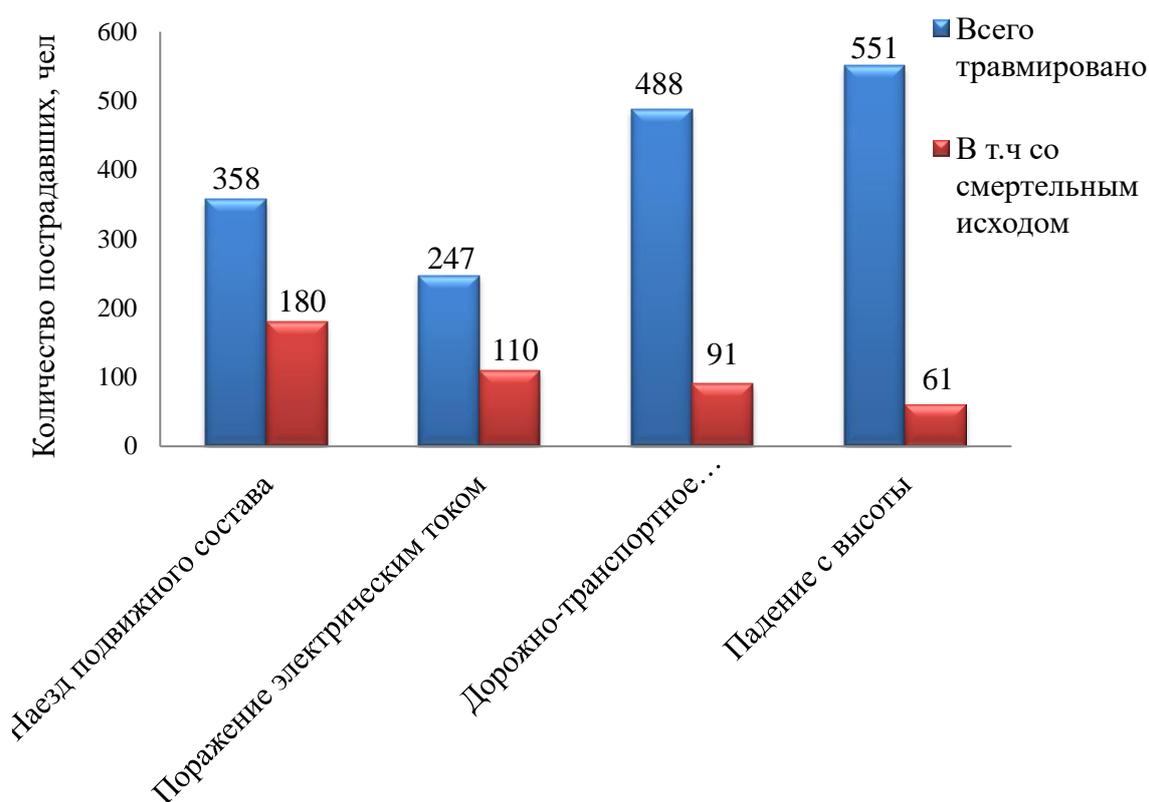


Рисунок 2. Динамика основных видов происшествий в ОАО «РЖД» за период с 2007 года по 2016 год

В хозяйствах ОАО «РЖД» от наезда подвижного состава травмировано 468 человек, из них 233 человека со смертельным исходом, что составляет 48,8 % от общего количества пострадавших от наезда подвижного состава.

За анализируемый период наибольшее количество работников травмированных от наезда подвижного состава допущено: Дирекцией пути и сооружений (ЦП) - 190 человек, что составляет 40,5% от общего количества пострадавших от наезда подвижного состава; Дирекцией управления движением (ЦД) - 89 человек (19%); Дирекцией вагонного хозяйства (ЦВ) - 57 человек (12,2%); Дирекцией локомотивного хозяйства (ЦЛ) - 36 человек (7,7%); Дирекцией ремонта пути (ЦДРП) - 34 человека (7,3%).

**Анализ случаев наезда подвижного состава в ОАО «РЖД» по видам выполняемых работ за период с 2011 года по 2015 год показал, что пострадавшие выполняли следующие работы:**

- 1) текущее содержание и ремонт пути – 122 пострадавших, что составляет 36 % от общего количества пострадавших;**
- 2) прием и отправление поездов, маневровая работа – 102 пострадавших (30 %)**
- 3) техническое обслуживание вагонов – 21 пострадавший (6 %);**
- 4) обслуживание и эксплуатация тягового подвижного состава – 17 пострадавших (5 %);**
- 5) техническое обслуживание и ремонт устройств системы централизации блокировки и связи – 15 пострадавших (5 %);**
- 6) техническое обслуживание и ремонт контактной сети, линий энергоснабжения – 8 пострадавших (2 %);**
- 7) техническое обслуживание и ремонт подвижного состава – 7 пострадавших (2 %);**
- 8) погрузочно-разгрузочные работы – 4 пострадавших (1 %);**
- 9) прочие – 43 пострадавших (13 %).**

**Проведя анализ случаев наезда подвижного состава общего производственного травматизма в ОАО «РЖД» по видам выполняемых работ можно сделать вывод о том, что на работы по текущему содержанию и ремонту пути и операции по приему или отправлению поездов и маневровой работе приходится 66 % пострадавших от всех видов выполняемых работ.**

**Динамика причин производственного травматизма от наезда подвижного состава в ОАО «РЖД» показывает, что травмы происходят из-за совокупности технических и организационных причин.**

**Распределение причин имеет следующий вид:**

**1) Организационные причины – 283 пострадавших, что составляет 90 % общего производственного травматизма от наезда подвижного состава в ОАО «РЖД»:**

- неудовлетворительная организация и контроль за производством работ (28%);**
- нарушение технологического процесса (27 %);**
- нарушение трудовой и производственной дисциплины (23 %);**
- нарушение требований безопасности при эксплуатации подвижного состава (7 %);**
- недостатки в проведении обучения требований безопасности и охраны труда (2 %);**
- неприменение средств индивидуальной защиты (1 %);**
- неудовлетворительное содержание рабочего места (1 %);**
- неудовлетворительное содержание зданий и сооружений (1 %);**

**2) Технические причины – 33 пострадавших, что составляет 10 % общего производственного травматизма от наезда подвижного состава в ОАО «РЖД»:**

- несовершенство технологических процессов (3 %);**
- прочие (6 %);**
- эксплуатация неисправных машин и механизмов (1 %).**

**В ОАО «РЖД» ежегодно проводятся мероприятия по предупреждению наездов подвижного состава, их объем финансирования представлен в таблице 1. Исходя из представленных данных, можно сделать вывод о том, что мероприятия, призванные уменьшить производственный травматизм в ОАО**

«РЖД» от наезда подвижного состава поддерживают показатели производственного травматизма со смертельным исходом на существующем уровне и не обеспечивают его устойчивого снижения [3]. Необходимо выявить приоритетные направления позволяющие снизить риск смертельного травматизма от наезда подвижного состава и повысить эффективность и обоснованность их финансирования.

Таблица 1

Динамика производственного травматизма от наезда подвижного состава в ОАО «РЖД» за период с 2010 года по 2016 год и объемы финансирования мероприятий по его предупреждению

ОАО «РЖД»	Количество травмированных, чел.							Всего
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	
Всего пострадавших, чел.	41	47	31	25	27	22	19	212
В том числе со смертельным исходом.	19	25	12	13	11	13	10	103
Затрачено на мероприятия по предупреждению наездов, млн. руб.	407,8	631,0	696,3	690,0	1367,6	1707,8	1950,9	7451,4

#### Библиографический список

1. Анализ состояния охраны труда в ОАО "РЖД". [Электронный ресурс]. - URL: <http://rly.su/uk/node/6882> (дата обращения: 28.10.2017).
2. Официальный сайт ОАО «РЖД». [Электронный ресурс]. - URL: <http://rzd.ru> (дата обращения: 28.10.2017).

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>

**3. Тесленко И.М. Повышение безопасности труда на железнодорожном транспорте: На примере Дальневосточной железной дороги: Дис. ...канд. техн. наук: 05.26.01. – Хабаровск, 2005. – 243 с.**

Электронное научное издание

## **ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИИ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

сборник научных трудов по материалам II Международного технического форума  
молодых ученых

**2 ноября 2017 г.**

По вопросам и замечаниям к изданию, а также предложениям к сотрудничеству  
обращаться по электронной почте [mail@scipro.ru](mailto:mail@scipro.ru)

**Подготовлено с авторских оригиналов**



ISBN 978-1-370-13677-3



9 781370 136773

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 7.7. Тираж 100 экз.  
Издательство НОО Профессиональная наука  
Нижний Новгород, ул. Ломоносова 9, офис 309  
Издательство Smashwords, Inc. 15951 Los Gatos Blvd.,  
Ste 16, USA