

ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО КАЗЕННОГО
ВОЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ РАКЕТНЫХ ВОЙСК
СТРАТЕГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИМЕНИ ПЕТРА ВЕЛИКОГО»
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В ГОРОДЕ СЕРПУХОВЕ

На правах рукописи



ГВОЗД КОНСТАНТИН ИВАНОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБУЕМОГО КОММУНИКАЦИОННОГО РЕСУРСА
ЦИФРОВОЙ СЕТИ РАДИОСВЯЗИ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С
ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В ЗОНЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ
В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ**

Специальность: 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникации

Д и с с е р т а ц и я
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

доктор технических наук, профессор Смирнов Д.В.

Серпухов – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Введение.	4
1. Анализ цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех и выбор направлений исследования.	13
1.1 Особенности информационных сетей существующих АСУ народнохозяйственного назначения.	13
1.2. Анализ архитектуры существующих сетей радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации.	25
1.3. Обоснование архитектуры современной цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации при реализации в ней временного разделения каналов.	33
1.4. Системный анализ помех в зоне чрезвычайной ситуации и специфика их влияния на приемо-передающий комплекс с временным разделением каналов.	39
1.4.1. Анализ типовых помех в зоне чрезвычайной ситуации.	39
1.4.2. Специфика влияния помех на приемо-передающий комплекс с временным разделением каналов.	46
1.5. Постановка задачи нахождения ТКР ППК цифровой сети радиосвязи метрового диапазона в зоне ЧС в условиях помех и направления ее решения.	50
2. Моделирование процесса обслуживания информационной нагрузки абонентов в базовом сегменте цифровой УКВ радиосети в условиях помеховых воздействий.	61

2. 1. Анализ информационной нагрузки, приходящейся на направления связи базового сегмента УКВ радиосети от всех его абонентов в условиях помех.	61
2. 2. Математическая модель функционирования направления связи базового сегмента цифровой УКВ радиосети с рокадными связями в условиях поражения и восстановления каналов.	68
2.2.1 Случай ординарных потоков занятия-освобождения каналов и ординарных потоков поражения-восстановления каналов.	68
2.2.2 Случай неординарных потоков занятия-освобождения каналов и неординарных потоков поражения-восстановления каналов.	89
3. Методика нахождения и расчет требуемого коммуникационного ресурса цифровой УКВ радиосети для подвижных объектов зоны чрезвычайной ситуации в условиях помех.	96
3. 1. Расчет требуемого коммуникационного ресурса цифровой УКВ радиосети для подвижных объектов зоны чрезвычайной ситуации в условиях помех.	96
3. 2. Методика расчета минимально достаточной пропускной способности направлений связи цифровой УКВ радиосети абонентов с заданным качеством их функционирования в условиях неординарного поражения и восстановления каналов.	111
3. 3. Технические решения по использованию свободного ТКР направлений связи цифровой УКВ радиосети для повышения помехоустойчивости каналов.	112
Заключение.	119
Список сокращений и условных обозначений.	123
Список литературы.	126

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы и в настоящее время в результате интенсивного развития информационных технологий объем информации, циркулирующей в информационных системах, возрастает в геометрической прогрессии. Современным руководителям силовых структур, промышленных организаций и их обеспечивающих структурных подразделений необходимо оперативно получать максимально возможный объем актуальной информации для принятия ответственных управленческих решений. Для управления подвижными объектами (ПО) широко используются радиоканалы, на базе которых разворачиваются сети радиосвязи различных диапазонов. В МЧС России создана и функционирует единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), в рамках которой для обеспечения связи в зонах чрезвычайных ситуаций (ЧС) с ПО разворачиваются сети радиосвязи метрового диапазона. Они предназначены для решения задач мониторинга (разведки) и технического обслуживания контролируемых удаленных элементов инфраструктуры предприятий, организаций и корпораций, а также для проведения аварийно-спасательных работ (АСР) и других неотложных работ в зонах с ЧС, при этом формируются мобильные группы и подразделения (например, аварийно-спасательные формирования (АСФ)), оснащенные необходимым оборудованием, транспортом, средствами управления и связи [1,18, 22,109,111-114,118].

Как правило, такие сети имеют иерархическую структуру. Узлы коммутации (УК) с размещенным на них персоналом операторов представляют собой звенья управления (ЗУ), уровень которых определяется уровнем иерархии. Для обеспечения высокой функциональной готовности сети радиосвязи в современных изменяющихся условиях, требуется модернизация как технических средств УК, так и алгоритмов функционирования ее элементов. Необходимо отметить, что на современном этапе развития информационных систем в рамках РСЧС выделяют и

исследуют автоматизированные системы управления (АСУ) и системы поддержки принятия решений (СППР)[114,118,126].

При выполнении задач ПО в зоне ЧС наиболее востребованной составляющей общей системы радиосвязи, в настоящее время, является система радиосвязи метрового диапазона, которая базируется на существующих средствах радиосвязи метрового диапазона типа Р-168 («Акведук»), Р-163, Р-159, радиосредства семейства «Такт», «Тетра» и др. Совокупность передающего и приемного устройства одного радиоканала, размещенных на одном УК, рассматривается как приемо-передающий комплекс (ППК). Множество таких ППК формируют радиосеть, которая структурно делится на типовые сегменты (ТС)[128].

В настоящее время ведутся работы по созданию цифрового ППК метрового диапазона, обеспечивающего передачу информации в радиоканале со скоростями от 16 до 19,2 Кбит/с и выше. Такой ППК должен быть способен формировать единую информационную сеть в интересах таких основных абонентов: сеть оперативного речевого обмена (речь), сеть межкомпьютерного обмена (МКО, передача данных АСУ). Указанные абоненты используют выделяемые каналы в режиме их предоставления по требованию (ПКТ). Кроме того, с помощью данного ППК предполагается решать задачи по организации резервных (дублирующих) радиоканалов для проводных каналов связи в районах (зонах ЧС) выполнения задач ПО[114].

Коммуникационный ресурс ППК представляет собой скорость передачи цифрового группового потока, которая используется в каждый момент времени совокупностью отдельных абонентов в виде требуемого числа ВО в режиме ПКТ. Поток реализуется способом временного разделения кадра на временные окна (ВО), число которых определяется числом абонентов и их трафиком, а также качеством его обслуживания. Формирование сигналов ВО на передающей стороне, а также их прием и обработка на приемной стороне осуществляется методами цифровой обработки сигналов. При этом используются цифровые сигналы типа многократной фазовой манипуляции

(от ФМ-2 до ФМ-64), а также сигналы с квадратурной амплитудной манипуляцией (КАМ-16,32,64).

Особенностью ППК является то, что, во-первых, его пропускная способность (коммуникационный ресурс) есть цифровой поток информации (по передаче и приему), во-вторых, этот поток является ресурсом, разделяемым во времени (по передаче и приему), в-третьих, формирование сигналов на передающей стороне и их прием и обработка на приемной стороне осуществляется методами цифровой обработки сигналов. Каналы связи для пользователей с требуемой скоростью передачи организуются из ВО временного кадра путем объединения требуемого их числа. Как правило, один временной слот создает канал со скоростью передачи 1200 бит/с.

Анализ показал, что в зонах ЧС возможно появление помех различной природы, снижающих отношение сигнал/шум на входе демодулятора ППК в пределах от двух до десяти раз. Обеспечение заданной помехозащищенности радиоканалов при той же скорости передачи абонента путем повышения сигнал/шум осуществляется за счет адаптации в виде: а) дополнительного объединения двух и более временных слотов в кадре передачи для формирования одного рабочего канала связи; б) снижением кратности модуляции цифровых сигналов в групповом потоке и др.[87,97,135].

Однако, такой подход борьбы с помехами приводит к снижению общего числа рабочих каналов в кадре, что может ухудшить качество обслуживания абонентов, работающих в режиме ПКТ, по вероятности отказа в обслуживании. Следует отметить, что в ходе воздействия по цифровому радиоканалу помех различного типа пропускная способность направления связи (скорость разделяемого цифрового потока) снижается до некоторой величины, а при очень сильном воздействии может быть сведена к нулю. Заложенный в таких ППК механизм адаптации к помеховой обстановке позволяет частично или полностью отстроиться от воздействующих помех даже в ходе информационного обмена. Эти динамические особенности функционирования перспективных цифровых ППК должны учитываться при

формировании на их основе цифровых сетей передачи информации основных пользователей сети.

Одной из важных задач построения цифровой УКВ радиосети с ПКТ с трафиком типа «точка-точка» является задача обоснования пропускной способности (скорости общего цифрового потока на передачу и прием) ее узловых и оконечных ППК, обеспечивающей заданное качество информационного обмена основных пользователей сети (АСУ, речь, МКО). Данная задача является задачей обоснования минимально достаточного цифрового коммуникационного ресурса (ТКР) узлов, а, следовательно, и всей информационной сети в целом. Такой коммуникационный ресурс рассматривается как известная в теории телетрафика полнодоступная коммутационная схема (ПКС) с учетом поражения и восстановления каналов.

В связи с вышеизложенным, возникает следующее **противоречие**: с одной стороны, необходимость повышения качества информационного обмена основных абонентов сети требует увеличения пропускной способности направлений радиосвязи, с другой стороны, коммуникационный ресурс реального ППК ограничен его потенциальными техническими возможностями и возможностями помех по подавлению его сигналов.

Разрешение этого противоречия заключается в разработке научно-методического аппарата расчета минимально достаточного коммуникационного ресурса ППК, обеспечивающего заданное качество информационного обмена абонентов в условиях поражения и восстановления каналов.

Исходя из изложенного, актуальной является задача научно-методического аппарата расчета минимально достаточного коммуникационного ресурса типовых цифровых приемо-передающих комплексов УКВ-радиосвязи, формирующих сеть основных абонентов сети в зоне чрезвычайной ситуации в режиме ПКТ с заданным качеством функционирования в условиях поражения и восстановления каналов.

Поэтому актуальной является тема диссертационной работы «Обоснование требуемого коммуникационного ресурса цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех».

Целью работы является минимизация коммуникационного ресурса ППК цифровой УКВ-радиосети, обеспечивающего с заданным качеством информационный обмен основных абонентов сети в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех.

Объектом исследования является коммуникационный ресурс перспективных цифровых ППК УКВ радиосети, функционирующей в интересах основных абонентов сети в зоне чрезвычайной ситуации в режиме ПКТ в условиях помех.

Предметом исследования является методика нахождения требуемого коммуникационного ресурса направлений связи УКВ-радиосети, функционирующей в режиме ПКТ в интересах абонентов сети в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех.

Научной задачей является разработка научно-методического аппарата расчета минимально достаточного коммуникационного ресурса типовых цифровых приемо-передающих комплексов УКВ-радиосвязи, формирующих сеть основных абонентов сети в зоне чрезвычайной ситуации в режиме ПКТ с заданным качеством функционирования в условиях поражения и восстановления каналов.

Для решения научной задачи в диссертации ставятся и решаются следующие подзадачи:

1. Анализ информационной нагрузки, приходящейся на направления связи базового сегмента УКВ радиосети от всех его абонентов в условиях помех.

2. Разработка математической модели функционирования направления связи базового сегмента цифровой УКВ радиосети с рокадными связями в условиях поражения и восстановления каналов.

3. Расчет требуемого коммуникационного ресурса цифровой УКВ радиосети для подвижных объектов зоны чрезвычайной ситуации в условиях помех.

4. Разработка методики расчета минимально достаточной пропускной способности направлений связи цифровой УКВ радиосети абонентов с заданным качеством их функционирования в условиях неординарного поражения и восстановления каналов.

5. Разработка технических предложений по использованию свободного ТКР направлений связи цифровой УКВ радиосети для повышения помехоустойчивости каналов.

В ходе решения этих задач были сформированы следующие **результаты, представляемые к защите:**

1. Математическая модель функционирования направления связи базового сегмента цифровой УКВ радиосети с рокадными связями в условиях неординарного поражения и восстановления каналов при разных требованиях абонентов к вероятности битовой ошибки, позволяющая выявлять доступность каналов для обслуживания неординарного потока заявок в условиях неординарных помех, базирующаяся на патентах на изобретения.

2. Методика расчета минимально достаточной пропускной способности направлений связи цифровой УКВ радиосети основных абонентов с заданным качеством их функционирования в условиях неординарного поражения и восстановления каналов при разных требованиях абонентов к вероятности битовой ошибки, позволяющая обеспечивать требуемую доступность каналов для обслуживания неординарного потока заявок в условиях неординарных помех.

Научная новизна полученных в диссертационной работе результатов заключается в том, что:

Для математической модели функционирования базового сегмента цифровой УКВ радиосети с рокадными связями в условиях частичного

ординарного поражения и восстановления каналов впервые сформированы правила и алгоритм автоматизированного синтеза систем линейных алгебраических уравнений, описывающих марковские процессы при переменной границе графа состояний в ПКС, что позволяет находить численным методом ёмкость ПКС при ординарных потоках входных и обслуженных заявок, а также ординарных потоках поражения каналов помехами и их восстановления механизмами отстройки для отдельной и совместной стратегий использования каналов ПКС. Кроме того, впервые разработана имитационная модель занятия и освобождения каналов ПКС при неординарных потоках входных и обслуженных заявок, неординарных помеховых потоках поражения и восстановления механизмами отстройки для отдельной и совместной стратегий использования каналов ПКС.

Методика расчёта минимально достаточного числа каналов приемо-передающего комплекса (ППК) УКВ-радиосвязи, в отличие от известных, учитывает процессы частичного ординарного поражения каналов связи в условиях помех и их восстановления, а также процессы занятия и освобождения каналов ПКС при неординарных потоках входных и обслуженных заявок, неординарных помеховых потоках поражения и восстановления механизмами отстройки для отдельной и совместной стратегий использования каналов ПКС.

Достоверность и обоснованность разработанного научно-методического аппарата подтверждается корректностью и логической обоснованностью рассмотренных вопросов, принятых допущений и ограничений, математического моделирования на основе пакета прикладных программ и, кроме того, подтверждается сведением полученного результата расчёта ТКР при определенных условиях и допущениях к известным частным решениям.

Практическая значимость результатов диссертационных исследований обусловлена тем, что они доведены до уровня методики, правил, алгоритмов и машинных продуктов и позволяют на стадии

проектирования и эксплуатации ППК рассчитывать требуемую пропускную способность направлений цифровой УКВ радиосети для конкретных условий ее функционирования. В частности, предложенная методика расчета ТКР позволяет снизить требуемую пропускную способность направления связи на 18% при сохранении качества информационного обмена его основных абонентов. Результаты исследований представляют практический интерес для научно-исследовательских учреждений, проектных организаций с целью усовершенствования существующих и создания перспективных цифровых ППК УКВ радиосвязи. Кроме того, результаты работы могут быть использованы в вузах при изучении соответствующих учебных дисциплин.

Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка используемых источников.

Основные результаты работы докладывались, обсуждались и были одобрены на 15 НТС и на конференциях различного уровня: Международных конференциях «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий» (REDS-2010, REDS-2011, REDS-2012, REDS-2013, REDS-2014, REDS-2015, REDS-2016, REDS-2017, REDS-2022), Москва, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2022; Международных НТК «Радиолокация, навигация, связь», Воронеж, 2018, 2019; Всероссийских НТК «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем», Серпухов, 2017, 2023; Российских НТК Новые информационные технологии в системах связи и управления, Калуга, 2014, 2015, 2016, 2014, 2015, 2016, 2017, 2024; 7-я Всероссийская конференция «Радиоэлектронные средства получения, обработки и визуализации информации» (РСПОВИ-2017) Москва, 2017; V Всероссийская научно-практическая конференция Военного учебного центра Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, Москва, 2023.

Опубликованы в 34 работах, в том числе: 23 научных статьи (2 статьи в изданиях из Перечня ВАК, 4 отчёта о НИР и 1 отчет об ОКР. Получены 1

патент на изобретения, 4 патента на полезные модели и 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Результаты работы реализованы:

1. В АНО «ИИФ» при выполнении НИР «Венец-КРУС» в части обоснования требуемой пропускной способности типового ППК метрового диапазона, функционирующего в радиосети ПО в зоне ЧС (акт о реализации АНО «ИИФ» от 23.04.2024 г.)

2. В филиале ВА РВСН (г. Серпухов) при обосновании требований к пропускной способности типового ППК метрового диапазона специального назначения в рамках итогового отчета о НИР «Реновация», а также при проведении занятий по дисциплинам «Системы и сети передачи данных» и «Основы теории помехозащищенности радиосистем передачи информации» на кафедре «Автоматизированные системы боевого управления», а также в ходе курсового и дипломного проектирования (акт о реализации ФВА РВСН от 07.05.2024 г.).

1. АНАЛИЗ ЦИФРОВОЙ СЕТИ РАДИОСВЯЗИ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В ЗОНЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ И ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Особенности информационных сетей существующих АСУ народно-хозяйственного назначения.

Радиосвязь является важнейшей, а зачастую и единственной связью, способной обеспечить управление территориальными органами и учреждениями МЧС России в самой сложной обстановке. Радиосвязь обладает существенными достоинствами по сравнению с другими родами связи. К ним относится возможность установления связи с подвижными объектами, объектами с неопределенными координатами, объектами с затрудненным доступом (пожар, заражение, наводнение и т.д.), а также возможность организации радиосетей оповещения большого числа объектов. Наиболее востребованной радиосвязь, для решения задач МЧС России, оказывается в зонах ЧС. Это обусловлено отсутствием или разрушением инфраструктуры других родов связи, особенностями и непредсказуемостью основных поражающих факторов ЧС, жесткими требованиями к оперативности обеспечения связью органов управления в зоне ЧС, высокими требованиями к готовности и надежности каналов связи в условиях преднамеренных и непреднамеренных помех. Важным достоинством радиосвязи, при достаточном уровне «интеллекта» радиосредств, является возможность организации в зоне ЧС радиосетей, которые обладают более высоким потенциалом при решении вопросов реализации информационного обмена между основными абонентами сети в зоне ЧС. Проблемам анализа и синтеза структур, алгоритмов и процедур функционирования сетей радиосвязи различного уровня и их подсистем посвящено множество работ [1,6,8,109,117,118].

В настоящее время цифровые технологии - это одна из наиболее динамично развивающихся областей телекоммуникационных технологий во всех сферах жизнедеятельности человека. Цифровая радиосвязь приходит на смену аналого-

вым системам радиосвязи и позволяет обеспечить следующие информационные услуги: передачу телефонных сообщений, передачу данных, подключение к глобальным информационным сетям, получение и передачу видеоизображений, телевидения и т.д. Такие радиосети как WiFi, WiMAX и др. успешно функционируют в интересах различных организаций и гражданского населения. Однако существующие достижения в области цифровой радиосвязи не всегда возможно применить в чистом виде для построения сетей радиосвязи силовых министерств и ведомств РФ ввиду их особых условий функционирования при решении возложенных на них важных (боевых) задач. Это в полной мере относится и к сетям радиосвязи, разворачиваемым в зонах ЧС.

Анализ показал [1,93,111,114-116,142,152] что основной инфраструктурой управления промышленными, организационными предприятиями и различными министерствами, агентствами и ведомствами являются автоматизированные системы управления (АСУ), которые будем называть АСУ народнохозяйственного назначения (НН). К ним также относятся АСУ НН АСУ территориально-распределёнными подвижными объектами (ПО).

Основной подсистемой АСУ НН является ее информационная сеть (ИС АСУ НН). Известно, что качество функционирования ИС АСУ НН во многом влияет на качество и эффективность функционирования АСУ НН. Именно поэтому требуется проанализировать структуру, принципы построения и функционирования наиболее известных и значимых для народного хозяйства ИС АСУ НН. К ним, в частности, относятся; АСУ нефтегазовой промышленности, АСУ дорожного движения «Мегаполис», ГАС «Выборы», АСУ МЧС «Стрелец-Мониторинг» и другие. Их особенностью является то, что, во-первых, ЗУ таких АСУ географически разнесены на значительные расстояния друг от друга (десятки км). Во-вторых, все или отдельные ЗУ таких АСУ являются промышленными объектами. В-третьих, информационная сеть таких АСУ строится на каналах УКВ радиосвязи. Главной особенностью всех АСУ НН является иерархический принцип построения, вытекающий из специфики задач, решаемых на каждом уровне иерархии. При этом, верхнее ЗУ решает общесистемные (целевые) задачи всей АСУ НН.

Промежуточные ЗУ решают задачи координации процессов, выполняемых нижними (исполнительными) ЗУ, при этом результаты выполнения отправляются на верхнее ЗУ. Нижние ЗУ решают конкретные задачи по управлению соответствующим технологическим процессам, при этом получают осведомляющую информацию от контрольно-измерительных приборов (КИП). Результаты решения конкретных задач нижние ЗУ отправляют на промежуточное ЗУ. Каждое ЗУ представляет собой совокупность аппаратно-программных (компьютерных) средств, среди которых имеется автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора.

Целью АСУ является ускорение выполнения какого-либо производства или технологического процесса. Процесс становится более эффективным за счет того, что большая часть функций возлагается на компьютерную систему [111].

Анализ конкретных образцов ИС АСУ НН

ИС АСУ нефтегазовой отрасли

Нефтегазовая отрасль – это одна из основных отраслей тяжёлой индустрии, которая включает в себя разведку газовых и нефтяных месторождений, проведение изысканий, бурение скважин, добычу нефти и газа, организацию транспортировки добытых ресурсов посредством прокладки трубопроводов. Перечисленные производственные направления, дополняя друг друга, составляют единую отраслевую сферу. Для управления таким комплексом создаётся АСУ, которая имеет свои подсистемы, своё программное и математическое обеспечение, а также имеет централизованные и децентрализованные принципы управления [113,118].

АСУ нефтегазовой отрасли выполняют ряд функций, без которых сегодня невозможен процесс добычи и подготовки нефти. Это такие функции как измерение, отображение, регистрация параметров технологического процесса, автоматическое регулирование и управление оборудованием, передача управляющих воздействий оператора на технологический процесс. От того, насколько эффективно выполняются эти функции, зависят технико-экономические показатели предприятий и безопасность технологического процесса для людей и окружающей среды.

Назначение АСУ нефтегазовой отрасли [1]:

- автоматизация процессов сбора и получения достоверной информации с технологических объектов нефтегазовой отрасли;
- оперативный контроль и управление процессами добычи нефти и газа;
- повышение безопасности производства;
- снижение трудоемкости управления технологическими процессами;
- уменьшение простоев оборудования;
- повышение эффективности принятия решений по управлению технологическими процессами на базе единой системы диспетчеризации;
- сокращение численности обслуживающего персонала.

Обобщённая структура ИС АСУ нефтегазовой отрасли представлена на рисунке 1.1. Она, как правило, имеет иерархическую структуру и состоит из трех уровней – верхнего, среднего и нижнего уровней. Взаимосвязь всех уровней осуществляется с помощью информационной сети.

К верхнему уровню относятся автоматизированные рабочие места специалистов (операторы, диспетчеры, тех. персонал, руководители и др.), которые связаны между собой опорной системой передачи данных.

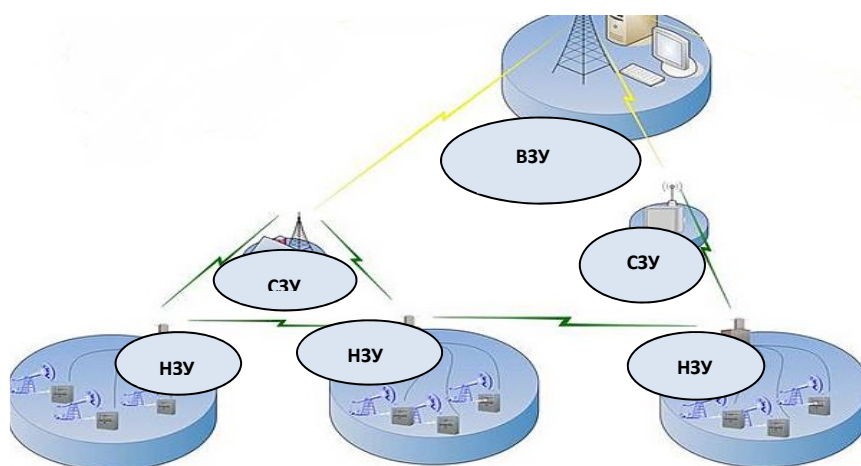


Рисунок 1.1 - Схема ИС АСУ нефтегазовой отрасли

Требования к коммуникационному оборудованию информационной сети верхнего уровня предъявляются высокие, что обусловлено удаленным базирова-

нием промышленных объектов от пункта управления, а также жесткими условиями окружающей среды (высокие/низкие температуры, влажность и атмосферное давление и др.).

К среднему уровню относятся шкафы контроля и управления, построенные на базе программируемых логических контроллеров.

К нижнему уровню системы относятся: первичные средства измерения и датчики технологических параметров; вторичные приборы; исполнительные механизмы; аппаратура местного управления и сигнализации.

ИС передачи данных АСУ нефтегазовой отрасли обладает пропускной способностью в 1 Гбит/с, нужной для циркулирования информации между большим количеством объектов КИП и соответствующими ЗУ. Также эта ИС связи должна обеспечивать дополнительные сервисы: оперативная диспетчерская связь, видеонаблюдение, видеоконференцсвязь [1].

ИС подключена к единой системе мониторинга и управления, что обеспечивает удаленный доступ и мониторинг оборудования из главного центра управления и регионального центра управления [1].

ИС АСУ трубопроводной системы в топливной энергетике

АСУ трубопроводной системы (АСУ ТПС) в топливной энергетике предназначена для контроля состояния и управления технологическим оборудованием объекта магистрального трубопровода, автоматическую защиту и блокировку управления технологическим оборудованием, защиты технологических трубопроводов объектов, регистрацию, архивирование и отображение на АРМ оператора информация о работе технологического оборудования, связи со смежными системами автоматизации на объекте, автоматического регулирования давления (расхода, температуры) [1].

ИС АСУ ТПС имеют иерархическую структуру и состоят из трех уровней – верхний, средний и нижний уровни.

К верхнему уровню относятся основной (резервный) центр управления, на которых установлены автоматизированные рабочие места специалистов (операто-

ров и др.), удаленное базирование объектов от центров управления предъявляют особые требования к приёмопередающим комплексам (ППК) [119].

К среднему уровню относятся базовые станции (БС), построенные на базе программируемых логических контроллеров [128].

К нижнему уровню системы относятся [137]: контролируемые пункты; первичные средства измерения и датчики технологических параметров; вторичные приборы; исполнительные механизмы; аппаратура местного управления и сигнализации. ИС АСУ ТПС в топливной энергетике являются неотъемлемой частью любой трубопроводной системы, что связано с особенностями данного вида транспорта, предполагающими обязательный непрерывный контроль и управление параметрами работы. В настоящее время для обеспечения ИС АСУ ТПС на объектах трубопровода широко используются информационные сети сбора данных и управления на основе узкополосных радиомодемов УКВ-диапазона. Ниже рассмотрен вариант построения такой информационной сети на базе узкополосных радиомодемов [134]. Представленный вариант реализации радиосети обмена данными для отдельного участка трубопровода (общая протяженность составляет более 3500 км, скорость обмена данными в технологической радиосети УКВ-диапазона – 19 200 бит/с) показан на рисунке 1.2.

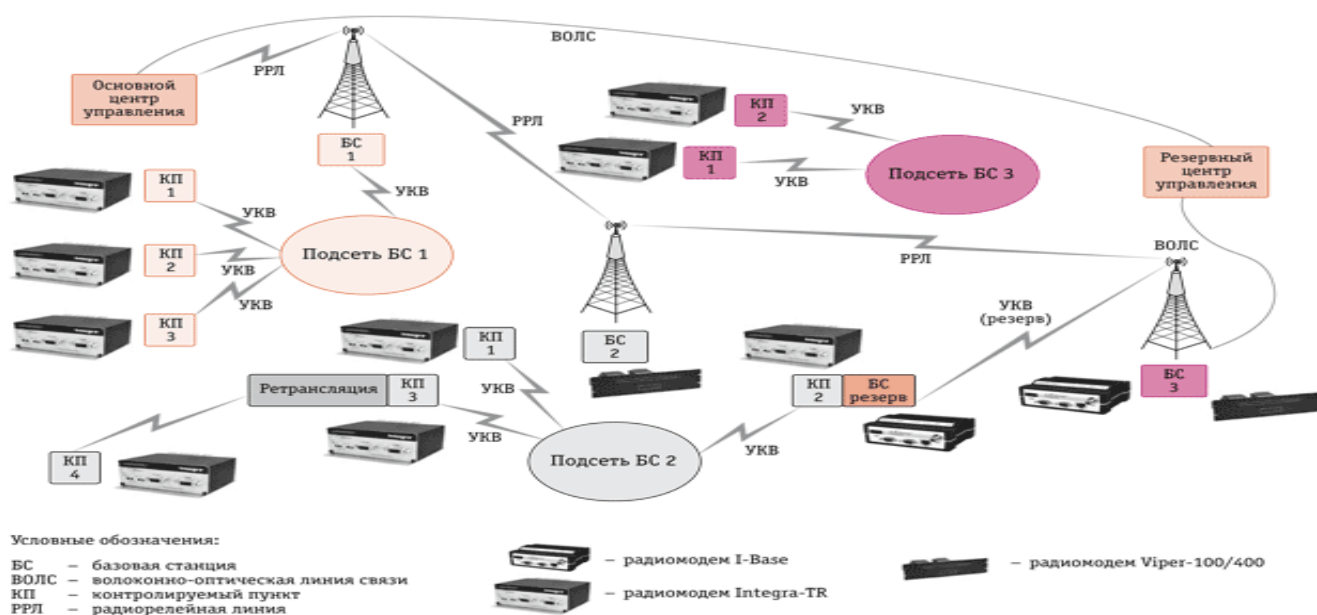


Рисунок 1. 2 - Схема ИС АСУ ТПС повышенной надежности и живучести на узкополосных радиомодемах

Техническое решение подготовлено для реализации на участке трубопровода протяженностью около 60 км, проходящего в сейсмоопасной зоне, где существует угроза одновременного выхода из строя всего оборудования базовой станции (БС-2) на одной из позиций. Технологическая радиосеть управления телемеханикой функционирует на скорости 19 200 бит/с. БС-2 обеспечивает управление четырех контролируемых пунктов. Связь с КП-4 осуществляется через КП-3, который дополнительно выступает в качестве ретранслятора. Позиция КП-2 находится в зоне прямой радиовидимости с позиций КП-3 и КП-1 (на схеме не указан). Связь между КП-2 и БС-3 осуществляется по выделенному радиоканалу. На КП-2 развернут комплект резервной базовой станции (БС-Р), обеспечивающий функционирование через единое антенно-фидерное устройство. БС-Р подключается к соседней базовой станции БС-3 по среднескоростному выделенному каналу обмена данными посредством радиомодемов по IP-протоколу. Коммутация аппаратуры БС-Р и КП-2 выполнена с использованием преобразователей интерфейсов: 4-портовый преобразователей интерфейсов для подключения радиомодема на позиции КП-2 и 2-портовый преобразователей интерфейсов для сопряжения аппаратуры БС-3 с каналом связи с БС-Р через радиомодем. Двухпортовый радиомодем имеет резервированный канал Ethernet, обеспечивающий его подключение одновременно по двум портам. В полной комплектации схема предусматривает дополнительное дублирование преобразователей интерфейсов и аппаратуры обмена данными. Иерархическая структура радиосети формируется автоматически на основе данных, внесенных в базу, и изменяется в интерактивном режиме персоналом, допущенным к выполнению данной функции [1,137].

ИС АСУ дорожным движением «МЕГАПОЛИС»

АСУ дорожным движением (АСУ ДД) «Мегаполис» — это комплексное решение для организации управления дорожным движением в масштабах города. Система обеспечивает мониторинг состояния светофорных объектов, сбор показаний различных датчиков, а также координированное управление светофорными объектами по годовому графику с учетом сезонных изменений, дней недели и

времени суток и диспетчерское управление для проводок транспорта и разгрузки магистралей [120,140].

ИС АСУ ДД организована как иерархическая многоуровневая система распределенных вычислений. Каждый узел обладает достаточной функциональностью для обеспечения нормальной работы в автономном режиме, поэтому сбои в работе отдельных узлов не приводят к нарушению работоспособности системы в целом. Встроенные средства самодиагностики оборудования позволяют своевременно выявлять возникающие неисправности (рисунок 1.3) [120,140,152].

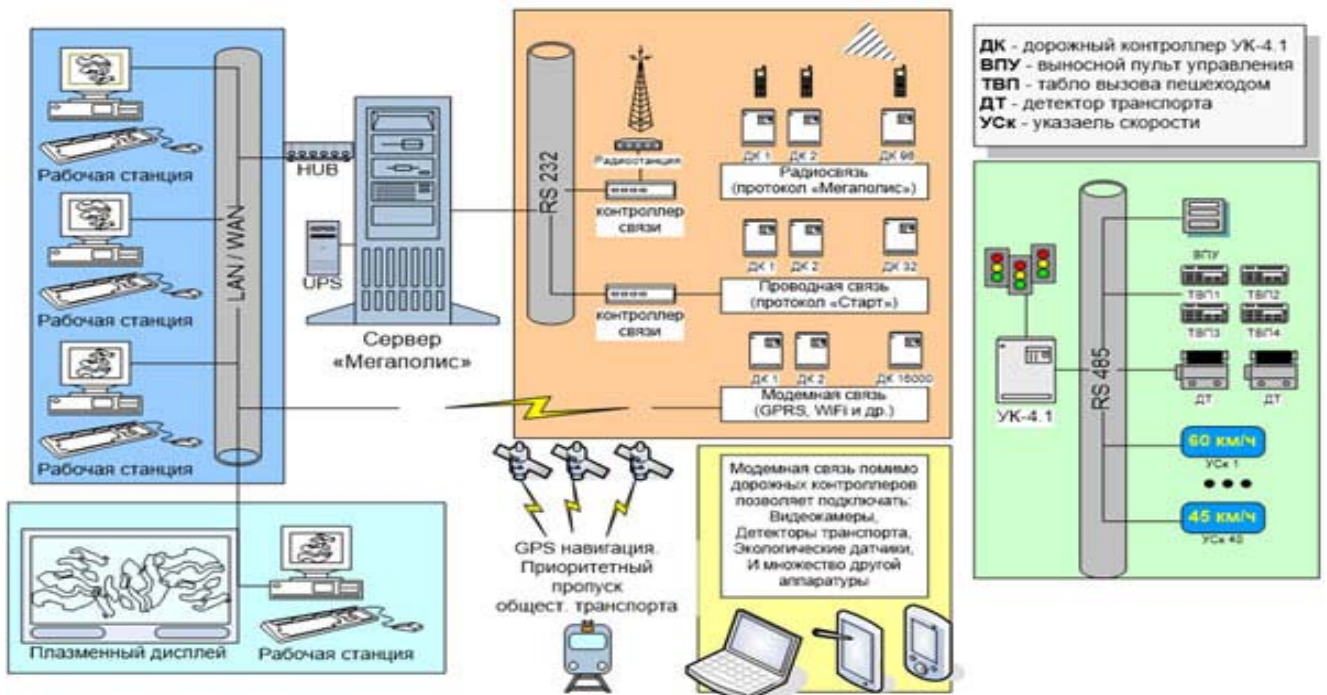


Рисунок 1.3 - Структура ИС АСУ ДД «МЕГАПОЛИС»

СТРУКТУРА ИС АСУ ДД:

Система управления АСУ ДД имеет 2 уровня: верхний уровень управления; нижний уровень управления. Верхний уровень управления состоит из: АРМ руководителя; АРМ диспетчера; АРМ технолога; сервер БД. Нижний уровень управления состоит из: дорожных контроллеров; табло обратного отсчета времени; детекторов транспорта; мониторов СО.

Технические параметры ИС АСУ ДД «МЕГАПОЛИС»:

Уровни архитектуры: максимально 16 внешних контроллеров связи на один компьютер. Максимально 96 перекрестков на один внешний контроллер связи. Технология TCP/IP (использования GSM/GPRS и Ethernet сетевых адаптеров)

позволяет подключить ещё 32000 перекрёстков и 65000 модулей СИ (модулей сбора информации от детекторов транспорта). Максимально 250 рабочих мест (клиентов) в системе. К верхнему уровню относят: рабочее место (клиент); персональный компьютер, включая LAN / WAN-подключение (TCP/IP); Microsoft Windows 2000; компонент МЕГАПОЛИС (клиент); сервер МЕГАПОЛИС (Системный администратор); рабочая станция, включая LAN / WAN-подключение (TCP/IP); источник бесперебойного питания, ОС Microsoft Windows 10; компонент МЕГАПОЛИС (сервер).

К нижнему уровню относят: Передача данных осуществляется: витая пара; RS-485; АПИ-2000 (временные соединения) (Радиомодемы); GSM/GPRS и Ethernet модемы (TCP/IP); (иные стандартные модемы) (TCP/IP); контроллер связи на базе RISC микроконтроллера. (АПИ-2000). ИС АСУ ДД построена на основе контроллеров связи, с помощью устройств радиосвязи и коммуникационных устройств, одновременно или последовательно связываемых со всеми подключёнными контроллерами. Она управляет режимами работы и сигнализацией светофорного объекта, обнаруживает неисправности [142].

ИС ГАС "Выборы"

В федеральные законы включены положения о контроле за использованием ГАС «Выборы», использовании системы для наблюдения за ходом и установлением итогов голосования, применении технических средств подсчета голосов избирателей, участников референдума, доступе к данным, введенным в информационную систему, о размещении этих данных в сети Интернет [36].

Порядок эксплуатации, использования и развития ГАС «Выборы» в части, не урегулированной федеральными законами, устанавливается нормативными правовыми актами ЦИК России. Это относится к положениям, инструкциям, регламентам, нормативам и другим документам, регламентирующим порядок эксплуатации и применения ГАС «Выборы» при подготовке и проведении конкретных избирательных кампаний [39]. Структура ГАС «Выборы» как совокупность комплексов средств автоматизации, образующих многоуровневую территориаль-

но распределенную информационно-вычислительную среду, полностью соответствует масштабу и структуре избирательной системы России и поддерживает ее работу на всей территории страны. В состав ГАС "Выборы" входят [36]: АРМы Центральной избирательной комиссии Российской Федерации; АРМы избирательных комиссий субъектов Российской Федерации; АРМы муниципальных, окружных, территориальных избирательных комиссий. Схема организации функционирования ГАС «Выборы» представлена на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 - Схема организации функционирования ГАС «Выборы»

В настоящее время ГАС «Выборы» представляет собой одну из самых крупных постоянно функционирующих ГАС страны, охватывающую все муниципальные образования и сельские административные районы [6].

Система построена по принципу иерархии, она поднимается с местного уровня КСА территориальных избирательных комиссий (ТИК), избирательных комиссий муниципального образования (ИКМО) на региональный уровень КСА избирательной комиссии субъекта Российской Федерации (ИКСРФ), а затем на уровень КСА ЦИК России [36].

Основой информационной сети ГАС «Выборы» является мультисервисная транспортная сеть, которая является единой транспортной средой для разного рода трафика. Она представляет собой совокупность цифровых каналов связи, узлов коммутации и узлов доступа, обеспечивающих все требуемые типы информационного обмена между различными комплексами средств автоматизации (КСА). Наземные и спутниковые каналы связи, используемые в составе МСТС, арендуются у межрегиональных и региональных операторов. По состоянию на сегодняшний день к МСТС подключены КСА ЦИК, все КСА ИКСРФ, КСА ТИК, КСА ИКМО, КСА ОИК. КСА ТИК, КСА ИКМО, КСА ОИК, не подключенные к цифровым каналам связи, взаимодействуют с КСА ГАС «Выборы», подключенными к МСТС, через телефонную сеть общего пользования (ТФОП) [36].

ИС АСУ " Стрелец-Мониторинг " (МЧС РОССИИ)

АСУ «Стрелец-Мониторинг» предназначена для [121,148]: автоматизированного вызова Федеральной противопожарной службы, минуя оперативный персонал самих объектов; контроля развития пожара с точностью до извещателя и передачи в штаб пожаротушения актуальной информации о развитии ситуации с отображением на плане объекта; определения путей эвакуации и планирования мер по ликвидации пожаров; сбора, хранения и передачи информации о состоянии устройств систем пожарной сигнализации.

СТРУКТУРА ИС АСУ «Стрелец-Мониторинг»

Система управления имеет 2 уровня управления, которая представлена на рисунке 1.5: верхний уровень; нижний уровень.

Верхний уровень управления состоит из: АРМ диспетчера; пультовая станция. Нижний уровень управления состоит из: пожарных контроллеров; объектовых станций; ретрансляторов.



Рисунок 1.5 - Схема организации функционирования ИС АСУ «Стрелец-Мониторинг»

ИС АСУ «Стрелец-Мониторинг» использует в качестве основного канала связи двухсторонний радиоканал на выделенных для МЧС частотах в диапазонах 146–174 МГц и 403–470 МГц. ИС АСУ «Стрелец-Мониторинг» по радиоканалу обеспечивает: двухсторонний обмен данными между центром мониторинга и охраняемым объектом с непрерывным контролем канала; подтверждение доставки (квитирование) каждого информационного пакета; автоматический контроль до 8000 объектов (при периоде автотеста 30 мин); удаленный запуск на объекте речевых сообщений ГО и ЧС из центра мониторинга "Обрыв проводов": для проводных телефонных линий и Ethernet-каналов всегда существует угроза их обрыва в случае наводнения, оползня, землетрясения, обмерзания; "Теракт": одним из наиболее действенных средств, которое применяется всеми спецслужбами мира при ликвидации последствий террористического акта, является отключение сетей GSM связи в районе или городе.

ИС АСУ «Стрелец-Мониторинг» обеспечивает: автосмену частотных каналов: защита от помех; автовыбор маршрута: каждый объект–ретранслятор для соседей: гарантированная доставка тревожного сообщения; двухсторонний обмен

данными между центром мониторинга и охраняемым объектом с непрерывным контролем канала: возможность передачи спецсообщений "СМС-МЧС" из центра МЧС на объект.

ИС АСУ «Стрелец-Мониторинг» обладает важной отличительной особенностью: каждая объектовая станция не только передает сигналы "Тревога" со "своего" объекта, но и является ретранслятором для соседних объектов, что существенно повышает живучесть системы и в десятки раз снижает затраты бюджета на создание сети базовых ретрансляторов. Информационная сеть АСУ «Стрелец-Мониторинг» представляет собой распределенную радиосеть, охватывающую один или несколько населенных пунктов [121].

1.2 Анализ архитектуры существующих сетей радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации

Существует множество различных сетей связи, которые можно классифицировать по разным признакам, например, по используемым каналам связи: проводные, радиорелейные, космические, тропосферные, транкинговые и т.д, по уровням управления (масштаб), по важности обрабатываемой информации, по степени автоматизации процессов управления, по реализованным стандартам радиосвязи и др. Для организации связи в МЧС России применяются средства электросвязи: радио-, радиорелейной, спутниковой и проводной связи, а также подвижные и сигнальные средства связи, образующие рода связи. Вместе с тем, проведенный анализ показал [23,29,37,76,83,88,93,95,98,99], что за счет современных достижений в сфере инфокоммуникационных (телекоммуникационных) технологий произошла миниатюризация элементной базы средств радиосвязи, что в совокупности с возросшей производительностью средств вычислительной техники, позволило радиосетям различной архитектуры охватывать большее число абонентов. И оказалось, что большая часть новых абонентов является подвижными объектами (ПО) (смартфоны и «гаджеты» граждан, системы, установленные на автомобилях, судах, летательных аппаратах, в том числе и беспилотных). Причем

очевидно, что данная тенденция характерна для большего числа существующих радиосетей. Тогда, на множестве существующих радиосетей, можно выделить особый класс радиосетей – радиосеть с подвижными объектами. Особенностью данного класса радиосетей является то, что при неподвижности объектов в зоне радиосвязи, для них справедливы законы и закономерности, применимые для радиосетей с неподвижными объектами. Общее назначение подразумевает типовой состав ПО для радиосетей такого типа. Радиосредства применяются для организации радионаправлений между пунктами управления, с ПО в движении или стационарными объектами в труднодоступном районе, в зоне пожара, заражения, затопления в качестве резервного или основного средства передачи (приема) всех видов данных, а также линий радиодоступа к сетям связи общего пользования и являются основой радиосетей управления при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСДНР) в зонах ЧС. В отсутствие других средств связи радиосредства могут быть единственными средствами связи с органами и объектами управления в зоне ЧС. Развитие интеллекта технических систем для облегчения анализа больших объемов информации лицами, принимающими управленческие решения в том числе в экстремальной обстановке, стало возможно в результате повышения производительности вычислительной техники и ее миниатюризации с учетом совершенствования алгоритмов программного обеспечения. Это привело к появлению различных СППР, сопряженных с АСУ и технически использующие каналы систем связи и систем передачи информации, к ним относятся: система анализа и управления рисками, система оперативного управления и автоматизированная информационно-управляющая система РСЧС, информационные системы «Гранит», "Каскад", "Космоплан", ПК СОД ВСМК, ЕСИМО, автоматизированная система расчёта времени достижения фронтом пожара населённых пунктов, единая государственная автоматизированная система мониторинга радиационной обстановки на территории России и др. [112-114,116-118,137].

Любая современная АСУ (СППР), для реализации функций передачи информации, использует возможности системы передачи информации, физической

основой которой является сеть передачи информации. Топология такой информационной сети представлена на рисунке 1.6. В частности, показано, что в структуре информационной сети можно выделить два типа сетей: транспортную сеть для передачи информации между узлами коммутации (УК) и сети доступа, создаваемые УК для доступа абонентов ПО к ресурсам информационной сети, предоставления данных о своем состоянии и другой необходимой информации.

Объем информации, передаваемой от различных источников по каналам связи информационных сетей, уже превышает в развитых странах объемы традиционного телефонного трафика. Современные каналы и сети связи создаются для передачи, так называемой мультимедийной информации, которая включает как передачу компьютерной информации, такой как тексты (электронная почта), графика, файлы, изображения, видео, Internet-данные, так и передачу телефонных и телевизионных сигналов, а также трафик АСУ (СППР). В зависимости от вида передаваемой информации для передачи мультимедиа требуются каналы связи с пропускной способностью от 30, 64 кбит/с до 2,048 Мбит/с и выше, что существенно превышает скорости передачи информации, необходимые для передачи телефонного сигнала [37,78,79,89,96,101,102].

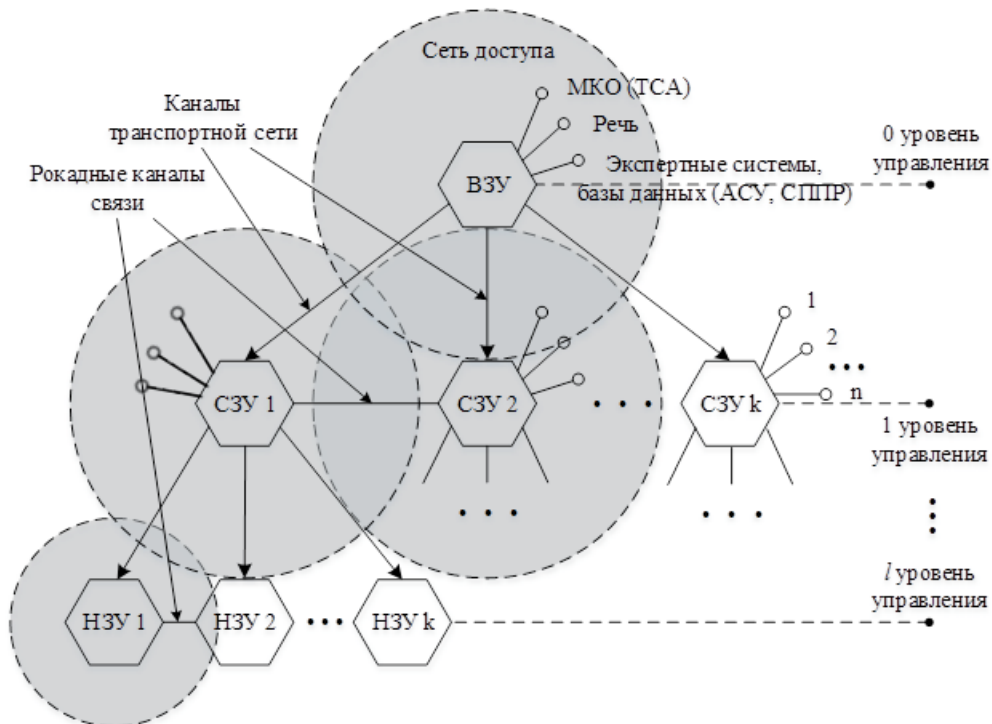


Рисунок 1.6 – Топология информационной сети

В подавляющем большинстве случаев, радиосети имеют иерархическую структуру. УК с размещенным на них персоналом операторов представляют собой звенья управления (ЗУ), уровень которых определяется уровнем иерархии. Основой рассматриваемой информационной сети НЗУ с ПО является система радиосвязи метрового диапазона, которая базируется на существующих аналоговых и цифровых ППК типа «Такт» [126]. Множество таких ППК нижних ЗУ образуют в совокупности радиосеть, которая называется комбинированной радиосетью, потому как информация вниз, для подчиненных (младших) ППК, передается в радиосети, а вверх, для вышестоящих (старших) ППК, в радионаправлениях [38]. Анализ особенностей построения и функционирования существующей информационной радиосети такого типа показал, что она имеет иерархическую структуру на основе наземных радиоканалов метрового диапазона, организованных в комбинированные радиосети [48].

Система связи и комплекс АСУ (СППР) являются основным средством и материально-технической основой управления и обеспечивают обмен всеми видами информации в радиосетях, разворачиваемых в зонах ЧС. При этом комплексы средств радиосвязи метрового диапазона должны обеспечивать:

- каналы связи для организации связи между ЗУ радиосети;
- каналы связи для информационных систем (АСУ, СППР, речь);
- сети связи для управления обеспечением действий ПО и их абонентов.

Дальности средств радиосвязи метрового диапазона должны позволять устойчиво управлять силами и средствами АСФ с учетом их возможных перемещений и местоположений на местности. Комплексы средств радиосвязи метрового диапазона ПО должны предусматривать возможность обеспечения связи не менее, чем через одну – две инстанции в случае потери связи со штатными пунктами управления (ретрансляция).

Средства радиосвязи метрового диапазона ПО должны обеспечивать автоматическую непрерывную работу при передаче информации (речь и/или данные) с заданным качеством (своевременностью, достоверностью и безопасностью обмена информацией).

Наиболее близкими по принципам построения цифровых каналов радиосвязи для радиосети в зоне ЧС, являются каналы, построенные на базе стандартов TETRA и DMR [37,109,140]. Указанные функциональные возможности в полной мере актуальны для радиосети, разворачиваемой в зоне ЧС учитывая, что основным способом организации радиосвязи в СВФ (СЦ) является радиосеть, которая позволяет вести циркулярную работу с большим количеством корреспондентов и требует небольшого расхода радиосредств и рабочих частот.

Исследования, проведенные в ряде работ [125,126,137,143,154], показали, что на построение и функционирование сети радиосвязи, наряду с другими факторами существенное влияние оказывают условия размещения на местности абонентов и УК сети, для связи с которыми используется радиосеть. При этом наибольшую сложность имеют вопросы передачи информации в сетях радиосвязи с ПО при решении ими задач по обеспечению управления группировками и силами РСЧС при проведении АСДНР в зоне ЧС.

В настоящее время для организации радиосетей в зоне ЧС применяются два основных способа: радиосеть и радионаправление. По своему предназначению они могут быть постоянно действующими, оперативного управления, сеансовыми, резервными, скрытыми и учебными. В каждой радиосети (радионаправлении) одна из радиостанций является главной. При формировании в зоне ЧС системы радиосвязи применяется принцип «от простого к сложному», суть которого заключается в первоочередном обеспечении связью наиболее важных абонентов (направлений) группировки СВФ, АСФ, ПСФ и в дальнейшем наращивании, при необходимости и возможности, сил и средств связи в зоне ЧС с учетом развития обстановки в интересах полного обеспечения связью всех абонентов группировки. В зависимости от назначения, а также от наличия сил, средств и частот базовые радиосети могут иметь структуры, представленные на рисунке 1.7.

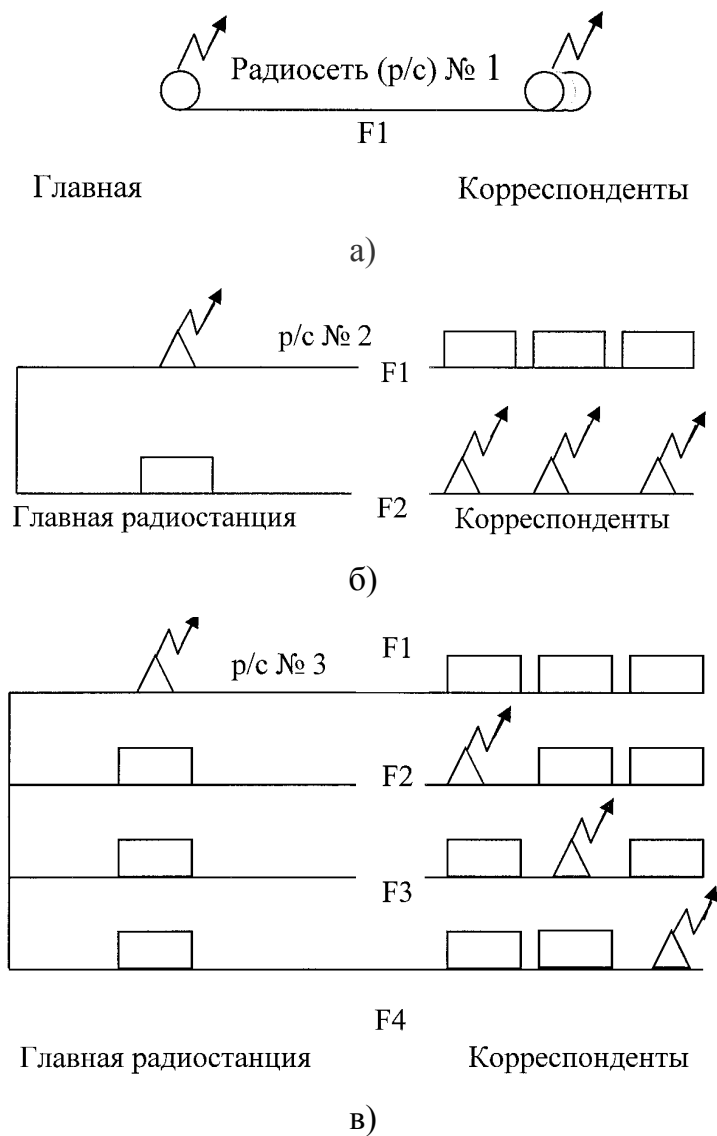


Рисунок 1.7 – Структуры базовых радиосетей: на одной частоте (а), на двух частотах (б), на частотах передатчиков (в)

Информационные сети существующих радиосетей с ПО разворачиваемые в зонах ЧС обладают рядом особенностей[48,122,123]:

1. Большинство ЗУ рассматриваемой радиосети являются подвижными, что в свою очередь, требует широкого использования радиоканалов. В случае подвижности абонентов информационной сети первичная сеть должна быть радиосетью.

2. Радиосеть с ПО повторяет структуру системы управления и является иерархической, обеспечивая в основном связи по вертикали. При этом информационная сеть каждого уровня иерархии является радиальной, а в совокупности вся сеть является радиально-узловой. Типовая структура такой радиосети с ПО представлена на рисунке 1.8.

3. Необходимость обеспечения высокой оперативности доставки сообщений в сети требует построения её по принципу закреплённых и готовых к использованию радиоканалов. В сочетании с принципом радиальной сети на каждом уровне иерархии используется так называемая комбинированная радиосеть, когда доведение информации с верхнего звена до нижних осуществляется в одной радиосети, а доведение с нижних звеньев на верхние – в радионаправлениях.

4. Ограничения на массогабаритные и мощностные характеристики радиосредств, расположенных на ПО УК радиосети, требует реализации их в виде радиосредств метрового диапазона, для которых характерна невысокая дальность связи, ограниченная взаимной видимостью корреспондирующих антенн. Именно поэтому при высотах штыревых антенн на подвижных объектах до 5 м и излучаемых мощностях до 100 Вт гарантированная дальность связи составляет 20 – 25 км, а при мощностях до 500 Вт и при антеннах на мачтовых устройствах дальность связи потенциально может достигать 50 км.

Существенным фактором, влияющим на качество функционирования информационной сети, являются реализованные в ней методы синхронизации оборудования УК сети. В современных радиоканалах применяются следующие виды синхронизации [11-17]: тактовая; цикловая (кадровая); сверх (супер) цикловая (кадровая).

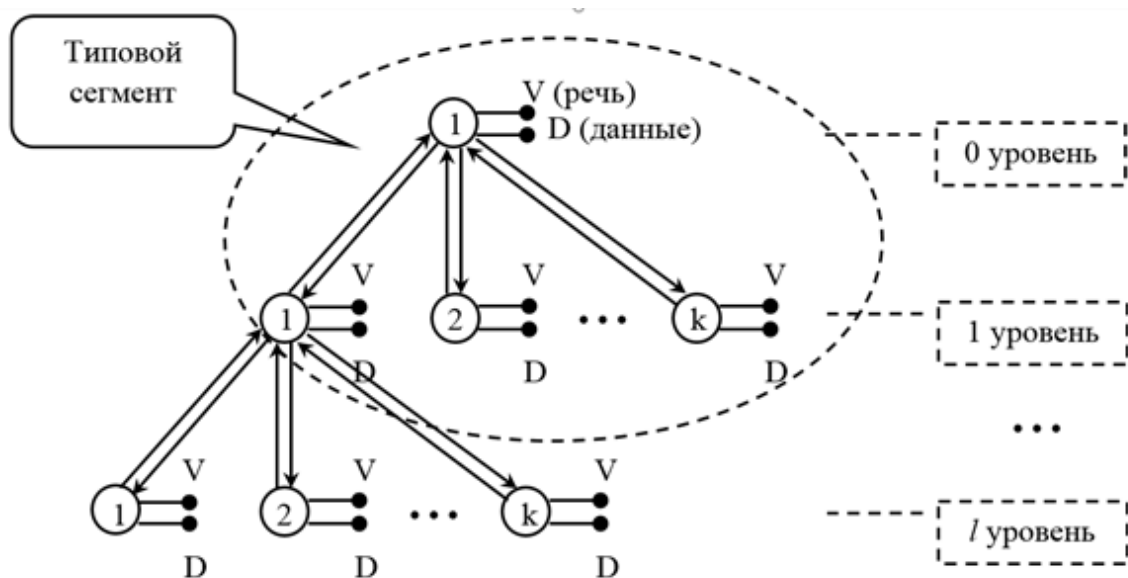


Рисунок 1.8 – Типовая структура информационной сети связи с ПО

Достоинством радиосети с ПО в зоне ЧС, организованной на аналоговых и цифровых ППК, является ее высокая оперативность доставки сообщений ввиду использования выделенных каналов связи первичной сети. Задача установления тактовой синхронизации между корреспондирующими УК решается при передаче каждого информационного кадра независимо, путем передачи в преамбуле передаваемого кадра сигналов тактовой синхронизации [98,125,158]. Однако данной сети, вследствие ее структуры и средств ее реализации, присущи следующие недостатки:

1. Большое число используемых каналов связи, выражаемое полосой частот, выделенной для обеспечения информационного обмена между УК [43,48].
2. Низкая эффективность использования каналов данной сети, не превышающая 2,5 %, что обусловлено, во-первых, закрепленностью каналов связи между УК, и, во-вторых, низкой средней информационной нагрузкой на каждый канал.
3. Невозможностью оперативного использования каналов данной сети новыми абонентами, не предусмотренными в структуре сети на этапе ее организации.
4. Радиально-узловой метод построения сети и отсутствие в ней рокадных связей. Выход из строя любого канала приводит к потере всего информационного направления.
5. Низкая пропускная способность существующих УКВ (VHF (ОВЧ)) каналов связи (1200-2400 бит/с), что не позволяет использовать современные коммуникационные технологии.
6. Малая канальная емкость радионаправлений, что не позволяет реализовать управление канальным ресурсом сети для повышения ее живучести и внедрять дополнительные информационные сервисы в интересах абонентов.
7. Существенная зависимость качества первичных каналов связи по вероятности ошибки p_0 от дальности связи, при этом p_0 может меняться в пределах от 10^{-2} до 10^{-4} в гарантированной зоне связи.

Система оперативного управления (ОУ) и функционирующие в ее рамках

системы взаимодействия и обеспечения функционирования ПО организованы в силу мобильности абонентов в основном, на каналах радиотелефонной связи метрового диапазона и обеспечивают документальный и речевой обмен (Voice) между должностными лицами, выполняющими задачи (работы) на данном участке территории в рассредоточенном порядке.

Сеть связи ОУ охватывает все штатные УК сети, разворачиваемые подсети и объекты управления и обеспечивает доведение управляющей информации до всех объектов сети. Терминальные устройства АСУ (СППР, МКО) и другие цифровые устройства сети генерируют цифровые потоки, формирующие трафик данных (Data), содержащий информацию о состоянии ПО (абонентов), результатах выполненных задач (работ) и другой информации (фото- и видеоотчеты и т.п.).

Все виды информации передаются по сети методом коммутации цифровых каналов. Для преобразования речевой информации в цифровую используются вокодеры или липредеры на минимальной скорости 1200 бит/с (по возможности – 2400 бит/с), которые включаются в коммутационное оборудование. В ряде работ [102,125,126] представлены варианты построения цифровой первичной сети радиосвязи для информационной сети ОУ в зоне ЧС, которая бы во многом преодолела недостатки существующей сети с закрепленными каналами, а именно обладала бы большей дальностью связи и требовала бы для своей реализации меньшего числа каналов при большей эффективности их использования. При этом такая сеть должна обеспечить вероятностно-временные характеристики (ВВХ) процесса доведения всех видов сообщений не хуже, чем у существующей сети с учетом готовности ее элементов и подсистем.

1.3 Обоснование архитектуры современной цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации при реализации в ней временного разделения каналов

Построение современной цифровой информационной сети радиосвязи метрового диапазона с ПО в зоне ЧС требует, как наличия цифровых ППК нового по-

коления, так и перехода на новые принципы работы всей сети в целом. В частности, это обусловлено следующим [1,7,9,10,106,112,137,138]:

Во-первых, появляется новый тип пользователей сети – различные СППР, МКО. Например, это относится к функционированию автоматизированной системы управления связью (АСУС) предназначенной для повышения эффективности управления системой и подразделениями связи за счет использования возможностей современных специализированных аппаратно-программных комплексов по обеспечению высокой оперативности и устойчивости сбора, обработки, безопасного хранения и выдачи (отображения) данных о составе системы связи, текущем состоянии связи, контроля времени прохождения оперативной информации и сигналов боевого управления в реальном масштабе времени, а также для проведения расчетов и моделирования предстоящего развертывания системы связи и оповещения. АСУС органа управления МЧС России в режимах повседневной деятельности, повышенной готовности и ЧС обеспечивает контроль за состоянием действующей системы и подразделений связи. Использование такой системы требует ведение информационного обмена своих звеньев управления между собой. Наличие абонентов такого типа никак не вписывается в концепцию функционирования существующей информационной сети, обеспечивающей в направлении связи только два канала тональной частоты (ТЧ).

Во-вторых, сложная электромагнитная обстановка (ЭМО) в районах нахождения и функционирования ПО, формируемая все возрастающим числом радиосетей метрового диапазона различного профиля (сотовая связь, транкинговые системы связи, сети связи различных агентств и ведомств). Необходимо также учитывать наличие возможных зон радиоразведки, создания радиопомех и других форм воздействия на систему связи (при нахождении в зоне военного конфликта, контртеррористической операции). Данные обстоятельства требуют применения в рассматриваемой радиосети метрового диапазона высокоэффективных мер помехозащиты. В частности, это возможно либо использованием широкополосных фазоманипулированных сигналов (ШПС-ФМ), либо сигналов с псевдослучайной пе-

рестройкой рабочей частоты (ППРЧ), а также устройств компенсации помех или средств адаптации направления радиосвязи.

В-третьих, необходимость выполнения требования непрерывности управления ПО в зоне ЧС обуславливает необходимость обеспечения высокой связности сети в условиях помех. Данное требование обосновывает необходимость организации в рассматриваемой радиосети метрового диапазона рокадных связей между УК одного уровня иерархии.

В-четвертых, анализ современного состояния и тенденций развития современных телекоммуникационных систем и средств радиосвязи, в том числе метрового диапазона, показывает, что магистральным путем их развития является переход к цифровой обработке сигналов там, где традиционно использовались системы аналоговой обработки сигналов.

В качестве современного цифрового ППК можно рассматривать ППК типа «Такт», а также другие существующие цифровые носимые и возимые радиосредства метрового ОВЧ (VHF) диапазона. Современный цифровой ППК радиосвязи метрового диапазона предназначен для повышения устойчивости, мобильности, скрытности и повышения пропускной способности сети радиосвязи с ПО в зоне ЧС в интересах обеспечения информационного обмена основных абонентов в пункте постоянной дислокации (ППД) и при нахождении ПО на маршрутах, в движении между машинами и мобильными группами в условиях помех [24,115,118].

Особенности функционирования такого современного ППК и всей сети следующие:

- сеть цифровая, интегрального обслуживания;
- абоненты: речевые, передача данных (АСУ, СППР, МКО и др.);
- современный ППК формирует передающий и приемный цифровые потоки с временным и частотным разделением (в разных направлениях связи). В ППК реализуется помехозащита: предусмотрено использование ШПС-ФМ или ППРЧ;

- скорости передачи в направлении связи цифрового ППК 1.2, 2.4, 4.8, 9.6, 16, 19, 30, 64 Кбит/с;
- направления (каналы) связи сети поражаются (помехи) и восстанавливаются (за счет наличия механизмов отстройки от мешающих воздействий);
- возможность оперативной реконфигурации сети путем перераспределения цифровых потоков ППК по направлениям сети;
- обеспечение автоматической ретрансляции через транзитные УК сети.

Исходя из изложенного, ясно, что современные цифровые ППК и коммутационное оборудование УК обладают потенциальными возможностями по реализации в сети процедуры ВРК для повышения эффективности функционирования сети в целом в интересах основных абонентов (V+D). Суть этой процедуры состоит в том, что все время работы ППК делится на отрезки времени, являющиеся элементарными каналами (рисунок 1.9), при этом информация от основных абонентов сети будет представлена в дискретной форме. На выходе ППК она будет представлять собой единый цифровой поток данных, информация абонентов в которых будет «упакована» во временные окна (тайм-слоты), структурированные во временном кадре. Длина кадра и временного окна во всей системе постоянна.

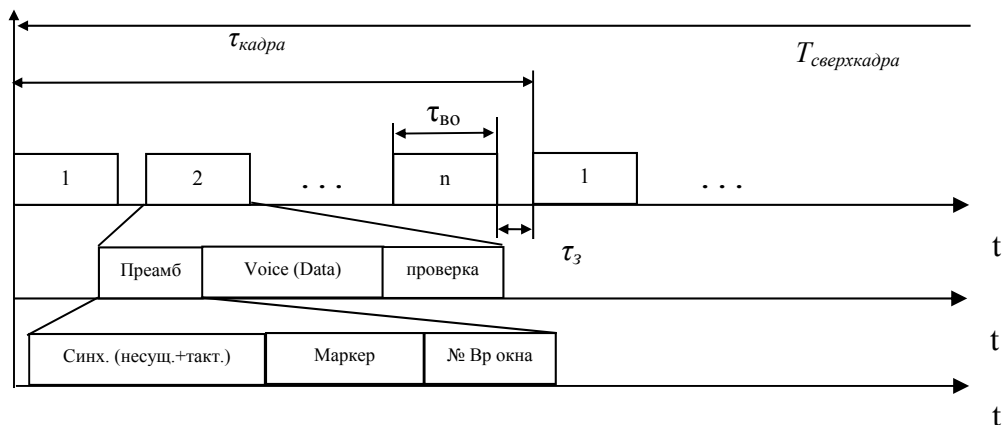


Рисунок 1.9 – Структура временной последовательности с ВРК

Временная форма представления информации абонентов в виде окон допускает относительно простую реализацию коммутационного оборудования в УК сети. Адресом того или иного канала являются номера временных окон в кадре, его

формирующих. Отметим, что минимальная скорость передачи в такой радиосети (исходя из требований абонентов) должна быть 1200 бит/с.

Реализация процедуры ВРК в цифровой сети требует обеспечения не только тактовой синхронизации, но и кадровой (цикловой). Вопросы обеспечения тактовой синхронизации при приеме сигналов подробно рассмотрены в [12,14,16,30] и в рамках данной работы считаются успешно решенными на канальном уровне. Для вхождения УК в кадровый синхронизм, его поддержания и восстановления при сбоях в сети применяются специальные устройства и алгоритмы в совокупности, представляющие собой ПКС, которые обеспечивают подстройку генератора временных меток (начало кадров). Кадровая синхронизация осуществляется путем периодической передачи в структуре временной последовательности специальной кодовой последовательности – СКС, таким образом, во временной последовательности появляется структура, называемая суперкадром.

Исходя из результатов анализа существующей информационной сети радиосвязи метрового диапазона с ПО в зоне ЧС для районов рассредоточения и оценки возможностей модернизированного цифрового ППК, а также возможностей цифрового коммутационного оборудования УК, модернизированная цифровая радиосеть метрового диапазона в зоне ЧС будет иметь структуру, представленную на рисунке 1.10.

Как видно из рисунка представленная модернизированная радиосеть связи сохранила иерархичность построения, появились рокадные связи, обозначенные соответствующими линиями. Внедрение принципов цифровой обработки информации привело к тому, что информация, поступающая от основных абонентов сети, представляется в цифровой форме со скоростью манипуляции 1200 – 2400 бит/с и с помощью мультиплексора – демультиплексора преобразуется в единый поток данных со скоростями от 1.2 до 19 Кбит/с и более. Далее этот поток поступает на коммутатор каналов, а затем на временной коммутатор (ВК), в функции которого входит решение задачи распределения каналов по направлениям в установленные отрезки времени.

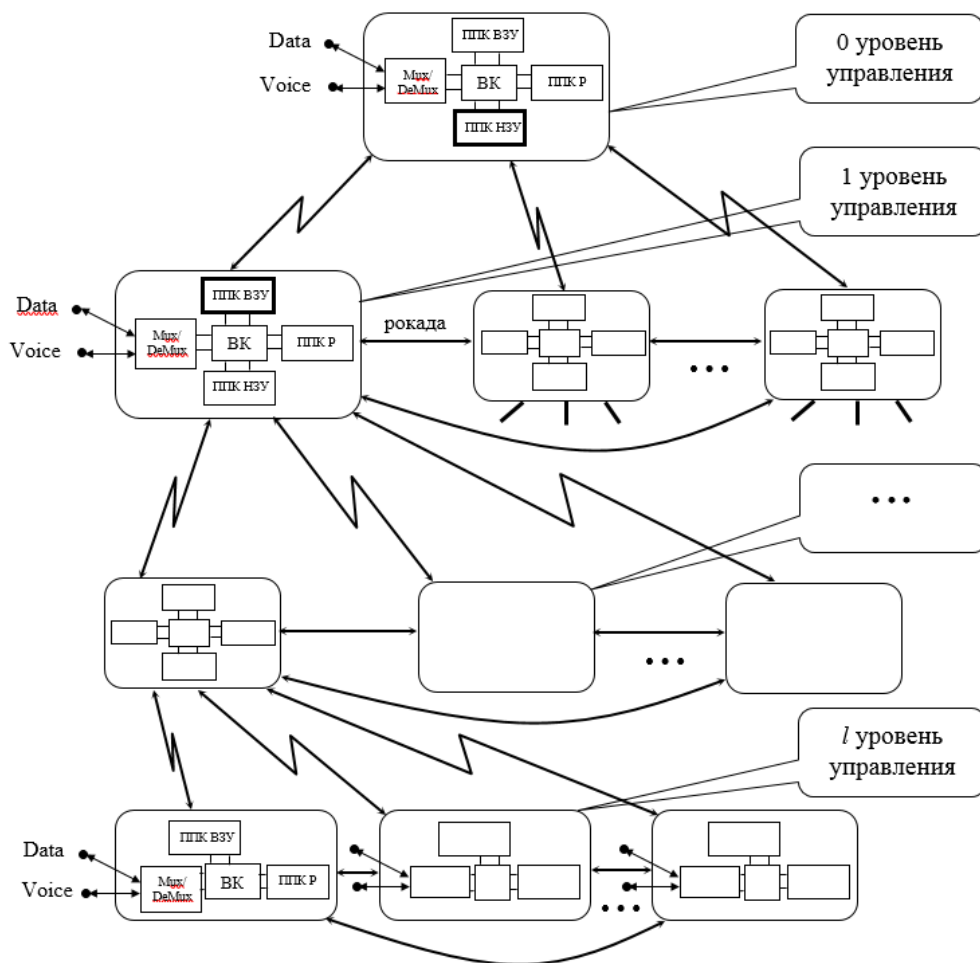


Рисунок 1.10 – Структура модернизированной сети радиосвязи в зоне ЧС

Все время работы ППК при реализации процедуры временного разделения каналов делится на временные окна (каналы) от 1 до n , кадры от 1 до M и суперкадры (рисунок 1.11).

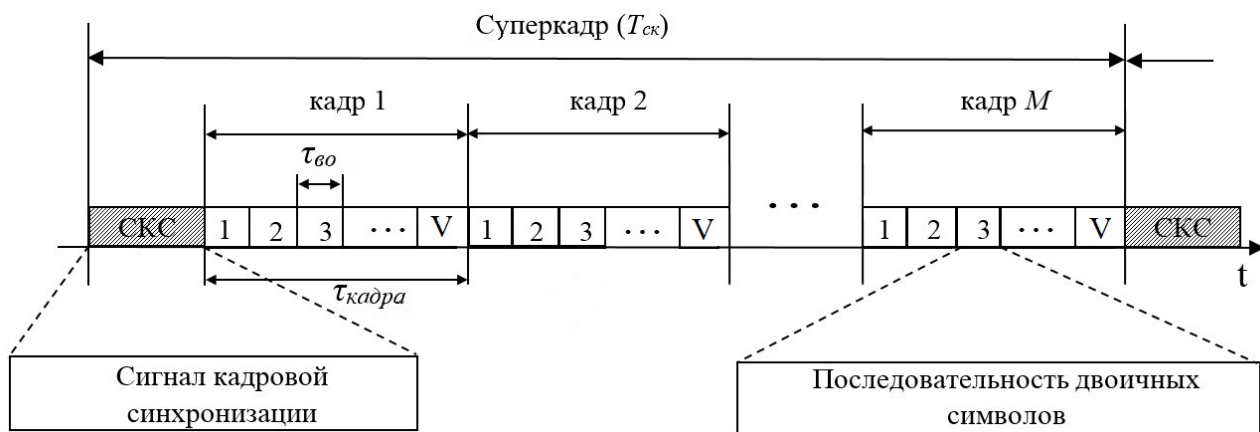


Рисунок 1.11 – Структура временного кадра направления связи

1.4 Системный анализ помех в зоне чрезвычайной ситуации и специфика их влияния на приемо-передающий комплекс с временным разделением каналов

1.4.1 Анализ типовых помех в зоне чрезвычайной ситуации

Известно, что защита радиосвязи от радиопомех – это комплекс организационных и технических мероприятий по обеспечению своевременного прохождения информации по радиоканалам. Помехи могут быть преднамеренные и непреднамеренные. Преднамеренными называются помехи, которые специально создаются в целях затруднения или срыва работы средств радиосвязи. Преднамеренные помехи бывают прицельными и заградительными. Непреднамеренные помехи: взаимные – от радиоизлучений своих радиостанций и других РЭС, атмосферные (природные) – от различных природных явлений, местные (промышленные) – от индустриальных источников помех. По интенсивности воздействия на РЭС помехи подразделяются на слабые, сильные и подавляющие[97,134,135,141].

Спецификой функционирования перспективной РПРС типовой АСУ ПО является то, что ее каналы могут быть подвержены влиянию непреднамеренных помех, создаваемых радиосредствами других министерств и ведомств вследствие недостаточной координации работы их частотно-диспетчерских служб. В частности, в районах дислокации подвижных объектов могут работать на частотах рассматриваемой радиосети радиостанции такси, скорой медицинской помощи, МЧС, пожарной службы, полиции и др., что будет приводить к перерывам связи. Кроме того, возможно воздействие различных индустриальных помех[134].

Анализ показал, что основными источниками помех для ППК метрового диапазона в КРС АСУ ОН являются сторонние радиосредства. Причем данные средства будут создавать шумовые и узкополосные помехи[25,39,107]. Помеха первого типа охватывает весь диапазон рабочих частот ППК. Поэтому можно считать, что воздействие данной помехи на приемные устройства ППК будет эквивалентно только увеличению мощности тепловых шумов. Следовательно, случай воздействия на ППК помехи первого вида эквивалентен случаю функциони-

рования данной сети только в условиях более мощных естественных тепловых шумов. Помехи второго типа охватывают только часть диапазона рабочих частот ППК. Рассмотрим несколько типов основных помех, характерных для зоны ЧС.

Силовые помехи [136]

К силовым радиопомехам относятся высокоэнергетические помехи, т. е. помехи, обладающие высоким энергопотенциалом. Они широко применяются, несмотря на их сравнительно низкую эффективность, так как не требуют большого времени на тонкий анализ сигналов и могут быть поставлены практически мгновенно. Силовые помехи скрывают (маскируют) полезный сигнал и потому относятся к классу маскирующих. Маскирующие помехи искажают структуру принимаемых сигналов и затрудняют (или полностью исключают) возможность обнаружения сигнала и выделения информации в приемном устройстве, снижают точность измерения параметров сигналов. С увеличением мощности помех их маскирующее действие возрастает. Преднамеренные помехи силового характера, которые иногда называют «видимыми помехами», можно классифицировать по соотношению параметров помех и сигналов как прицельные, заградительные, гребенчатые и скользящие [87,97].

Прицельные помехи занимают сравнительно узкую полосу частот, не превышающую трехкратной (обычно 1,5–2) эффективной полосы пропускания приемника, а заградительные (шумовые) перекрывают весь спектр в широкой полосе частот, превышающей полосу пропускания приемника в десятки и сотни раз. Кроме заградительных помех при подавлении линий ППРЧ возможно использование помехи «вслед» (со следящей (запаздывающей) погоней за параметрами). Иногда такой тип помех называют прицельно-заградительным, поскольку помеха является прицельной по каждой из частот сетки, а в целом является заградительной. В этом случае необходимо применение быстродействующих систем радиоразведки и формирователя радиопомех [105].

При гребенчатых помехах в широкой полосе частот чередуются пораженные и непораженные участки. Скользящие (последовательно-заградительные) помехи создаются перестройкой передатчика узкополосных помех в широкой поло-

се частот, например, ЛЧМ — линейная частотная модуляция. По временным свойствам помехи могут быть непрерывными или импульсными, например, ХИП — хаотичная импульсная последовательность («chirped-помеха», т. е. помеха типа «щебетания», «чиркания»), по способу модуляции — немодулированными или модулированными по амплитуде, частоте, фазе с закономерным или случайным модулирующим сигналом.

Таким образом, под силовой заградительной радиопомехой следует понимать целенаправленное воздействие электромагнитной помехи на полезный сигнал без учета его «тонкой» структуры. В этом случае противник фиксирует факт применения средств радиоэлектронного противодействия, что заставляет противника прибегнуть к смене частот и позывных. Грубое силовое воздействие применимо в случае отсутствия времени на тонкий технический анализ принимаемых сигналов или в случае начала активных боевых действий. В противном случае (когда обстановка позволяет провести детальный анализ принимаемых сигналов) целесообразна постановка «тонких» узкополосных помех (прицельных по частоте и предельно коротких по времени включения), мощность которых едва превышает уровень полезного сигнала (имитационные помехи). Модуляция мешающего сигнала в идеале должна соответствовать модуляции полезного сигнала. В этом случае блокируются ключевые слова и цифровые данные сообщения таким образом, чтобы противник принимал радиопомехи за сбои в работе своей аппаратуры [82,97].

Интеллектуальные радиопомехи.

Понятие «интеллектуальная радиопомеха» не гостировано. Под интеллектуальной помехой будем понимать помеху, сформированную таким образом, чтобы условный противник воспринял радиопомеху в качестве полезного сигнала (имитирующая помеха) или, по крайней мере, не зафиксировал факт воздействия преднамеренных помех (так называемые «невидимые помехи»). При этом уровень такой радиопомехи должен быть соизмеримым с уровнем полезного сигнала, что должно привести к вводу в заблуждение противника. Для постановки таких помех

требуется, как правило, знание структуры передаваемого полезного сигнала на основе данных, полученных от средств радиотехнической разведки или других источников. К такого рода помехам относятся среди прочих помехи типа DRFM (от digital radio frequency memory — цифровое устройство запоминания радиочастот). Современные подходы к построению таких систем постановки помех предполагают так называемую технологию цифровой радиопамяти, при которой принимаемый зондирующий сигнал запоминается в цифровом виде, модифицируется требуемым образом (изменяется частота, фаза, амплитуда, добавляются задержанные копии сигнала и т. п.) и затем переизлучается с требуемой задержкой.

Технология DRFM дает возможность перепрограммировать весь процесс радиоэлектронного подавления, включая модуляцию сигнала помех, настройку по частоте, регулировку уровня мощности и момент излучения — это означает, что по мере совершенствования радиоэлектронных средств управления оружием нет необходимости создавать новую аппаратуру РЭП, а достаточно только обновить ее математическое обеспечение. DRFM начали использовать в РЭБ в конце 1990-х гг., но сами DRFM появились во второй половине 80-х.

Технология цифрового запоминания пространственных частот DRFM-S является естественным обобщением обычной технологии DRFM и имеет дополнительные преимущества, связанные с учетом направлений приема и передачи сигналов. Другой способ создания интеллектуальной помехи — это перехват управления РЭС. Он характерен для сетей связи, построенных по сотовому принципу.

Индустриальные помехи в радиопередатчике

К индустриальным радиопомехам, создаваемым радиопередающим устройством, относятся все излучения от оборудования передатчика помимо антенны, за исключением излучений высокочастотных трактов. Кроме излучения ИРП, создаваемые передатчиком, распространяются по проводам управления, коммутации, заземления и в цепях питания.

Необходимо отметить, что ИРП от передатчиков изучены недостаточно. Вместе с тем ИРП, создаваемые радиопередатчиками, существенно влияют на ис-

пользование РЧС станциями подвижных служб, служб радиоопределения и др. Уровни ИРП от радиопередатчиков и их оборудования, устанавливаемых совместно с радиоприёмными устройствами, нормируются Общесоюзными нормами 15-78 и 15А-83. Напряжённость электромагнитного поля E , создаваемая оборудованием радиопередатчика на расстоянии 1 м, не должна превышать в полосах частот:

$$150 \text{ кГц} - 30 \text{ МГц } E = 32 - 7,87 \cdot \lg(f/0.15) \text{ дБкВ/м};$$

$$30 - 100 \text{ МГц } E = 32 - 13,39 \cdot \lg(f/30) \text{ дБкВ/м};$$

$$100 - 1000 \text{ МГц } E = 25 + 20 \cdot \lg(f/100) \text{ дБкВ/м}.$$

Напряжение U в проводах питания, управления, коммутации и заземления не должно превышать:

$$150 - 500 \text{ кГц } U = 50 - 19,14 \cdot \lg(f/0.15) \text{ дБкВ};$$

$$500 \text{ кГц} - 6 \text{ МГц } U = 40 - 12,97 \cdot \lg(f/0,5) \text{ дБкВ};$$

$$6 - 100 \text{ МГц } U = 26 \text{ дБкВ},$$

где f – нормируемая частота, МГц.

Установлены также нормы на уровень ИРП на клеммах источников питания станций подвижных служб (ГОСТ 22579-86, ГОСТ 22252-82 и ГОСТ 22580-84).

Долгое время, считали, что рецепторами промышленных радиопомех являются только радиоприёмники. Проведённые исследования показали, а практика подтвердила, что рецепторами ИРП могут быть радиопередатчики. Поэтому стандартом определены параметры восприимчивости передатчиков к излучаемым и распространяющимся по проводам ИРП.

Воздействуя на передатчик, ИРП могут увеличить уровень шумового излучения, расширить занимаемую ширину полосы частот, исказить передаваемый сигнал и т.д. Для исключения этого влияния в передатчиках с помощью фильтров в первую очередь защищают цепи его питания. Указанными выше стандартами установлены нормы на допускаемое напряжение ИРП на клеммах источников питания передатчиков станций подвижных служб. Стандартом на радиовещательные передатчики (ГОСТ 13924-80) установлены нормы на восприимчивость передатчиков к интегральной помехе и психофотметрическому шуму [134,135].

Среда распространения промышленных радиопомех

Излучаемые радиопомехи характеризуются напряжённостью электрического и магнитного поля или поверхностной плотностью потока мощности. Последний параметр применяется, как правило, на частотах выше 1 ГГц. Амплитудные, частотные, временные и пространственные характеристики электромагнитного поля излучаемых ИРП в значительной степени определяются их источником.

Электромагнитное поле, создаваемое промышленными ВЧ установками, расположенными на уровне земли, затухает с увеличением расстояния от источника на высоте $1 \dots 4$ м над уровнем земли со средним коэффициентом $1/r^n$, где r – расстояние от источника; n – меняется от 1,3 для открытых сельских районов до 2,8 для интенсивно застроенных городских районов. Для приблизительных расчётов среднее значение $n=2,2$. При этом могут быть значительные отклонения измеренных значений напряжённости поля от значений, рассчитанных при $n=2,2$. Средние квадратические отклонения составляют около 10дБ при логарифмически-нормальном распределении. Поляризация полей не может быть предсказана. Интенсивность поля увеличивается на частотах 30-300 МГц с ростом частоты.

Экранирующее влияние зданий на излучение ИРП изменяется в широких пределах, в зависимости от материала зданий, толщины стен и площади окон. Считается, что здания снижают поле ИРП примерно на 10дБ.

Электромагнитное поле (ЭМП), создаваемое системами зажигания автомобилей, на расстоянии 10м имеет максимум на частоте 30 МГц. На частотах выше 1 ГГц уровень напряжённости поля уменьшается со скоростью 20дБ/октаву. Излучения ниже 100 МГц имеют тенденцию к вертикальной поляризации с колебаниями уровня напряжённости поля в среднем около 10дБ. Максимальные уровни напряжённости поля, создаваемые системами зажигания группы, автомобилей, не превышают наибольший уровень, создаваемый одним автомобилем в группе составляет -10 дБмк/м. Выбросы напряжённости поля при малых потоках автотранспорта обусловлены встречными автомобилями.

Линии электропередач (ЛЭП) и их оборудование создают наибольшую напряжённость поля ИРП при дожде, снегопаде, тумане и высокой относительной

влажности, а в засушливых районах – при повышенной турбулентности воздуха и при солнечной активности, спектр этих ИРП простирается от ОНЧ до ОВЧ.

Уровень напряжённости электромагнитного поля, создаваемого ЛЭП, изменяется в пределах 40...160 дБмкВ/м, зависит от значения напряжения сети ЛЭП. Спад напряжённости поля в ближней зоне (10 м) пропорционален квадрату расстояния $1/r^2$, с удалением от ЛЭП это равенство изменяется.

Сварочные и нагревательные устройства создают электромагнитное поле наибольшей интенсивности в области частот 750 кГц, 3 и 20 МГц. Напряжённость поля на расстоянии 300 м от источника равна приблизительно 20 дБмкВ/м, убывая в среднем от увеличения расстояния со скоростью $1/r^{1.5}$.

Кроме того, на распространение волн ИРП оказывают влияние характер подстилающей поверхности, рельеф местности, наличие на пути распространения посторонних предметов и другие факторы.

Индустриальные радиопомехи по проводам распространяются на значительные расстояния, и их уровень с увеличением расстояния уменьшается очень медленно. При это ИРП распространяются по проводам, не посредственно связанными с источниками ИРП (первичные носители), а также по проводам, имеющим ёмкостную или индуктивную связь с первичными носителями ИРП (вторичные носители). К ним относят провода питания, трубы отопительной системы, оборудование лифтов и др. В этом случае источник ИРП можно рассматривать и как генератор и как рецептор энергии. С увеличением частоты ИРП затухание в проводах увеличивается. Практически нормируют полосу частот в проводах от 150 кГц до 30 МГц, полагая при этом, что на более высоких частотах уровень ИРП не превышает допустимых[134].

Подавление индустриальных радиопомех

Подавление ИРП включает организационные и (или) технические мероприятия, направленные на ослабление или устранение воздействия ИРП. Эти мероприятия проводят при разработке электроустройств, их установке и эксплуатации. Подавление ИРП может быть выполнено как в самом источнике ИРП и на пути распространения ИРП, так и в радиоприёмном устройстве с помощью помехопо-

давляющих устройств и помехоподавляющих элементов. К помехоподавляющим элементам относят, например, дроссели, конденсаторы, фильтры, непосредственно осуществляющие подавление или перераспределение энергии ИРП. Совокупность помехоподавляющих элементов, конструктивно объединённых в одно изделие, называют помехоподавляющим устройством. Помехоподавляющее оборудование может состоять из необходимого набора помехоподавляющих устройств и элементов. Каждый помехоподавляющий элемент (устройство, оборудование) имеет полосу рабочих частот, в которой обеспечивается подавление ИРП не менее заданного нормативно-технической документацией на элемент (устройство, оборудование). Основными методами подавления ИРП являются экранирование и фильтрация [70,82].

1.4.2 Специфика влияния помех на приемо-передающий комплекс с временным разделением каналов

В процессе информационного обмена в типовых сегментах радиосети в радиоканалах будут передаваться сигнально-кодовые конструкции (СКК), которые на входе приемника ППК, представляют собой смесь полезного сигнала и помех, действующих в радиоканале (1.1).

$$Z(t) = \mu(t)S(t) + n(t), \quad (1.1)$$

где $Z(t)$ – совокупность переданной СКК;

$S(t)$ – переданная СКК;

$n(t)$ – аддитивная помеха;

$\mu(t)$ – мультипликативная помеха;

$n(t)$ – аддитивная помеха.

Учитывая, что помехи, действующие в канале радиосвязи являются случайными процессами, можно утверждать, что отдельные их характеристики носят вероятностный характер. Тогда при оценке параметров помеховой обстановки удобно использовать значения величин, усредненных по времени или их математические ожидания на временных интервалах наблюдения в точке приема полез-

ного радиосигнала. С учетом вышеизложенного мощность сигнала на входе приемника ППК можно определить по известной формуле (1.2) [37].

$$P_c = P_{\text{прд}} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot G_1 \cdot G_2 \left(\frac{\lambda \cdot F}{4 \cdot \pi \cdot r} \right)^2, \quad (1.2)$$

где $P_{\text{прд}}$ – мощность передатчика;

η_1 и η_2 – коэффициенты полезного действия фидеров передающей и приемной антенны соответственно;

G_1 и G_2 – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн соответственно;

F – множитель ослабления для реальных условий распространения радиоволн;

λ – длина волны;

r – расстояние от передатчика до приемника.

Мощность теплового шума в приемнике можно определить по формуле (1.3).

$$\sigma_u^2 = K \cdot T \cdot \Delta F, \quad (1.3)$$

где $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ [Вт/Гц] – постоянная Больцмана;

T – температура окружающей среды, [К];

ΔF – полоса частот приемника.

Тогда с учетом многообразия помех в зоне ЧС отношение сигнал/шум (h_0^2) возможно рассчитать по формуле (1.4).

$$h_0^2 = \frac{P_c}{\sigma_u^2 + P_n}. \quad (1.4)$$

где P_n – мощность преднамеренных и непреднамеренных помех, действующих в полосе частот приемника.

Введем коэффициент (параметр):

$$\gamma = \frac{P_n}{P_u} \quad (1.5)$$

Тогда реальное отношение сигнал/(шум + помеха) будет иметь вид:

$$h^2 = \frac{h_0^2}{1 + \gamma} \quad (1.6)$$

Изменения помеховой обстановки будут приводить к изменению отношения сигнал/шум, а это в свою очередь будет изменять значение p_0 .

Известно, что

$$p_0 = f(h^2, \alpha, \beta). \quad (1.7)$$

где α – вид манипуляции СКС;

β – способ обработки СКС в ПКС приемника. Таким образом, зная закон распределения величины h^2 , можно найти динамику вероятности величины p_0 .

Современные цифровые ППК, как правило, формируют в сети многоканальные направления связи. При этом разделение каналов осуществляется по частоте, по времени и по форме (кодовое разделение). Если зафиксировать полосу частот направления связи $\Delta F_{НС}$, то, в принципе, пропускная способность направления связи в условиях гауссовских помех и его помехоустойчивость будут одинаковы[37].

Также известно, что в многоканальном направлении радиосвязи будут вести информационный обмен разные абоненты: ЗУ АСУ, речевые абоненты и абоненты межкомпьютерного обмена (МКО), которые предъявляют разные требования к каналам связи по величине p_0 . В этом случае воздействие помехи, например, в виде БГШ при частотном разделении в потенциале окажет влияние на часть каналов. При временном и кодовом разделении влияние будет оказано на все каналы направления связи. Таким образом, ординарное воздействие помехи на канал с параметром γ и с учетом разных требований абонентов на вероятность битовой ошибки p_0 приведет к разнородному поражению каналов абонентов[47,49]. Системно данный факт отражен на рисунке 1.12. На рисунке 1.13 представлена численная зависимость вероятности битовой ошибки p_0 от отношения $P_{П}/P_{Ш}$ и отношения $P_{с}/P_{Ш}$. Из рисунка следует существенная негативная динамика по увеличению вероятности битовой ошибки при увеличении $P_{П}/P_{Ш}$, что требует парирования воздействующих на каналы направления связи помех.

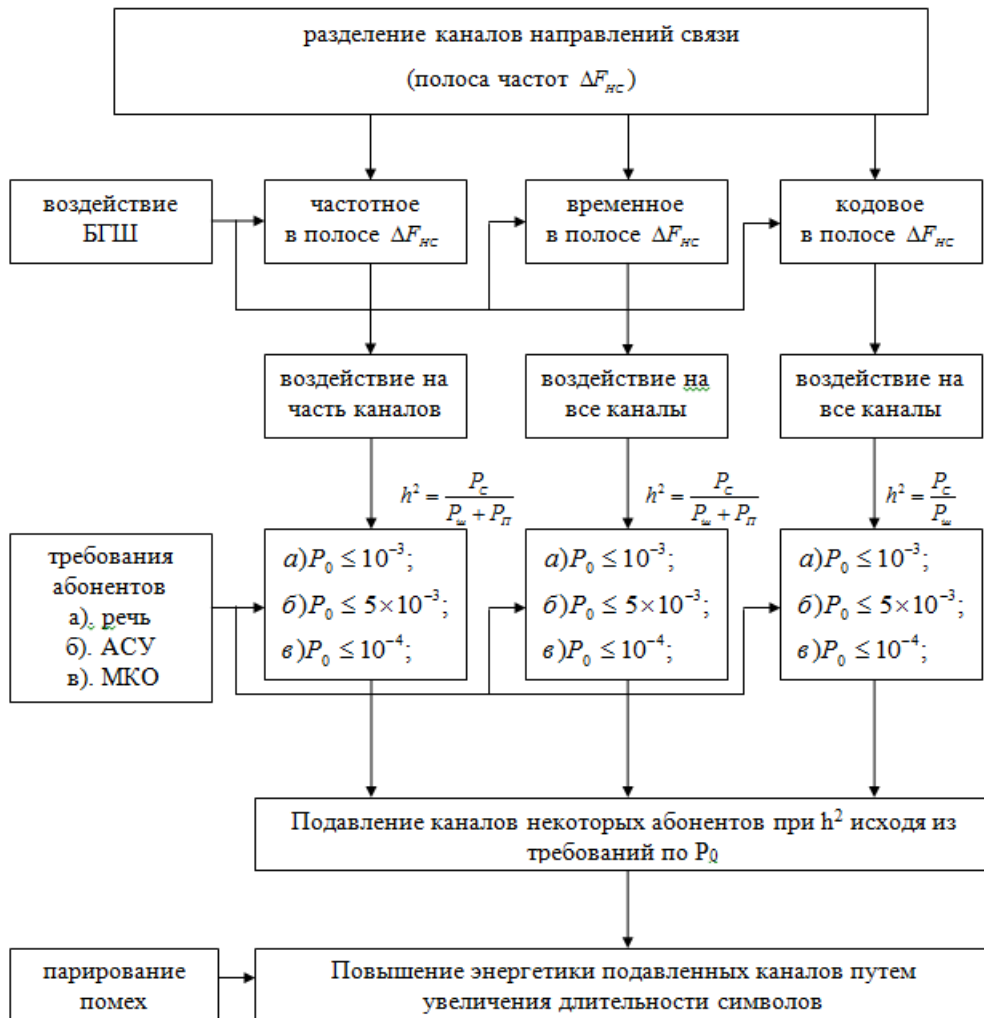


Рисунок 1.12 – Схема зависимости подавления БГШ каналов некоторых абонентов при их разных требований к величине p_0

Парирование помех в подавленных каналах возможно путем повышения энергетика сигналов, например, за счет кратного увеличения длительности символов. Также возможно применение ШПС с расширением спектра по времени и/или по частоте, что существенно повышает помехоустойчивость радиоканалов, однако усложняет аппаратуру радиосредств и систем коммутации, и приводит к снижению их надежности[24,130-133].

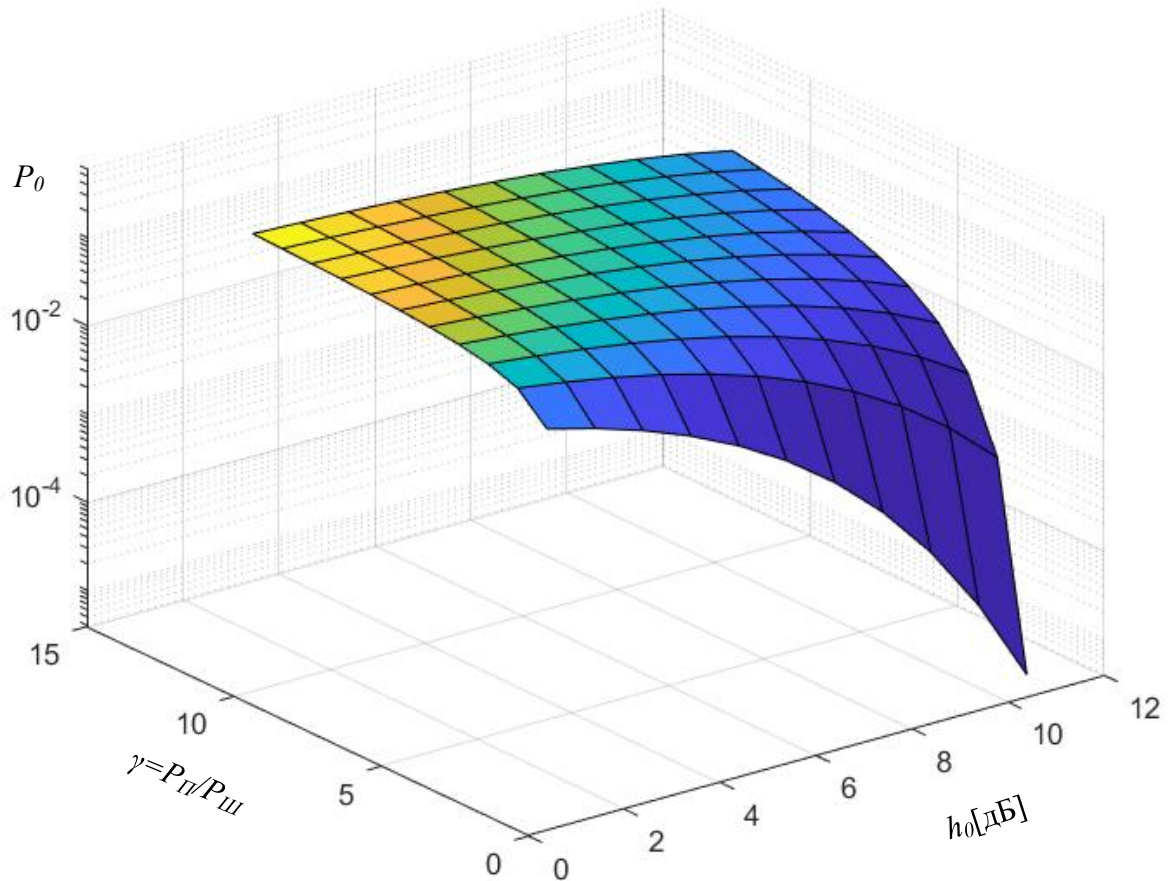


Рисунок 1.13 – Зависимость вероятности битовой ошибки от отношения $P_{\Pi}/P_{\text{ш}}$ и отношения $P_{\text{с}}/P_{\text{ш}}$

1.5 Постановка задачи нахождения ТКР ППК цифровой сети радиосвязи метрового диапазона в зоне ЧС в условиях помех и направления ее решения

Цифровая сеть радиосвязи метрового диапазона в зоне ЧС будет строиться на основе цифровых ППК и цифровом коммутационном оборудовании УК. Основными абонентами такой сети будут: ЗУ АСУ, речевые абоненты и абоненты МКО, обеспечивающие функционирование различных систем поддержки принятия решения, требующие взаимодействия друг с другом. Учитывая, что информационная нагрузка всех абонентов в направлениях связи данной радиосети невелика, целесообразно её обслуживать в режиме ПКТ[37,41,45,60,61,93].

Первичная цифровая сеть связи будет создаваться, во-первых, на принципе временного разделения каналов (ВРК) в направлениях связи и, во-вторых, на

принципе предоставления каналов по требованию (ПКТ) в узлах первичной сети. Такой подход позволит создать радиально-узловую сеть связи с рокадными каналами, что существенно повысит связность сети. В-третьих, необходимость обеспечения высокой помехозащищенности каналов рассматриваемой сети требует парирования помеховых воздействий, например, использования в цифровых ППК сигналов с расширением спектра, реализованных либо в виде ШПС-ФМ, либо в виде сигналов ППРЧ, либо использование кратного увеличения длины информационного символа с целью повышения его энергетичности. При этом каналы такой сети будут строиться как адаптивные.

В ходе выполнения задач подразделениями ЧС с использованием ППК на данную цифровую сеть связи будут воздействовать непреднамеренные помехи от радиосредств различных министерств агентств и ведомств вследствие недостаточной координированности их работы с соответствующими службами и управлениями МО РФ. Такое воздействие будет приводить к поражению каналов как радиальных, так и рокадных направлений связи сети. Однако применение в ППК сигналов с расширением спектра будет приводить в таких условиях к восстановлению каналов направлений связи вследствие адаптации ППК к конкретной помеховой обстановке.

Пропускная способность ППК, выражаемая числом каналов, будет представляться в виде циклического временного кадра, содержащего конечное число временных окон (тайм-слотов). Количество информации, размещаемое в тайм-слоте, представляет собой коммутируемую единицу информации (КЕИ). Одна конкретная КЕИ во всех кадрах функционирования ППК представляет собой единственный канал связи с минимальной скоростью передачи информации $V_{ни}$. Абоненту сети, ведущему информационный обмен, предоставляется один, два и более тайм-слотов, что соответствует предоставлению ему канала со скоростью $V_{ни}$, $2V_{ни}$ и более. У каждого ППК такой временной кадр имеется как «по передаче», так и «по приему». При этом передающее устройство ППК работает на одной частоте, а его приемное устройство - на другой. Все ППК, размещаемые в узлах се-

ти, являются однотипными, следовательно, общая структура кадра у всех ППК одинакова (см. рис. 1.14)

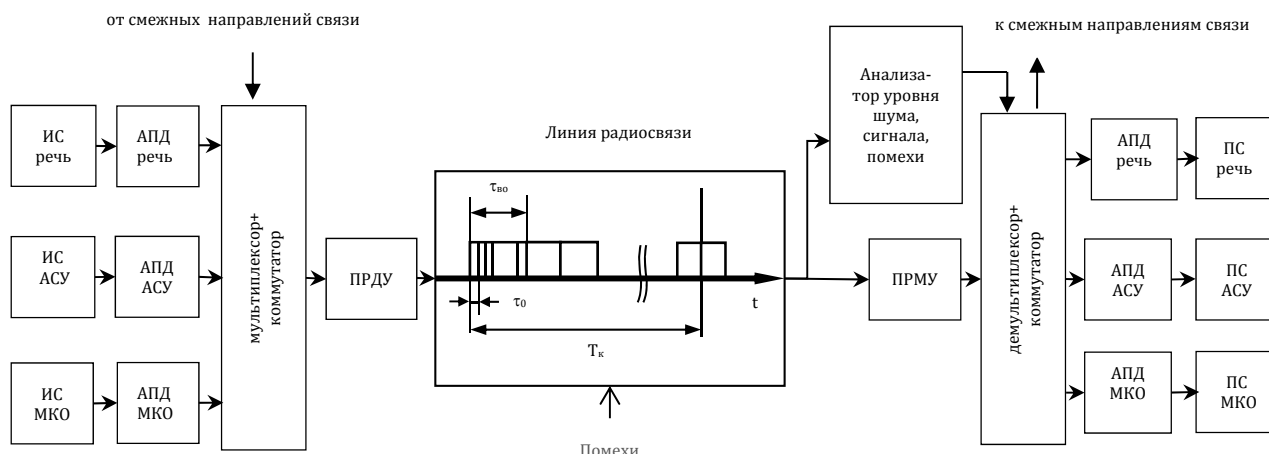


Рисунок 1.14 - Структура многоканального направления радиосвязи с временным разделением каналов, обслуживающая абонентов трех типов в режиме ПКТ

На рис. 1.15 представлена диаграмма требований к величине $C/(\text{шум}+\text{помеха})$ в направлении связи, обеспечивающих заданную вероятность битовой ошибки p_0 разным типам абонентов. Из диаграммы ясно, что одна и та же помеха воздействует одинаково на все ВО кадра, увеличивая текущую величину p_0 , вызывая при этом поражение каналов одних абонентов и не создавая поражение каналов другим абонентам[44].

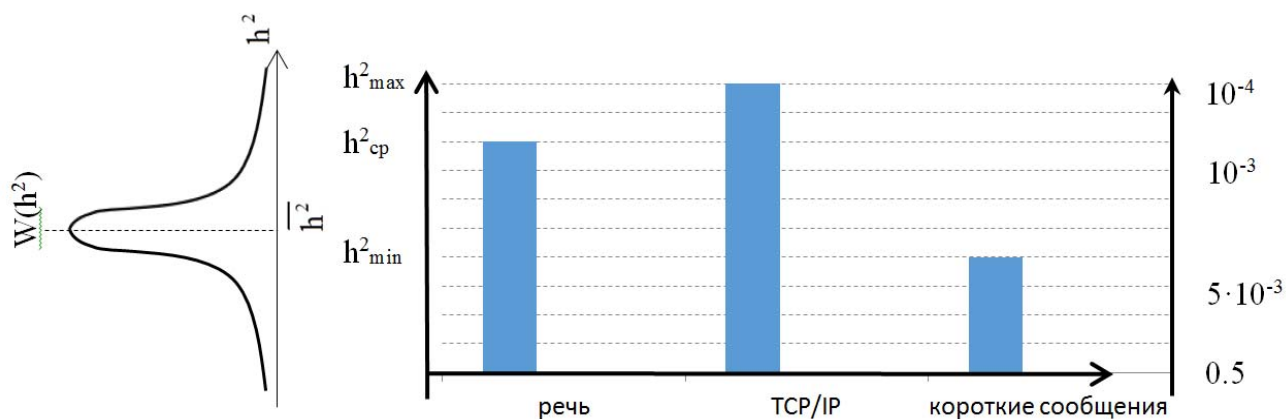


Рисунок 1.15 – Диаграмма требований к величине $C/\text{шум}$ в направлении связи, обеспечивающих заданную вероятность битовой ошибки разным типам абонентов

Информация всех абонентов, представленная в дискретном виде, поступает на вход своей аппаратуры передачи данных (АПД), которая осуществляет помехоустойчивое кодирование, обеспечивающее требуемую достоверность доставки

сообщений с учетом максимально допустимой битовой ошибки для каждого типа абонентов. Затем, в мультиплексоре осуществляется объединение потоков дискретной информации в общий поток, при этом коммутатор, с учетом скорости работы каждого абонента, заполняет данным потоком нужное число свободных тайм-слотов кадра, выделяемых в режиме ПКТ. На приемной стороне коммутатор + демультимплексор «сортируют» заполненные тайм-слоты по разным абонентам, что обеспечивает доставку им сообщений с требуемой скоростью. Кроме того, в рассматриваемое направление связи сети могут поступать потоки сообщений таких же абонентов из смежных направлений (при подавлении их помехами)[43].

Отметим, что разная скорость абонентов отображает простейшие потоки их заявок на информационный обмен в неординарные потоки заявок, так как каждая заявка требует своего числа тайм-слотов кадра (временных окон), чем нарушается свойство ординарности заявки[43,44].

Одной из важных задач построения любой системы и сети обмена информацией является задача обоснования ее требуемой пропускной способности. Применительно к сети цифровой радиосвязи данное требование выливается в требование обоснования пропускной способности ее формирующих ППК. Последнее требует обоснования структуры временного кадра ППК данной радиосети (числа его временных окон, нужных для требуемого обслуживания заявок абонентов).

Введем ряд следующих допущений[40,42,120-122].

Допущение 1. Синхронизация в цифровой УКВ радиосети установлена и поддерживается ее подсистемой синхронизации даже в условиях помех.

Допущение 2. В узлах цифровой УКВ радиосети размещены одностипные ППК с одинаковой структурой временного кадра, формирующие направления связи, по которым передается информационная нагрузка всех абонентов.

Допущение 3. На каждом узле базового сегмента цифровой УКВ радиосети имеются абоненты трех типов: АСУ, речевые, МКО, ведущие информационный обмен по каналам направления связи, выделяемым по требованию (режим ПКТ).

Допущение 4. ЗУ АСУ ведут информационный обмен с минимальной скоростью 1200 бит/с, и их заявки требуют предоставления одного ВО, вероятность

битовой ошибки в котором $p_0 \leq 5 \cdot 10^{-3}$. Речевые абоненты ведут информационный обмен с минимальной скоростью 2400 бит/с, и их заявки требуют предоставления двух ВО, вероятность битовой ошибки в котором $p_0 \leq 10^{-3}$. Абоненты МКО ведут информационный обмен с минимальной скоростью 4800 бит/с, и их заявки требуют предоставления четырех ВО, вероятность битовой ошибки в котором $p_0 \leq 10^{-4}$

Допущение 5. Для абонентов каждого типа известна их информационная нагрузка: интенсивность возникновения потребностей в информационном обмене (средний интервал между заявками \bar{T}), средние длительности информационного обмена $\bar{\theta}$ и количество требуемых ВО. Информационная нагрузка для каждого типа абонентов является стационарной и принята максимально возможной по всем вариантам выполнения задач.

Допущение 6. Анализу подлежит базовый сегмент цифровой УКВ радиосети, представляющий собой радиальную сеть с рокадными связями. В базовом сегменте цифровой УКВ радиосети имеется один главный узел и три подчиненных узла, соединенные четырьмя направлениями связи

Допущение 7. Помехи способны полностью поразить два из трех радиальных направления и одно рокадное направление базового сегмента сети. Каналы остальных направлений связи базового сегмента сети поражаются неполностью. При этом поражаемые каналы способны отстраиваться от помех вследствие адаптации ППК к помеховой обстановке. Процессы поражения и восстановления (отстройки) каналов от помех являются простейшими (с восстановлением требуемого числа ВО, определяемого типом абонента). Параметры данных процессов известны. Порог числа поражаемых каналов известен.

Допущение 8. Мониторинг сети и управление проключением каналов осуществляет аппаратура управления радиосвязью (АУР), входящая в состав каждого ППК. Взаимодействие АУР всех ППК происходит по специально выделенным для этого каналам из общей пропускной способности сети. Средняя длительность проключения каналов гораздо меньше средней длительности информационного обмена абонентов рассматриваемой сети.

Из физики процесса информационного обмена всех абонентов ясно, что в каждом направлении от главного узла базового сегмента сети до каждого подчиненного узла должны быть каналы (ВО), используемые данными абонентами по мере возникновения потребности в связи в режиме ПКТ. Нахождение числа таких каналов осуществляется методами теории телетрафика, при этом общее число каналов рассматривается как полнодоступная коммутационная схема (ПКС)[94,100,103,104,146,145,161].

Для режима без помех минимально достаточное число данных каналов (ВО) (ёмкость ПКС) можно найти известными методами теории телетрафика [94,100,103,104,146,145,161]. При этом необходимо задаться допустимой вероятностью отказа и, зная параметры информационной нагрузки, можно по формулам Эрланга или Энгсета найти искомое значение числа каналов. Однако, эти формулы применимы для случая отдельной стратегии использования каждым абонентом пула своих каналов, при этом полученное общее число таких каналов является завышенным[104].

В режиме с помехами информационная нагрузка данных абонентов из пораженных радиальных направлений связи должна быть обслужена каналами сохранившегося радиального направления и каналами рокадных направлений. Если бы сохранившееся радиальное направление не подвергалось воздействию помех, то его минимально достаточное число каналов, нужное для обслуживания указанной нагрузки, также находилось бы по формулам Эрланга или Энгсета. Кроме того, вследствие использования в ППК сигналов с расширением спектра и реализации при этом механизма адаптации к помеховой обстановке, в данном направлении связи будут происходить процессы поражения и восстановления каналов. Нахождение минимально достаточного числа каналов такого направления связи в условиях неординарной нагрузки и неординарного потока поражения и восстановления каналов связи – новая задача теории телетрафика. [41,44].

Вообще нахождение требуемого коммуникационного ресурса для системы связи с незакрепленными каналами есть классическая задача теории телетрафика.

Данная задача решалась для разных условий, при этом получен ряд интересных результатов. Базовыми понятиями при этом являются следующие [83,90,95,103]:

- требуемый коммуникационный ресурс системы связи (ТКР);
- емкость полнодоступной коммутационной схемы (ПКС);
- входной и выходной потоки заявок (ординарный, неординарный);
- законы распределения входных и выходных потоков заявок (ординарный, неординарный);
- законы распределения длительностей обслуживания заявок.

В теории телетрафика найдены аналитические выражения, позволяющие рассчитывать вероятность отказа в обслуживании заявок в зависимости от емкости ПКС, характера входных потоков и экспоненциального закона обслуживания заявок. К таким зависимостям относятся [103,104]:

- первая и вторая формулы Эрланга (случай бесконечного числа абонентов);
- формула Энгсета (случай конечного числа абонентов);
- обобщение формул Эрланга, осуществленное Шнепсом для неординарных потоков;
- обобщение Букейхановым формулы Энгсета для неординарных потоков.

Однако, практика использования обобщений формул Эрланга и Энгсета на случай неординарной нагрузки показывает, что их применение в инженерных расчетах крайне сложно, причем с увеличением емкости ПКС степень сложности применения возрастает. Следует отметить также, что все аналитические результаты были получены в предположении об абсолютно надежных и непоражаемых помехами различной природы каналах ПКС.

Рассматриваемое многоканальное направление связи имеет специфику, отличающую его исследование от известных результатов:

1. Каждый из абонентов (АСУ, речь, МКО) требует свою вероятность битовой ошибки p_0 (10^{-2} , $5 \cdot 10^{-3}$, 10^{-4}), свою вероятность отказа в предоставлении канала (числа временных окон), исходя из скорости своего канала (10^{-3} , $5 \cdot 10^{-3}$, 10^{-3}), свою скорость передачи информации, а значит и свое число временных окон (1, 2, 4).

2. Воздействующие помехи снижают величину h^2 во всех ВО кадра, не всегда вызывая поражение каналов тех или иных абонентов (следствие из п. 1).

3. Отстройка от помех происходит, например, путем повышения энергетики сигнала за счет кратного увеличения его длины. Данная процедура, будем полагать, происходит мгновенно или, по крайней мере, за время, гораздо меньшее длительности информационного обмена.

Тогда задача нахождения ТКР направления связи в формальной постановке будет иметь следующий вид. Пусть

R – количество типов абонентов с их требованиями по допустимой вероятности битовой ошибки $p_{0\text{доп}}$ и допустимой вероятности отказа в обслуживании $P_{\text{отк доп}}$.

Вероятность отказа в обслуживании возникшей заявки от абонента r -того типа по причине отсутствия свободных каналов в направлении связи рассматриваемой сети будет иметь следующий вид [41]

$$P_{\text{отк}}^r = f (V^r, N^r, \alpha^r, \mu^r, a^r, b^r, l^r), \quad (1.8)$$

где

V^r – число каналов направления связи, обслуживающих всех абонентов;

N^r – число абонентов по типам трафика;

α^r – интенсивность потока от одного абонента каждого типа;

μ^r – интенсивность потока обслуживания от одного абонента каждого типа;

a^r – интенсивность потока поражений каналов направления связи помехами;

b^r – интенсивность потока восстановления пораженных каналов направления связи за счет механизма адаптации к помехам ;

l^r – максимально возможное число (порог) поражаемых каналов направления связи помехами.

Аналитической и какой-либо иной зависимости для выражения (1.8) не существует. Следовательно, решить задачу анализа для направления связи базового сегмента рассматриваемой сети пока невозможно. Тем более не существует

зависимости, позволяющей находить V по другим известным величинам. Следовательно, новой является и задача нахождения ТКР каждого направления связи базового сегмента рассматриваемой сети в указанных условиях.

Отметим, что рассматриваемое направление связи базового сегмента сети является наиболее напряженным. Следовательно, найденное значение его пропускной способности (число каналов) будет максимальным из всех направлений базового сегмента сети. Поскольку все ППК в сети однотипны, получаем, что таким образом найдена искомая пропускная способность всего базового сегмента сети, а следовательно и всей сети в целом. Возникающий избыток пропускной способности в тех или иных направлениях связи можно использовать для повышения, например, помехоустойчивости отдельных каналов направления связи.

В данной работе предлагается следующий путь решения задачи нахождения емкости (числа каналов) наиболее загруженного направления связи такой сети в рассматриваемых условиях [41].

Пусть задана $P_{отк.дон}^r$ - допустимая вероятность отказа в обслуживании возникшей заявки r -того абонента для режима с помехами. Требуется найти

$$V_r^* = \min \left[\arg \left[P_{отк}^r = f(V^r, N^r, \alpha^r, \mu^r, a^r, b^r, l^r) \leq P_{отк.дон}^r \right] \right] \quad (1.9)$$

$$V^r \in [V_{\min}^r, V_{\max}^r]$$

при ограничениях:

$$N^r = const; \alpha^r = const; \mu^r = const; a^r = const; b^r = const; l^r = const.$$

где V_{\min}^r - минимальное число каналов направления связи, рассчитанное для режима без помех;

V_{\max}^r - максимально возможное (потенциальное) число каналов направления связи. Данная величина определяется техническими параметрами ППК.

Поскольку аналитической зависимости для выражения 1.9 не существует, то задачу нахождения числа каналов направления связи будем решать численно, в частности, методом направленного перебора [41,44].

Первоначально число каналов радиального направления связи рассчитывается для условий отсутствия поражений и восстановления каналов. При этом используется формула Эрланга или Энгсета. Критерием нахождения является следующее условие

$$P_{отк}^r \leq P_{отк.доп}^r \quad (1.10)$$

Найденная величина является нижней границей $V^{ниж.}$, от которой осуществляется нахождение V^* методом полного перебора. При этом, начиная со значения $(V^{ниж.} + 1) = V_{текущ.}$ для каждой ПКС, отображающей радиальное направление связи в условиях поражения и восстановления каналов при фиксированном (заданом) пороге их поражения, поступаем следующим образом:

- 1) синтезируем систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) для вероятностей состояний ПКС, описывающую поведение системы связи в установленном режиме для заданных условий;
- 2) одним из известных методов численно решаем сформированную СЛАУ;
- 3) выделяем среди всех решений системы множество решений, определяющих вероятность отказа и находим её;
- 4) сравниваем найденную $P_{отк}$ с $P_{отк}^{доп}$;
- 5) при невыполнении неравенства (1.10) увеличиваем значение $V_{текущ.}$ на единицу и повторяем этапы с 1 по 4;
- 6) при выполнении неравенства (1.10) $V_{текущ.}$ становится V^* .

Таким образом находится минимально достаточная величина числа каналов направления связи для r -го типа абонентов в рассматриваемых условиях (r -й пул каналов). Общее число каналов будет равно сумме всех пулов. Предложенный подход к решению задачи о нахождении ТКР системы связи с ПКТ в условиях их частичного поражения и восстановления требует знания следующего.

Во-первых, необходимо знать информационную нагрузку всех абонентов по их типам.

Во-вторых, предложенный метод нахождения ТКР требует знания величин a и b , описывающих потоки поражения и восстановления каналов, Определение

конкретных величин a и b является сложной и интересной прикладной задачей, имеющей самостоятельное значение. В рамках данной работы величина $a = \lambda_{\text{возд}}$ (см. п. 1.3). Значение величины b находится из времени вхождения ППК в синхронизм при обработке сигналов с расширением спектра. Будем считать, и на то есть основания, что поток поражений каналов системы связи является простейшим, а время восстановления каналов распределено по показательному закону. И для решения поставленной задачи – нахождения ТКР системы связи с незакрепленными каналами, будем задаваться численными значениями a и b [44].

Таким образом, нахождение ТКР рассматриваемой цифровой УКВ радиосети выливается в задачу нахождения числа каналов направления связи базового сегмента сети для условий поражения и восстановления его каналов с фиксированной величиной порога поражения, что, в свою очередь, определяет структуру временного кадра рассматриваемого ППК, на основе которого строится вся цифровая радиосеть.

Для этого требуется решить следующие частные подзадачи [44,120,122].

1. Анализ цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех и выбор направлений исследования.

2. Разработка математической модели функционирования направления связи базового сегмента цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех.

3. Разработка методики нахождения и расчет требуемой пропускной способности цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами.

Решению поставленных задач и посвящена настоящая диссертационная работа.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБСЛУЖИВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ АБОНЕНТОВ В БАЗОВОМ СЕГМЕНТЕ ЦИФРОВОЙ УКВ РАДИОСЕТИ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

2.1 Анализ информационной нагрузки, приходящейся на направления связи базового сегмента УКВ радиосети от всех его абонентов в условиях помех

Для примера на рисунке 2.1 схематично представлен базовый сегмент цифровой сети УКВ радиосвязи иерархической структуры, где информационный обмен между абонентами различных типов ведется по направлениям радиосвязи в условиях помеховых воздействий. Если в сети связи исправны все основные направления связи, информационный обмен осуществляется по схеме (рисунок 2.1). В случае выхода из строя основного направления связи информационная нагрузка (цифровой поток) перераспределяется по другим направлениям связи.

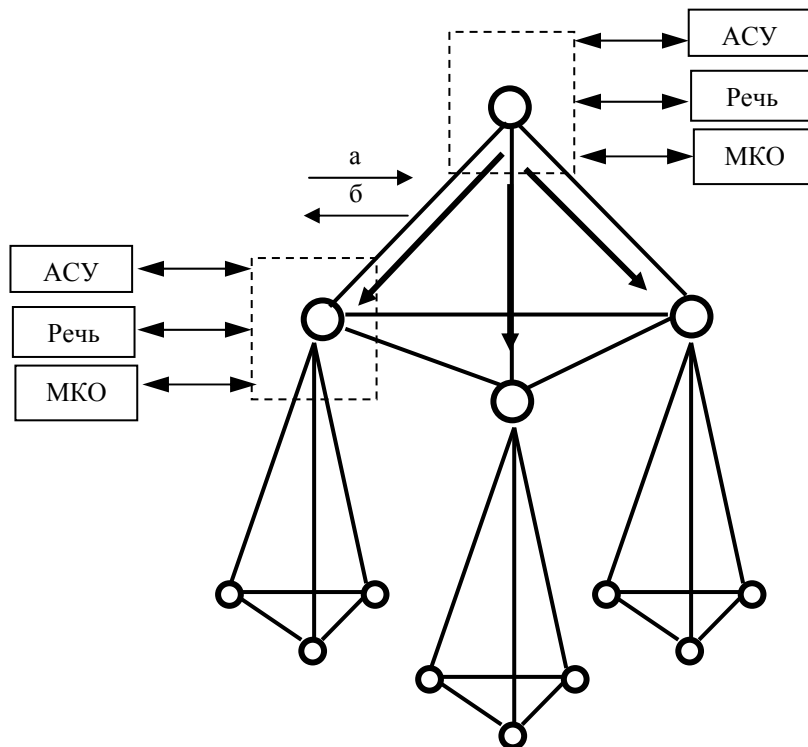


Рисунок 2.1 – Схема ведения информационного обмена абонентов в цифровой УКВ радиосети без помех

На рисунках 2.2 и 2.3 схематично представлен вариант перераспределения нагрузки в случае выхода из строя одного и двух основных направлений связи. Доведение информации до нижнего ЗУ осуществляется за счет исправных направлений и рокадных связей.

В данном случае при худшем варианте развития событий, когда вышло из строя два основных направления связи, доведение информации осуществляется через рокадные ППК по схеме, представленной на рисунке 2.4.

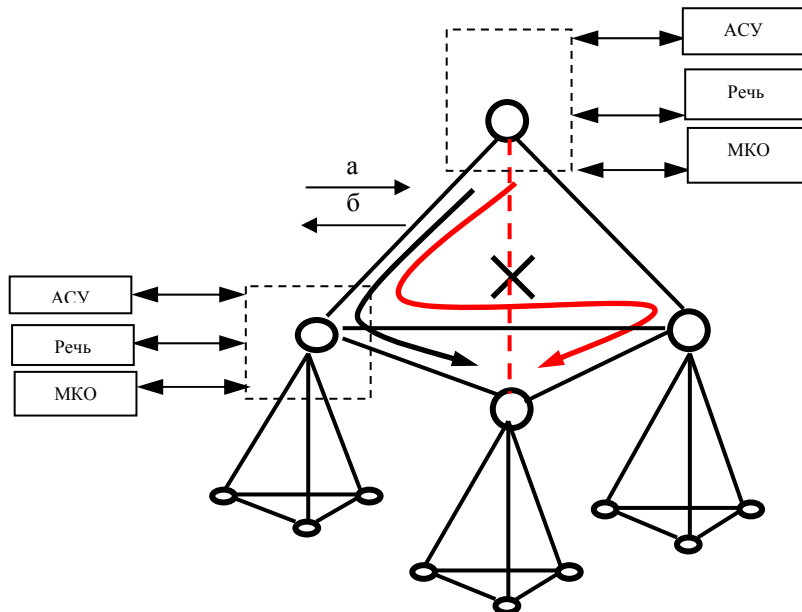


Рисунок 2.2 - Вариант реконфигурации сети при поражении одного радиального направления связи

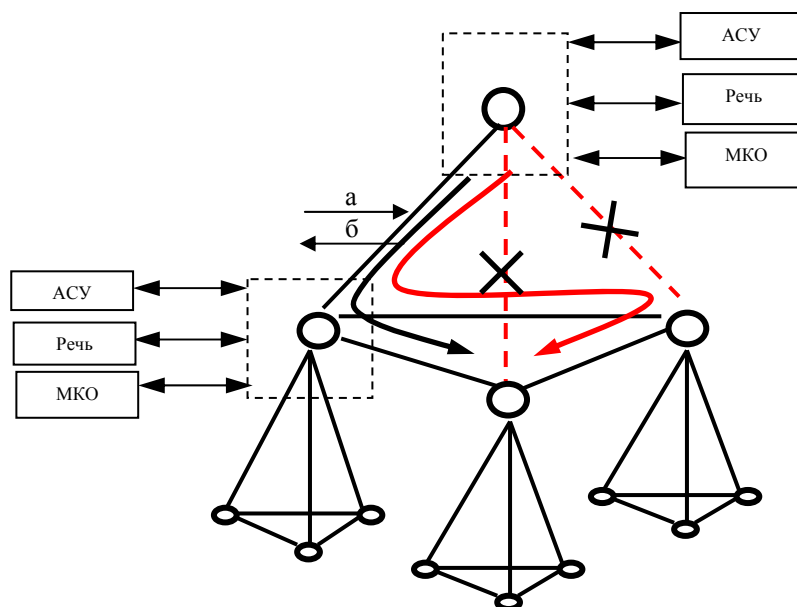


Рисунок 2.3 - Вариант реконфигурации сети при поражении двух радиальных направлений связи

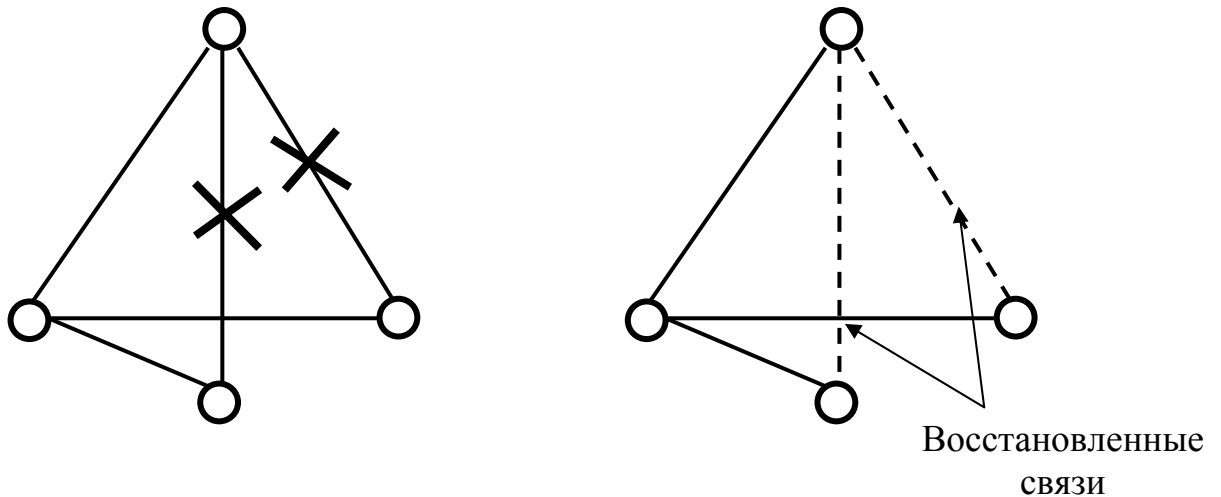


Рисунок 2.4 - Вариант реконфигурации сети при поражении двух радиальных направлений связи в базовом сегменте

Доведение информации до всех подчиненных узлов возможно даже в случае выхода из строя двух радиальных направлений связи и одного рокадного направления. Вариант реконфигурации сети в этом случае представлен на рисунке 2.5.

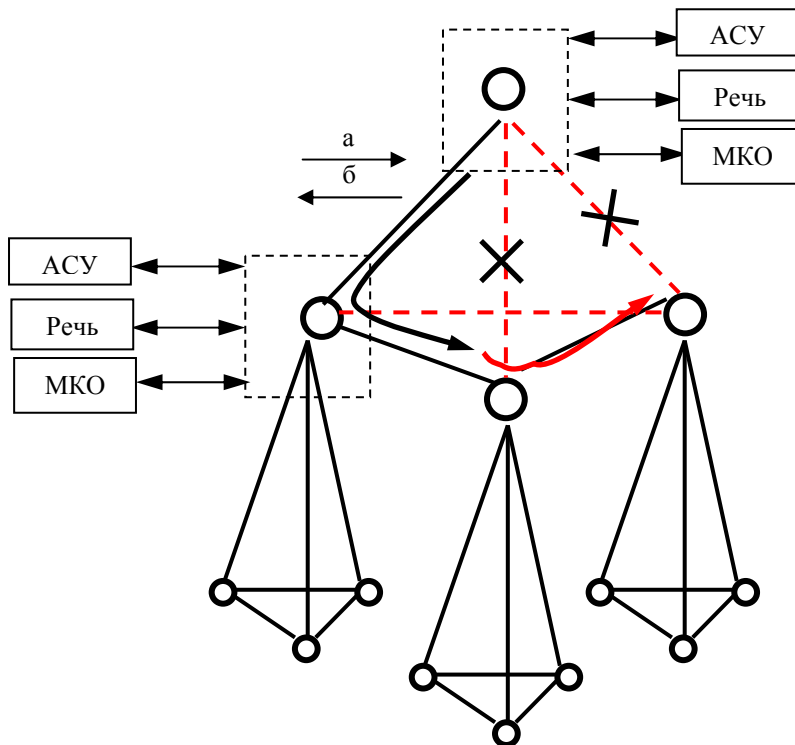


Рисунок 2.5 - Вариант реконфигурации сети при поражении двух радиальных направлений и одного рокадного

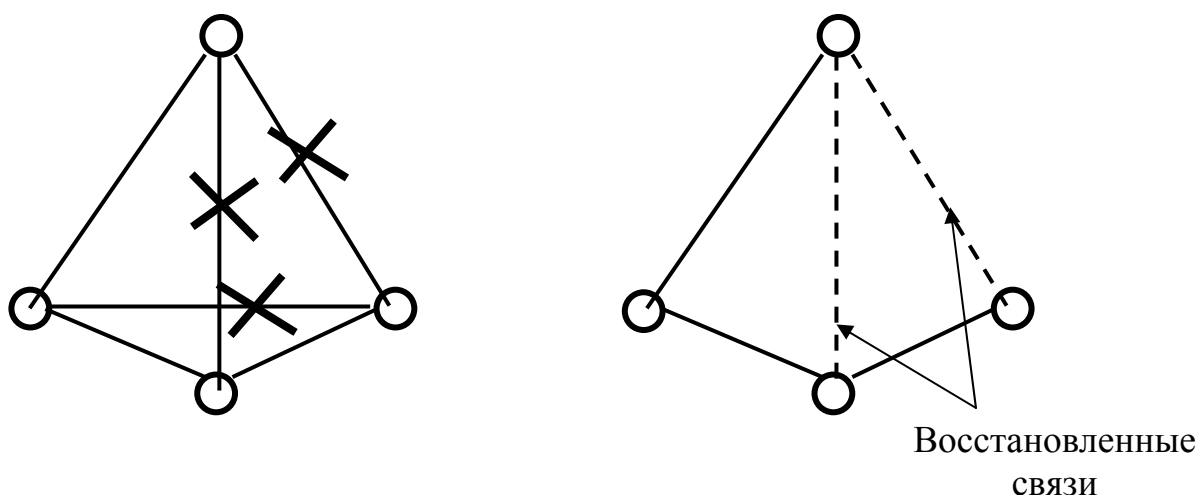


Рисунок 2.6 – Схема поражения и восстановления рокадных каналов связи

Подчеркнем, что проведенные выше выкладки и расчеты справедливы только для частного случая, когда для каждой категории абонентов различных узлов выделялся свой канал. При этом предполагалось, что эти каналы не подвергаются воздействию помех.

В реальных условиях информационная нагрузка от различных категорий абонентов может быть разной, а помехи могут поразить всю совокупность каналов связи в направлении. Это накладывает дополнительные ограничения на процесс информационного обмена в базовом сегменте сети и требует разработки специального методического аппарата нахождения требуемой пропускной способности радиального и рокадного направлений связи цифровой УКВ радиосети АСУ ОН.

Для нахождения ТКР ППК перспективной цифровой УКВ радиосети необходимо провести анализ циркулирующих в ней потоков информации.

ЗУ АСУ в зоне ЧС обмениваются между собой сообщениями небольших объемов, ёмкость которых не превышает одного – трёх Кбит. Информационный обмен осуществляется по протоколу канального уровня типа X.25, работающего по способу решающей обратной связи. При этом допускается высокая вероятность битовой ошибки $p_0 \leq 5 \cdot 10^{-3}$, что приводит к многократным передачам пакетов сообщения, нужным для обеспечения высокой достоверности доставки. В этом случае средний интервал информационного

обмена равен 30 с. При этом обмен такими сообщениями осуществляется через средний интервал времени равный 15-30 минут[120,121].

Речевой обмен осуществляется согласно требований руководящих документов за средний интервал времени не более трех минут, при этом средние интервалы между обменами лежат в пределах 10-30 минут.

Абоненты МКО обмениваются сообщениями, ёмкость которых в среднем не превышает одного Мбит. При этом реализуется TCP/IP подобный протокол, работающий на каналах связи с низкой вероятностью битовой ошибки $p_0 \leq 10^{-4}$ и средний интервал времени между такими сообщениями не превышает 60-ти минут[120,121]. Обобщение данных результатов осуществлено и представлено в виде таблицы 2.1.

Таблица 2.1 – Параметры информационной нагрузки абонентов УКВ радиосети без помех

Тип абонента	Параметры информационной нагрузки	
	$\bar{\theta}, \text{с}$	$\bar{T}, \text{с}$
АСУ	30	900
Речь	180	600
МКО	600	3600

Известно, что направление связи содержит совокупность рабочих каналов, переносящих абонентский трафик, и совокупность дополнительных каналов, которые используются вместе с рабочими каналами при сеансе информационного обмена для переноса трафика только при наличии помехи.

Для нахождения требуемого числа дополнительных каналов в ПКС необходимо знать дополнительный трафик, вызванный помеховыми воздействиями – помеховый трафик. На рисунке 2.7 представлена диаграмма образования помехового трафика

Пусть средняя длительность сеанса информационного обмена $\bar{\theta}_{ио}$ и средняя продолжительность помехи $\bar{\theta}_{п}$. Необходимо найти среднюю длительность воздействия помехи $\bar{\tau}_{п}$ на сеансе информационного обмена.

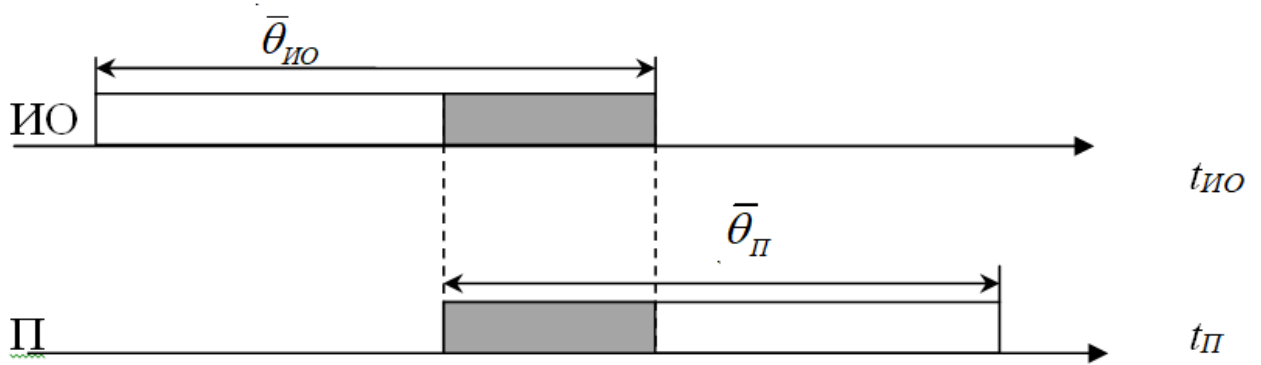


Рисунок 2.7 – Диаграмма образования помехового трафика

Из теории телеграфика известно, что длительность информационного обмена распределена по экспоненциальному закону с параметром $\bar{\theta}_{ИО}$ и имеет вид (2.1). Анализ помеховых воздействий показал, что их длительность также имеет экспоненциальный закон распределения с параметром $\bar{\theta}_{П}$ (2.3)

$$W_1(t_{ИО}) = \mu_{ИО} e^{-\mu_{ИО} t_{ИО}} \quad (2.1)$$

$$\text{где } \mu_{ИО} = \frac{1}{\bar{\theta}_{ИО}} \quad (2.2)$$

$$W_1(t_{П}) = \mu_{П} e^{-\mu_{П} t_{П}} \quad (2.3)$$

Тогда в предположении независимости процессов информационного обмена и помехи плотность вероятности для интервала пересечения τ информационного обмена и помехи будет находиться через свертку распределений [32-34]

$$W_1(\tau) = \int_0^{\infty} W_1(t_{ИО}) \cdot W_1(t_{ИО} - \tau) dt_{ИО} \quad (2.4)$$

или

$$W_1(\tau) = \mu_{ИО} \mu_{П} \int_0^{\infty} e^{-\mu_{ИО} t_{ИО}} \cdot e^{-\mu_{П} (t_{ИО} - \tau)} dt_{ИО}$$

Проведя соответствующие преобразования, получим

$$W_1(\tau) = \frac{\mu_{ИО} \mu_{П}}{\mu_{ИО} + \mu_{П}} e^{-\mu_{П} \tau} \quad (2.5)$$

Средний интервал пересечения помехи с длительностью информационного обмена получим так [32]

$$\bar{\tau}_{\Pi} = \int_0^{\infty} \tau W_1(\tau) d\tau = \frac{\mu_{\Pi}}{\mu_{\text{ИО}}(\mu_{\text{ИО}} + \mu_{\Pi})} \quad (2.6)$$

Учитывая, что

$$\mu_{\text{ИО}} = \frac{1}{\bar{\theta}_{\text{ИО}}} \quad (2.7)$$

$$\mu_{\Pi} = \frac{1}{\bar{\theta}_{\Pi}} \quad (2.8)$$

Имеем

$$\bar{\tau}_{\Pi} = \frac{\bar{\theta}_{\text{ИО}}^2}{\bar{\theta}_{\Pi} + \bar{\theta}_{\text{ИО}}} \quad (2.9)$$

Таким образом, найдена средняя длительность помехового воздействия. Для нахождения помехового трафика необходимо знать интенсивность помех λ_{Π} . Ее величина известна из анализа практики возникновения помех [134].

Однако, для нахождения помехового трафика необходимо прибавить те помеховые интервалы, которые пересекаются с информационным обменом. Следовательно, поток помеховых воздействий должен быть прорежен потоком информационного обмена, как показано на рисунке 2.7. Отсюда нужная для учета интенсивность помеховых воздействий будет находиться так

$$\lambda'_{\Pi} = \lambda_{\Pi} P_{\text{ИО}}(\bar{\tau}_{\Pi}), \quad (2.10)$$

где

$$P_{\text{ИО}}(\bar{\tau}_{\Pi}) = 1 - e^{-\lambda_{\Pi} \bar{\tau}_{\Pi}} \quad (2.11)$$

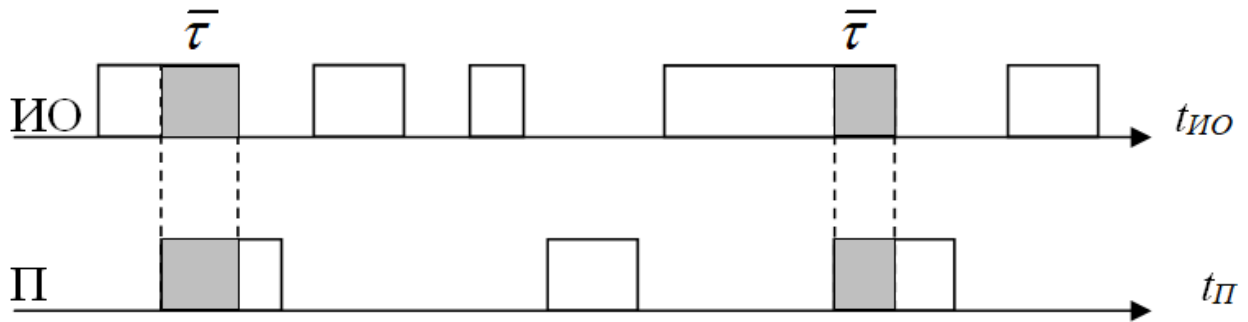


Рисунок 2.8 – Прореживание потока помеховых воздействий потоком сеансов информационного обмена

Таким образом, помеховый трафик будет находиться так:

$$y_{\Pi} = \frac{\lambda'_{\Pi}}{\frac{1}{\bar{\tau}}} = \lambda'_{\Pi} \bar{\tau} \quad (2.12)$$

2.2 Математическая модель функционирования направления связи базового сегмента цифровой УКВ радиосети с рокадными связями в условиях поражения и восстановления каналов

2.2.1 Случай ординарных потоков занятия-освобождения каналов и ординарных потоков поражения-восстановления каналов

Построение системы связи с незакрепленными каналами требует решения многих задач, главной из которых является задача обоснования требуемого коммуникационного ресурса (ТКР) системы. Сложность решения этой задачи для системы связи общего назначения заключается в том, что каналы системы связи будут подвержены влиянию многих факторов.

Помехи способны на некоторое время поразить определенную совокупность каналов системы связи, что приведет к снижению в ней общего коммуникационного ресурса (ОКР), а, следовательно, и к снижению качества обслуживания нагрузки.

Однако, ППК цифровой УКВ радиосети способны путем адаптации к помеховой обстановке восстановить пораженные каналы направлений связи[24,66,67]. Рассмотрение этих двух обстоятельств, имеющих место в реальных сетях связи, функционирующих в условиях противодействия, существенно усложняет задачу нахождения ТКР.

Рассматриваемая радиосеть связи должна обеспечивать требуемое качество доставки сообщений как в режима без помеховых воздействий, так и в режиме с помеховыми воздействиями. В условиях помеховых воздействий помехи в каналах будут создаваться в основном радиосредствами других министерств и ведомств, вследствие некоторой несогласованности работы их частотно-диспетчерских служб. Такую сеть радиосвязи можно рассматривать как известную в теории телетрафика полнодоступную коммутационную схему (ПКС), на вход которой поступает примитивный поток вызовов, который формируется конечным числом абонентов[41].

Рассмотрим искомую УКВ радиосеть с поражаемыми и восстанавливающимися каналами при следующих ограничениях[121]:

- в системе связи имеется V каналов;
- очередь заявок отсутствует;
- заявка, заставшая все каналы занятыми, получает отказ;
- помеха одновременно способна поразить только один канал;
- при поражении помехой канала, по которому велся информационный обмен, соответствующая заявка получает отказ;
- подсистема адаптации системы связи к помеховой обстановке одновременно способна отстроить от помех только один канал;
- накладывается ограничение на количество поражаемых каналов.

На рисунке 2.9 схематично показано направление радиосвязи, состоящее из пучка каналов $V_{<R>} = \langle V_1, V_2, \dots, V_R \rangle$, причем для всех абонентов каналы предоставляются по требованию. В направлении радиосвязи действуют абоненты разного типа, формирующие поток заявок различной интенсивности.

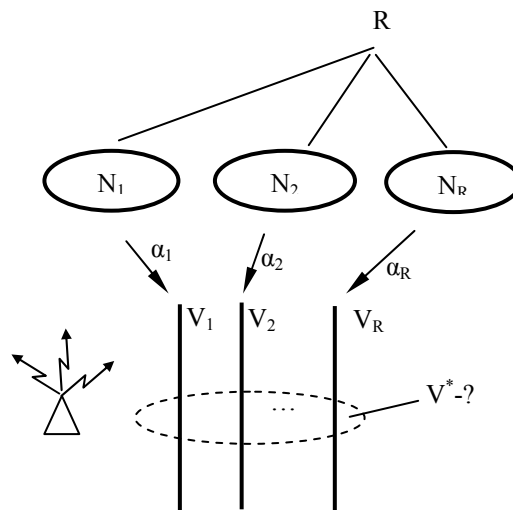


Рисунок 2.9 - Направление радиосвязи как пучок каналов

Показатель качества функционирования в данном случае в общем виде можно определить выражением [121]

$$P_{\text{дов}} = P_{\text{нал. к. с.}} * P_{\text{дов}} (t \leq t^{\text{дон}}), \quad (2.13)$$

где $P_{\text{дов}}$ – вероятность доведения сообщения.

$P_{\text{нал. к. с.}}$ - вероятность наличия канала связи;

$P_{\text{дов}}(t \leq t^{\text{дон}})$ - вероятность непосредственно процесса доведения сообщения за время, не превышающее $t^{\text{дон}}$, причем $P_{\text{дов}} \geq P_{\text{дов}}^{\text{mp}}$

Вероятность непосредственно процесса доведения сообщения - величина в основном зависящая от протокола информационного обмена, который, как правило, позволяет достигать значений, близких к единице. Поэтому можно сказать, что вероятность доведения сообщений в такой сети напрямую связана с вероятностью наличия канала связи. Отсюда актуальна задача нахождения требуемого коммуникационного ресурса (ТКР). Нахождение ТКР есть классическая задача теории телетрафика. Здесь найдены аналитические выражения, позволяющие рассчитывать вероятность отказа в обслуживании заявок в зависимости от емкости коммутационной схемы (КС), характера входных потоков и различных законах обслуживания заявок, при этом выделяют прямую и обратную задачи. Прямая задача есть задача анализа сети, и заключается в нахождении вероятности отказа в обслуживании поступающей заявки при заданной величине ТКР. Обратная задача есть задача синтеза и она заключается в нахождении ТКР, обеспечивающего вероятность отказа, не более допустимой. Отметим еще раз, что ТКР рассматривается как полнодоступная коммуникационная схема (ПКС) [103,104]. Спецификой данной ПКС является то, что в ней имеются абоненты трех типов: АСУ, речь, МКО.

Все известные подходы к нахождению емкости ПКС базируются на решении прямой задачи – нахождении вероятности отказа в обслуживании заявки по известной емкости ПКС в заданных условиях. Для анализируемого случая вероятность отказа ($P_{\text{отк}}^r$) относительно абонента r -го типа ($r = \overline{1, R}$; для нашего случая $R=3$) есть функция [41]

$$P_{\text{отк}}^r = f(V^r, N^r, \alpha^r, \mu^r, a^r, b^r, l^r), \quad (2.14)$$

где V^r – число каналов направления связи, обслуживающих всех абонентов;

N^r – число абонентов по типам трафика;

α^r – интенсивность потока от одного абонента каждого типа;

- μ^r – интенсивность потока обслуживания от одного абонента каждого типа;
- a^r – интенсивность потока поражений каналов направления связи помехами;
- b^r – интенсивность потока восстановления пораженных каналов направления связи за счет механизма адаптации к помехам ;
- l^r – максимально возможное число (порог) поражаемых каналов направления связи помехами.

Для рассматриваемой системы радиосвязи с незакрепленными каналами, в которой имеется V каналов, при простейшем общем входном потоке заявок с интенсивностью λ и временем обслуживания каждого вызова, распределенным по экспоненциальному закону со средним значением μ , данная вероятность определяется 1-ой формулой Эрланга [103,104]:

$$P_{отк} = \frac{\rho^v}{v!} \left[\sum_{i=0}^v \frac{\rho^i}{i!} \right]^{-1}, \quad (2.15)$$

где ρ - интенсивность поступающей нагрузки в Эрлангах;

v - число каналов в системе.

В случае, когда для анализируемой системы связи с незакрепленными каналами имеется память для вызовов емкостью m ячеек, искомая величина определяется 2-ой формулой Эрланга [103,104]:

$$P_{отк} = \frac{\rho^{v+m}}{v!v^m} \left[\sum_{i=0}^v \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^v}{v!} \sum_{s=1}^m \left(\frac{\rho}{v} \right)^s \right]^{-1}, \quad (2.16)$$

где m - число мест в очереди;

v - число каналов в системе.

Однако рассмотренные две модели являются в определенном смысле идеализированными и справедливы для случая, когда число абонентов стремится к бесконечности. В случае конечного числа абонентов входной поток вызовов является потоком с простым последствием или примитивным,

и для таких условий, в случае отсутствия памяти вызовов вероятность отказа определяется формулой Энгсета [103,104]:

$$P_{отк} = C_{N-1}^v \rho^v \left[\sum_{i=0}^v C_{N-1}^i \rho^i \right]^{-1}, \quad (2.17)$$

где ρ - интенсивность поступающей нагрузки от одного свободного абонента;

N - число абонентов;

V - число каналов в системе.

В случае, когда входной поток вызовов является неординарным пуассоновским и число абонентов бесконечно, вероятность отказа в обслуживании вызова определяется по обобщенной формуле Эрланга. Если же число абонентов в системе конечно, то искомая величина находится по обобщенной формуле Энгсета [155]

$$P_{отк} = \left[\sum_s \prod_{i=1}^R \frac{\rho_i^{x_i}}{x_i!} \right]^{-1} \sum_s \frac{\sum_{j=z+1}^R j S_j}{\sum_{j=1}^R j S_j} \prod_{i=1}^R \frac{\rho_i^{x_i}}{x_i!};$$

$S = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_R\}$ - множество вызовов;

$0 \leq x_i \leq E \left[\frac{\nu_r}{i} \right];$

$y = \sum_{i=1}^R i x_i \leq \nu_r, z = \min(R, k - y),$

(2.18)

где R - количество типов потоков, различающихся по числу потребных для обслуживания каналов (типов абонентов);

ρ_i - интенсивность нагрузки i - го потока.

Однако данные аналитические зависимости не учитывают факты поражения каналов системы связи помехами различной природы и их последующего восстановления за счет адаптации цифровых ППК к помеховой обстановке.

Аналитической и какой-либо иной зависимости для выражения (2.14) в общем виде не существует. Тем более не существует зависимости, позволяющей находить V по другим известным величинам. Следовательно, задачу нахождения ТКР можно решать численно, например, методом направленного перебора.

Нахождение искомой зависимости в рамках теории телетрафика базируется, в основном, на теории марковских процессов. При этом сеть радиосвязи в виде ПКС может рассматриваться как с бесконечным, так и с конечным числом абонентов; входные потоки заявок - как простейшие, с простым последствием, с ограниченным последствием, неординарные, так и потоки Эрланга и Пальма [33,103,104].

Основной характеристикой такой системы теория телетрафика рассматривает вероятность занятости определенного числа каналов. Для нахождения данной величины для каждого состояния системы составляется дифференциальное уравнение. Таким образом формируется система дифференциальных уравнений, позволяющая описать функционирование системы во времени и найти вероятности нахождения системы в том или ином состоянии. Приведем пример описания функционирования системы для одноканальной ПКС. Процесс функционирования рассматриваемой ПКС будет двумерным марковским процессом, объединяющим в себе процессы «занятия - обслуживания» вызовов и процесс «поражения-восстановления каналов». Граф переходов такой ПКС представлен на рисунке 2.8

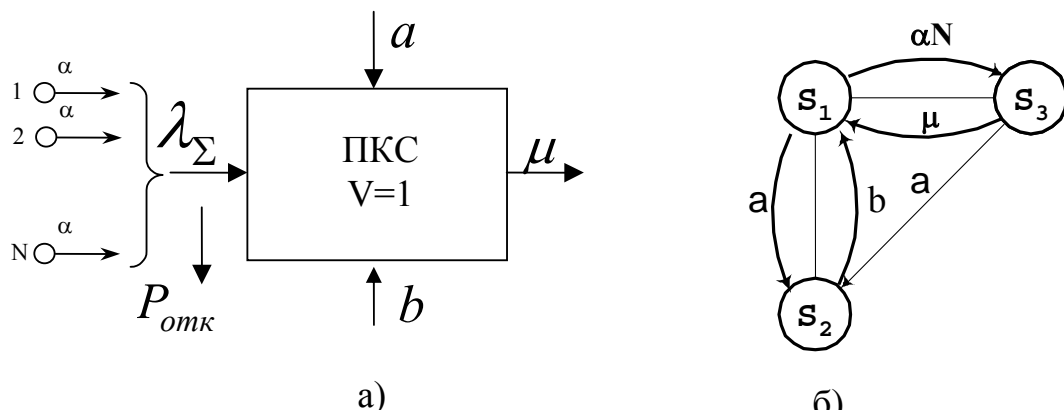


Рисунок 2.10 – а) Обобщенная структура одноканальной ПКС
 б) Граф переходов одноканальной ПКС

Система линейных однородных дифференциальных уравнений (СЛОДУ), описывающих динамику по времени вероятностей всех состояний ПКС будет иметь вид: [34].

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_1(t)}{dt} &= -(\alpha N + a)P_1(t) + bP_2(t) + \mu P_3(t), \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= aP_1(t) - bP_2(t) + aP_3(t), \\ \frac{dP_3(t)}{dt} &= \alpha N P_1(t) - (\mu + a)P_3(t). \end{aligned} \right\} \quad (2.19)$$

Вероятность отказа $P_{омк}$ в обслуживании поступающих заявок для рассматриваемой ПКС есть сумма вероятностей состояний ПКС, находящихся в графе переходов на его главной диагонали.

Матричное СЛОДУ имеет вид:

$$\frac{d\bar{P}(t)}{dt} = H \cdot \bar{P}(t) \quad (2.20)$$

где H – основная матрица системы

$$H = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & \bullet & h_{1K} \\ h_{21} & h_{22} & \bullet & h_{2K} \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ h_{K1} & h_{K2} & \bullet & h_{KK} \end{pmatrix}, \quad (2.21)$$

где h_{ij} – числовые коэффициенты при соответствующих неизвестных $P_i(t)$.

$\bar{P}(t)$ – матрица-столбец неизвестных вероятностей состояний ПКС.

$$\bar{P}(t) = \begin{pmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ \cdot \\ \cdot \\ P_K(t) \end{pmatrix} = (P_1(t), P_2(t), P_3(t), \dots, P_K(t))^T \quad (2.22)$$

Отметим, что численное решение СЛОДУ можно осуществить, например, методом Рунге-Кутты [26]. В настоящее время данный метод широко представлен многими программными средствами, реализуемыми на языках программирования высокого уровня.

При анализе функционирования таких систем делаются допущения о том, что такие системы находятся в состоянии статистического динамического равновесия, что соответствует установившемуся в них режиму функционирования. Для условий стационарного режима система дифференциальных уравнений вырождается в систему алгебраических уравнений (СЛАУ). Данная система может быть решена одним из известных методов [34]. Введение допущения такого рода требует анализа и оценки времени переходного процесса функционирования системы.

Для проведения такой оценки были сформированы СЛОДУ для графов различной размерности и получены значения финальных вероятностей и времени функционирования системы в переходном процессе с помощью программы, реализующей метод Рунге-Кутты.

Исходные данные для расчетов использовались, исходя из ТТХ аппаратуры различных категорий абонентов, и являлись аналогичными исходным данным для расчета ТКР. Количество каналов ПКС - от 1 до 7, интенсивности потоков поражения и восстановления каналов - $a = b = 0,05 \text{ с}^{-1}$, интенсивность потока заявок - $\alpha = 0,05 \text{ мин}^{-1}$, интенсивность потока обслуживания заявок - $\mu = 0,333 \text{ мин}^{-1}$, количество абонентов - 7. Результаты расчетов приведены в таблице 2.2

Таблица 2.2 – Результаты расчета вероятности отказа в обслуживании и времени функционирования ПКС в переходном режиме

Количество каналов связи ПКС (V)							
	1	2	3	4	5	6	7
$t_{\text{пер}}(\text{мин})$	0,6	0,8	1,2	1,64	1,73	1,85	2
$P_{\text{отк}}$	0,533	0,249	0,0918	0,0271	0,00653	0,00132	0,0002

Графики зависимости изменения величины $P_{\text{отк}}$ от времени функционирования системы для различного количества каналов ПКС (размерности графа) представлен на рисунке 2.11

На рисунке 2.12 представлены графики зависимости изменения величины $P_{отк}$ от времени функционирования системы для различной интенсивности потока поражений каналов.

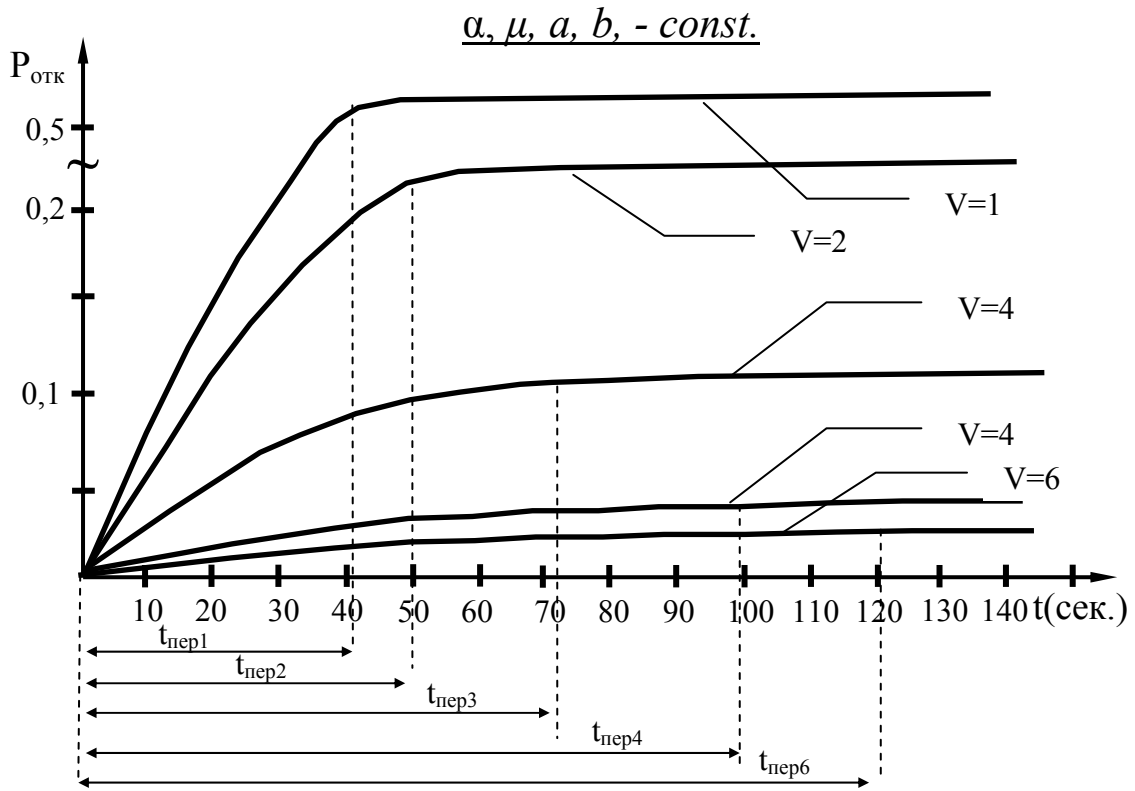


Рисунок 2.11 – Зависимость $P_{отк}$ от времени функционирования системы, при различном количестве каналов ПКС

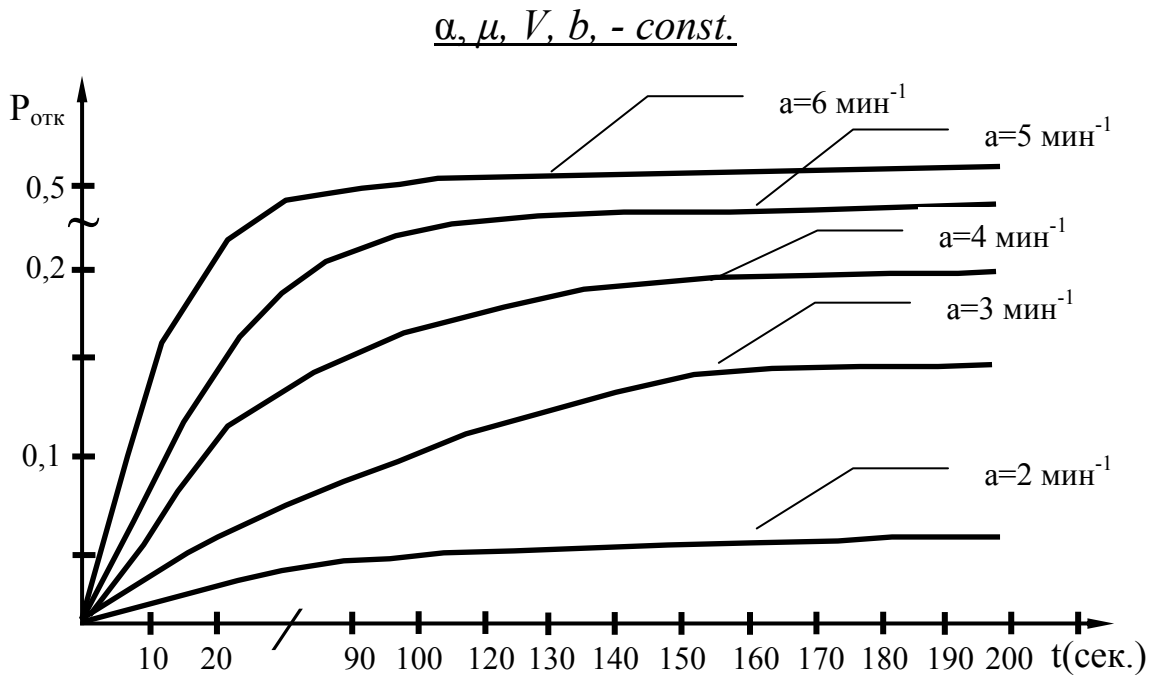


Рисунок 2.12 - Зависимость $P_{отк}$ от времени функционирования системы для различной интенсивности потока поражения каналов

Полученные результаты расчета позволяют сделать вывод, что время функционирования системы в переходном режиме зависит как от количества каналов ПКС (размерности графа переходов), так и от величин интенсивностей переходов между состояниями графа. Для используемых исходных данных и условий функционирования системы время переходного процесса не превышает 120 с, что по сравнению с временем воздействия на систему (временем работы источников промышленных помех), составляющим примерно 5-15 минут, является сравнительно малой величиной, которой можно пренебречь и считать, что система функционирует в установившемся режиме.

Данный вывод дает нам право описывать процесс обслуживания информационных потоков направлением связи с помощью СЛАУ для вероятностей состояний ПКС.

Для выявления общих закономерностей синтеза СЛАУ, описывающих ПКС в таких условиях, синтезируем СЛАУ для одно-, двух- и трехканальной ПКС.

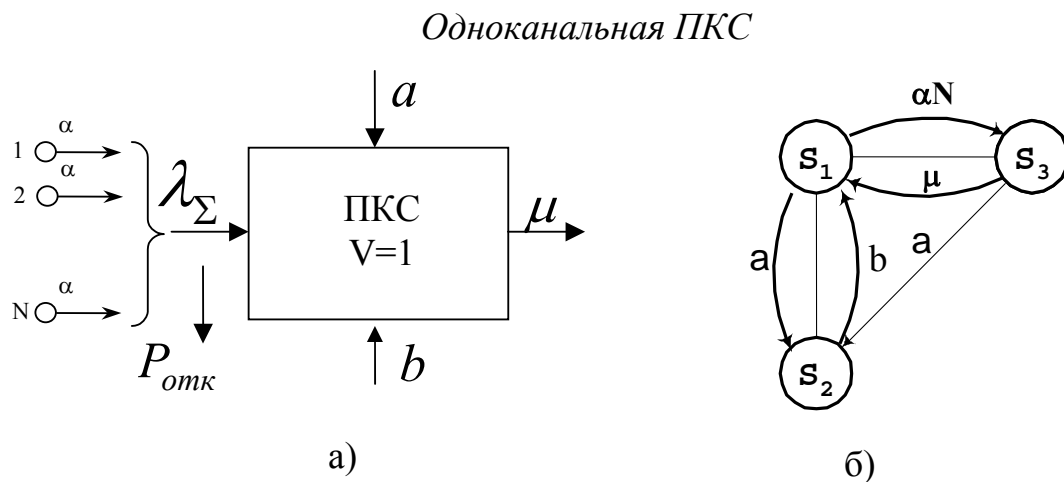


Рисунок 2.13 - а) Обобщенная структура одноканальной ПКС

б) Граф состояний и переходов одноканальной ПКС

Граф состояний и переходов одноканальной ПКС представлен на рисунке 2.13. Обозначим интенсивности переходов ПКС из состояния в состояние, отображенные в графе, следующим образом:

α - интенсивность входного потока заявок от одного абонента;

a - интенсивность потока поражений каналов;

μ - интенсивность потока обслуживания одного канала

($\mu = \frac{1}{M_r[t]}$, где $M_r[t]$ - среднее время обслуживания одной заявки

одним каналом или среднее время доведения сообщения);

b - интенсивность потока восстановления ($b = \frac{1}{T_{отстр.}}$, где $T_{отстр.}$ -

среднее время отстройки абонентской станции от помех).

Одноканальная ПКС с поражаемыми и восстанавливаемыми каналами может находиться только в одном из трех состояний:

S_1 - система свободна и не поражена помехой;

S_2 - система поражена помехой;

S_3 - система не поражена помехой и занята обслуживанием требования.

По графу, представленному на рисунке 2.13, формируем СЛАУ, неизвестными которой являются вероятности P_1, P_2, P_3 (вероятности того, что ПКС находится в состоянии S_1, S_2, S_3 соответственно). Система однородных уравнений имеет вид

$$\left. \begin{aligned} -(\alpha N + a)P_1 + bP_2 + \mu P_3 &= 0 \\ aP_1 - bP_2 + aP_3 &= 0 \\ \alpha NP_1 + 0P_2 - (a + \mu)P_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.23)$$

$$P_1 + P_2 + P_3 = 1 \quad - \text{уравнение нормировки.}$$

Решая синтезированную систему (2.16) уравнений совместно с уравнением нормировки, получаем выражения для вычисления вероятностей P_i ($i = \overline{1,3}$) через интенсивности α, μ, a, b .

$$P_1 = \frac{b(a + \mu)}{(a + b)(a + \mu + \alpha N)}, \quad (2.24)$$

$$P_2 = \frac{a}{a+b}, \quad (2.25)$$

$$P_3 = \frac{\alpha N b}{(a+b)(a+\mu+\alpha N)}, \quad (2.26)$$

Очевидно, что вероятность отказа $P_{отк.}$ в обслуживании поступающей заявки в случае одноканальной ПКС есть сумма вероятностей P_2 и P_3 , т.е. вероятностей состояний, стоящих на диагонали графа, представленного на рисунке 2.11.

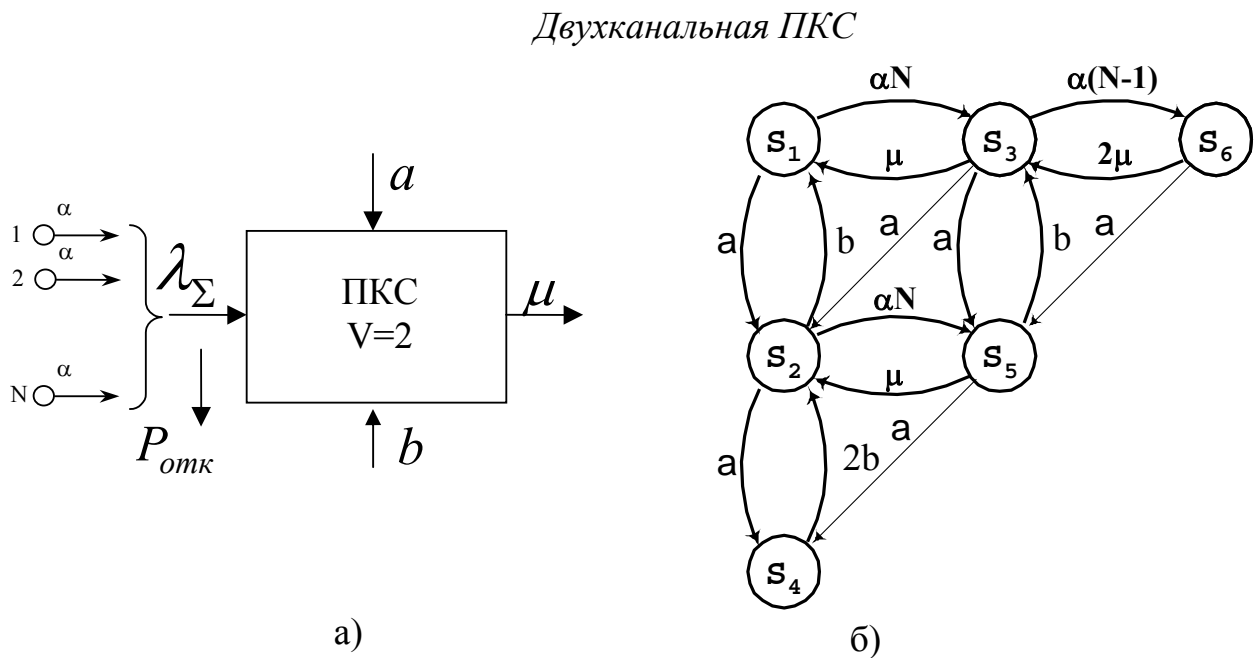


Рисунок 2.14 - а) Обобщенная структура двухканальной ПКС

б) Граф состояний и переходов двухканальной ПКС

Получим аналитическую модель для двухканальной ПКС в условиях ограничений, описанных выше.

Граф состояний и переходов 2-х канальной ПКС имеет вид, представленный на рисунке 2.14.

Состояния, в которых может находиться двухканальная ПКС таковы:

S_1 – оба канала системы связи свободны и не поражены помехой;

S_2 – оба канала СС свободны, но один из них поражен помехой;

S_3 – оба канала СС не поражены помехой и один канал занят обслуживанием заявки;

S_4 – оба канала СС поражены помехой;

S_5 – один канал СС поражен помехой, другой канал занят обслуживанием заявки;

S_6 – оба канала СС не поражены помехой и оба заняты обслуживанием заявки.

Аналитической моделью, описывающей функционирование двухканальной ПКС, будет система шести линейных однородных алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} -(\alpha N + a)P_1 + bP_2 + \mu P_3 &= 0 \\ aP_1 - (\alpha N + a + b)P_2 + aP_3 + 2bP_4 + \mu P_5 &= 0 \\ \alpha NP_1 - (\alpha(N-1) + \mu + 2a)P_3 + bP_5 + 2\mu P_6 &= 0 \\ aP_2 - 2bP_4 + aP_5 &= 0 \\ \alpha NP_2 + aP_3 - (\alpha N + \mu + a)P_5 + aP_6 &= 0 \\ \alpha(N-1)P_3 - (2\mu + a)P_6 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.27)$$

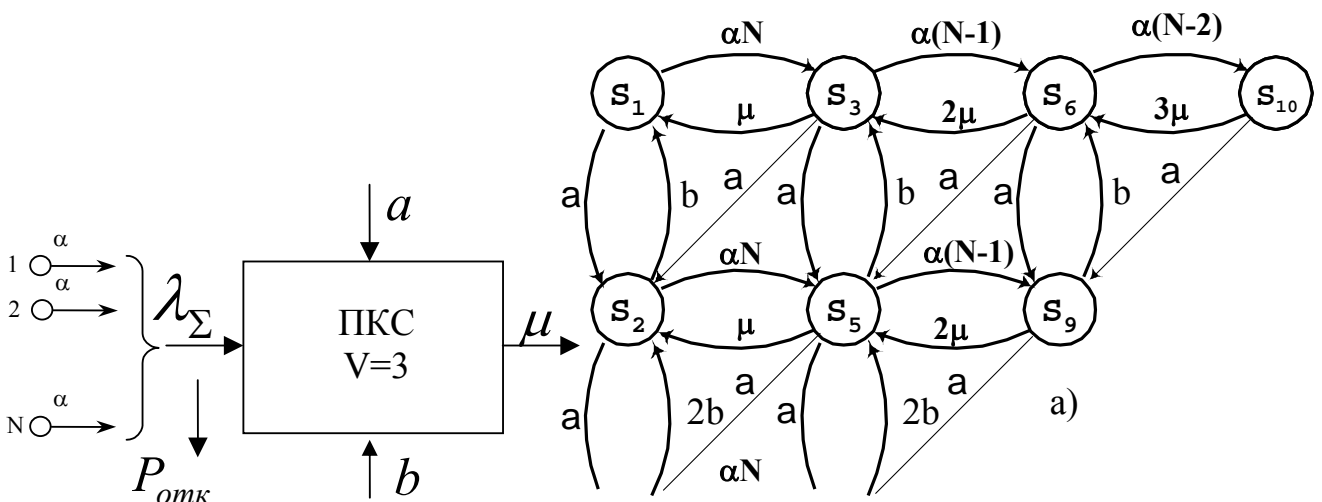
$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 = 1$ - уравнение нормировки.

Решая полученную систему (2.27) совместно с уравнением нормировки при заданных значениях интенсивностей α , μ , a и b одним из численных методов, например методом Гаусса, можно получить значения P_i ($i = \overline{1, 6}$).

Подчеркнем, что вероятность отказа в обслуживании поступающих заявок $P_{отк}$ для двухканальной ПКС есть сумма вероятностей состояний ПКС, находящихся в графе переходов на большей диагонали, т.е.

$$P_{отк.} = P_4 + P_5 + P_6 \quad (2.28)$$

Трехканальная ПКС



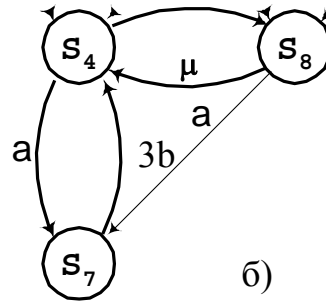


Рисунок 2.15 - а) Обобщенная структура трехканальной ПКС

б) Граф состояний и переходов трехканальной ПКС

Проводя рассуждения, аналогичные изложенным выше, для одно- и двухканальной ПКС, нетрудно построить аналитическую модель для системы связи с тремя незакрепленными поражаемыми и восстанавливающимися каналами связи.

Граф, отображающий состояния и переходы трехканальной ПКС из состояния в состояние, представлен на рисунке 2.15. Число состояний равно 10.

Собственно самой аналитической моделью ПКС, функционирующей в установившемся режиме, будет следующая система десяти алгебраических однородных уравнений относительно вероятностей всех состояний. Решение данной системы осуществляется одним из известных численных методов с учетом уравнения нормировки.

$$\left. \begin{aligned}
 -(\alpha N + a)P_1 + bP_2 + \mu P_3 &= 0 \\
 aP_1 - (\alpha N + a + b)P_2 + aP_3 + 2bP_4 + \mu P_5 &= 0 \\
 \alpha NP_1 - (\alpha(N - 1) + \mu + 2a)P_3 + bP_5 + 2\mu P_6 &= 0 \\
 aP_2 - (\alpha N + a + 2b)P_4 + aP_5 + 3bP_7 + \mu P_8 &= 0 \\
 \alpha NP_2 + aP_3 - (\alpha(N - 1) + \mu + b + 2a)P_5 + aP_6 + 2bP_8 + 2\mu P_9 &= 0 \\
 \alpha(N - 1)P_3 - (\alpha(N - 2) + 2\mu + 2a)P_6 + bP_9 + 3\mu P_{10} &= 0 \\
 aP_4 - (3b)P_8 + aP_8 &= 0 \\
 \alpha NP_4 + aP_5 - (\mu - a - 2b)P_8 + aP_9 &= 0 \\
 \alpha(N - 1)P_5 + aP_6 - (a + 2\mu + b)P_9 + aP_{10} &= 0 \\
 \alpha(N - 2)P_6 - (3\mu + a)P_{10} &= 0
 \end{aligned} \right\} \quad (2.29)$$

$$\sum_{i=1}^{10} P_i = 1 \quad - \text{уравнение нормировки.}$$

Из графа стояний и переходов ясно, что вероятность отказа в обслуживании поступающих заявок $P_{отк}$ есть сумма вероятностей состояний ПКС, расположенных в графе состояний и переходов на большей диагонали.

Для трехканальной ПКС

$$P_{отк} = P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} \quad (2.30)$$

При заданных значениях α , μ , a , b решая систему (2.18) численно, по формуле (2.30), получаем интересующую нас $P_{отк}$.

Анализ рассмотренных трех случаев позволяет увидеть следующие закономерности [154]:

1) функционирование рассматриваемой сети радиосвязи с незакрепленными поражаемыми и восстанавливающимися каналами, представляется СМО с отказами без дообслуживания и без ожидания и описывается в виде непрерывной конечной марковской цепи;

2) аналитическими моделями рассматриваемых ПКС в условиях стационарной нагрузки являются системы линейных алгебраических однородных уравнений, неизвестными в которых являются вероятности P_i пребывания ПКС в различных состояниях S_i ;

3) число состояний марковской цепи (а, соответственно, число уравнений и неизвестных в СЛАУ) при числе каналов связи, равном V , вычисляется по формуле:

$$K = \frac{(V+1)(V+2)}{2}; \quad (2.31)$$

4) граф, отображающий состояния и переходы V -канальной ПКС из состояния в состояние имеет двумерный характер, при этом переходы «вправо-влево» соответствуют «занятию-освобождению» каналов, а переходы «вниз-вверх» соответствуют «поражению-восстановлению» каналов, причем при отсутствии ограничения на число поражаемых каналов (частный случай) граф является «полным» (рис.2.16), а при неординарных потоках поражения и восстановления каналов (рис. 2.17);

5) вероятность отказа в обслуживании заявок ПКС находится как сумма вероятностей определенных состояний системы, а именно: состояний, которые в графе переходов системы находятся на большей диагонали графа, т.е.

$$P_{отк.} = \sum_{i=K-l}^K P_i ; \quad (2.32)$$

Можно предположить, что элементы основной матрицы системы линейных однородных уравнений, которые являются числовыми коэффициентами при неизвестных P_i , каким-то образом зависят от числа каналов V в ПКС и расположения соответствующих им состояний S_i в графе переходов этой СМО.

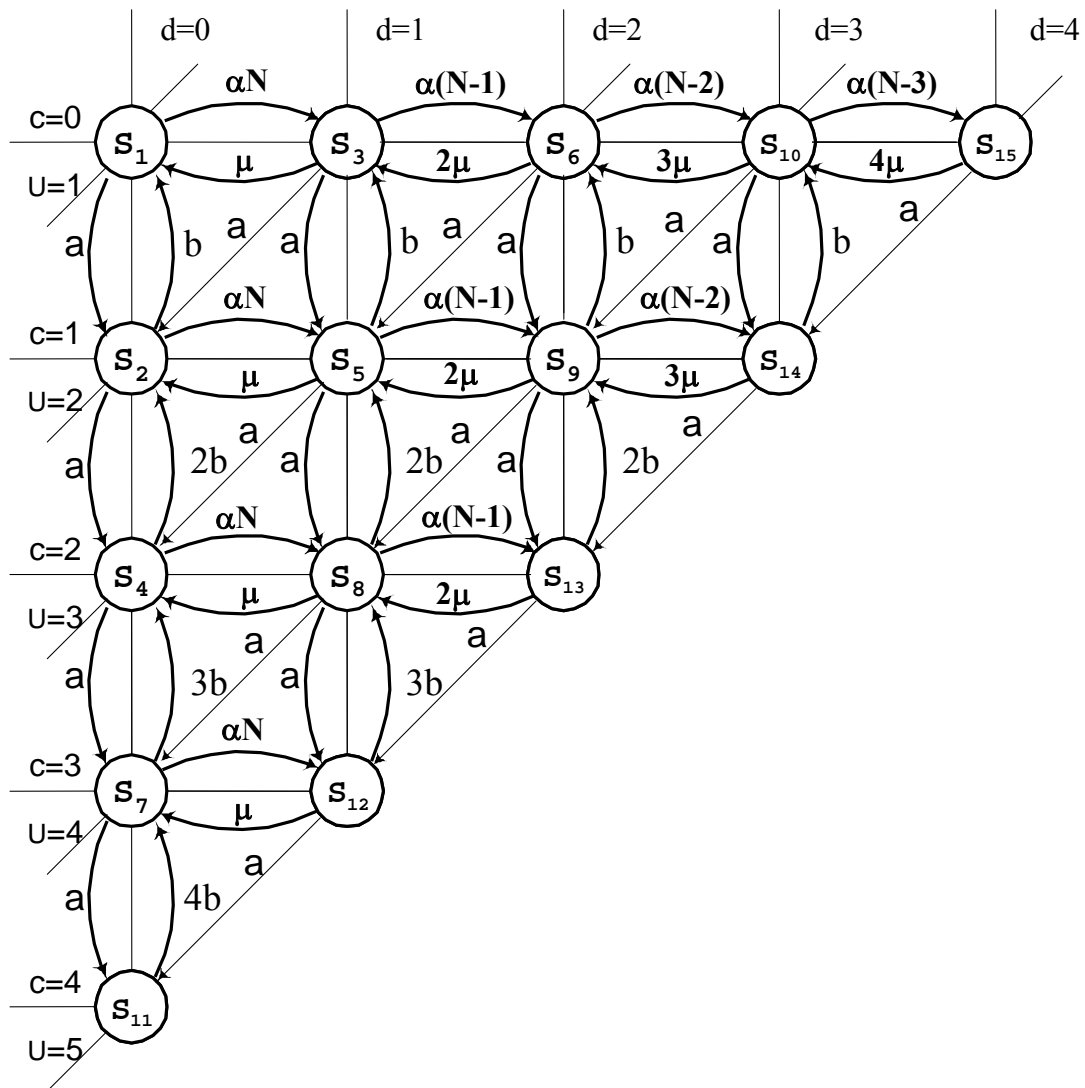


Рисунок 2.16 – Пример построения графа состояний и переходов при отсутствии ограничений на количество поражаемых каналов

Выявим эти зависимости, введя следующую систему нумераций состояний.

Каждому состоянию S_1, S_2, \dots, S_K поставим в соответствие 4 параметра:

1. u - номер уровня, в котором находится данное состояние, т.е. это номер диагонали, на которой стоит это состояние в графе переходов. Все состояния одного уровня обладают одним и тем же свойством: для перехода в любое из состояний уровня u должно произойти одинаковое число событий, равное $(u - 1)$.

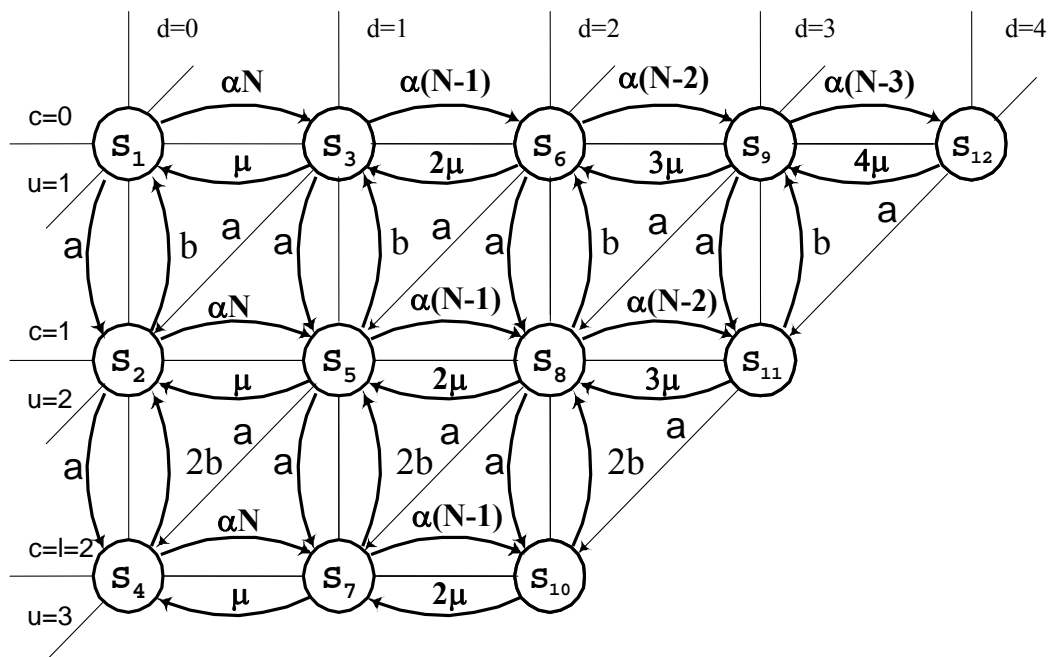


Рисунок 2.17 – Пример построения графа переходов при ограниченном числе поражаемых каналов

Параметр u характеризует число каналов, не участвующих в обслуживании заявок по причине их занятости или поражения. Так, состояния, стоящие на диагонали с номером u , характеризуются тем, что в каждом из этих состояний $(u-1)$ канал ПКС не функционирует ($u = \overline{1, V+1}$).

2. j - номер состояния в каждом из уровней; ($j = \overline{1, V+1}$);

3. d – номер вертикального ряда, в котором находится состояние S_i в графе. Этот параметр показывает число каналов, занятых обслуживанием заявок ($d = \overline{0, V}$);

4. c – номер горизонтального ряда, в котором находится состояние S_i в графе переходов. Этот параметр показывает число каналов, не участвующих в обслуживании заявок по причине их поражения. Другими словами c показывает число пораженных каналов связи ($c = \overline{0, V}$).

Таким образом, каждому из состояний СМО S_1, S_2, \dots, S_K соответствует 4 параметра u, j, c, d ($S_K \rightarrow (u, j, c, d)$).

Аналитическая модель СМО есть однородная СЛАУ, т.е

$$H * P = 0, \quad (2.33)$$

где H – основная матрица системы

$$H = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{1K} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{2K} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{3K} \\ h_{K1} & h_{K2} & h_{K3} & h_{KK} \end{pmatrix}. \quad (2.34)$$

P - матрица-столбец неизвестных вероятностей

$$P = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ P_K \end{pmatrix} = (P_1, P_2, P_3, \dots, P_K)^T. \quad (2.35)$$

Рассмотрим теперь, каким образом коэффициенты при неизвестных P_i системы линейных однородных уравнений зависят от внешних и внутренних параметров ПКС и от индексов u, j, c, d соответствующих состояниям S_i [121].

$$\begin{array}{l}
 \text{Внешние параметры ПКС:} \\
 \text{Внутренние параметры ПКС:}
 \end{array}
 \left\{
 \begin{array}{l}
 a - \text{интенсивность потока поражений} \\
 \text{каналов связи;} \\
 \alpha - \text{интенсивность потока заявок,} \\
 \text{поступающих для обслуживания.} \\
 \\
 b - \text{интенсивность потока} \\
 \text{восстановления каналов связи;} \\
 \mu - \text{интенсивность потока} \\
 \text{обслуженных заявок.}
 \end{array}
 \right.$$

Элементы, стоящие на главной диагонали основной матрицы \mathbf{H} СЛАУ $(h_{11}, h_{22}, h_{33}, \dots, h_{KK})$, являются суммами, взятыми с противоположными знаками интенсивностей потоков, выводящих систему из состояния S_i .

Анализ графа переходов данной СМО показывает, что для состояний, стоящих в первом вертикальном ряду ($d = 0$), за исключением последнего состояния, стоящего в горизонтальном ряду с номером V ($c = V$), сумма интенсивностей, выводящих систему из состояния S_i , равна $(a + cb + \alpha(N-d))$.

Если состояние S_i находится на большой диагонали графа (т.е. $c+d = V$), то интенсивность общего потока, выводящего систему из этих состояний, равна $(a + d\mu + cb)$. Для остальных состояний системы аналогичные суммарные интенсивности выходящих потоков равны $2a + d\mu + cb + \alpha(N-d)$. Из анализа графа, представленного на рисунке 2.16. можно сформулировать следующие правила нахождения (синтеза) коэффициентов матрицы (2.34).

Правило 2.1 Элементы главной диагонали матрицы H можно считать по формулам:

$$h_{ii} = \begin{cases} -(a + cb + \alpha(N-d)), & \text{если } d = 0 \cap c \neq V; \\ -(a + d\mu + cb), & \text{если } c + d = V; \\ -(2a + d\mu + cb + \alpha(N-d)), & \text{если } d \neq 0, c + d \neq V. \end{cases} \quad (2.36)$$

Элементы, стоящие под главной диагональю матрицы $H - h_{ij}$ (где $i > j$), есть интенсивности потоков, переводящих систему из состояния S_j в состояние S_i . Эти элементы отличны от нуля только в двух случаях.

Правило 2.2.а. Если номер состояния S_j , из которого система приходит в состояние S_i на u меньше, чем номер этого состояния i (за исключением состояний, стоящих первыми в любом уровне с номером u , $j = 1$), то интенсивности этих потоков равны $\alpha(N-d)$, т.е.

$$h_{i,i-u} = \begin{cases} \alpha(N-d), & \text{если } j > 1; \\ 0, & \text{если } j = 1. \end{cases} \quad (2.37)$$

Правило 2.2.б. Если номер состояния S_j , из которого система переходит в состояние S_i , на $(u-1)$ меньше номера i , то интенсивности переводящих потоков равны a , за исключением случая, когда $c = 0$, т.е.

$$h_{i,i-u+1} = \begin{cases} a, & \text{если } c \neq 0; \\ 0, & \text{если } c = 0. \end{cases} \quad (2.38)$$

Из других состояний S_l ($j < i$) система не может перейти в состояние S_i , что видно из графа переходов данной СМО.

Анализируя граф переходов системы, замечаем, что прийти в состояние S_i из состояния S_j (где $j > i$) система может только, если $j=i+1$; $j=i+u$ или $j=i+u+1$. Интенсивности переводящих потоков СМО из состояния в состояние для этого случая известны.

Правило 2.3. Элементы матрицы H , стоящие над главной диагональю ($j > i$) и не равные 0, можно вычислять по формулам:

$$h_{i,i+1} = \begin{cases} a, & \text{если } c \neq 0; \\ 0, & \text{если } c = 0. \end{cases} \quad (2.39)$$

$$h_{i,i+u} = \begin{cases} (c+1)b, & \text{если } u < V+1; \\ 0, & \text{если } u = V+1. \end{cases} \quad (2.40)$$

$$h_{i,i+u+1} = \begin{cases} (d+1)\mu, & \text{если } u < V+1; \\ 0, & \text{если } u = V+1. \end{cases} \quad (2.41)$$

Аналогично для графа, представленного на рисунке (2.17) (в случае ограничения на количество поражаемых каналов), сформируем правила автоматизированного правила нахождения (синтеза) коэффициентов матрицы (2.34) [40,41,59]:

Для элементов главной диагонали матрицы **H**:

Правило 2.4.

$$h_{ii} = \begin{cases} -(a+cb+\alpha(N-d)), & \text{если } d=0, c \neq l; \\ -(d\mu+cb), & \text{если } c=l, c+d=V; \\ -(a+d\mu+cb), & \text{если } c+d=V; \\ -(\alpha(N-1)+d\mu+cb), & \text{если } c=l, c+d \neq V; \\ -(2a+\alpha(N-1)+d\mu+cb), & \text{если } d \neq 0, c+d \neq V. \end{cases} \quad (2.42)$$

Элементы, стоящие под главной диагональю матрицы **H** - h_{ij} ($i > j$),

Правило 2.5.

$$\begin{cases} h_{i,i-l-1} = \alpha(N-d), & \text{если } u > 1 \text{ и } d \neq 0; \\ h_{i,i-u} = \alpha(N-d), & \text{если } u \leq 1 \text{ и } d \neq 0. \end{cases} \quad (2.43)$$

$$\begin{cases} h_{i,i-u+1} = a, & \text{если } c \neq 0 \text{ и } u \leq l+1; \\ h_{i,i-l} = a, & \text{если } c \neq 0 \text{ и } u > l+1. \end{cases} \quad (2.44)$$

Элементы матрицы **H**, стоящие над главной диагональю ($j > i$)

Правило 2.6.

$$\begin{cases} h_{i,i+u+1} = (d+1)\mu, & \text{если } u \leq l; \\ h_{i,i+l+1} = (d+1)\mu, & \text{если } l < u \leq V+1 \end{cases} \quad (2.45)$$

$$\begin{cases} h_{i,i+1} = a, & \text{если } c \neq 0; \\ h_{i,i+u} = (c+1)b, & \text{если } u \leq l; \\ h_{i,i+l} = (c+1)b, & \text{если } l < u \leq V+1. \end{cases} \quad (2.46)$$

Таким образом, получены формулы, позволяющие автоматизировать вычисление коэффициентов однородной СЛАУ, являющейся аналитической моделью ПКС с отказами, поражаемыми и восстанавливаемыми каналами при ограниченном количестве пораженных каналов и примитивном (конечно-пуассоновском) потоке заявок.

2.2.2 Случай неординарных потоков занятия-освобождения каналов и неординарных потоков поражения-восстановления каналов

Как было показано выше абоненты исследуемой УКВ радиосети ведут информационный обмен с разной скоростью передачи информации: абоненты АСУ требуют канал со скоростью 1200 бит/с, речевые абоненты требуют канал со скоростью 2400 бит/с, абоненты МКО требуют канал со скоростью 4800 бит/с. Учитывая, что одно ВО кадра ППК обеспечивает скорость 1200 бит/с, имеем, что на сеансе связи абоненты АСУ требуют одно ВО, речевые абоненты требуют два ВО, абоненты МКО требуют четыре ВО. Таким образом, общий поток запросов от всех абонентов является неординарным. Также неординарным будет являться и поток освобождения каналов по окончании сеанса связи.

Воздействие помех на каналы в кадре ППК вызывает одинаковое снижение величины сигнал/(шум+помеха). Однако с учетом разных требований всех абонентов по допустимой вероятности битовой ошибки p_0 , ВО одних абонентов будут являться пораженными, а других абонентов, возможно, нет. Тогда поток воздействия помех, приводящих к поражению каналов абонентов, также можно трактовать как неординарный. При этом прекращение действия помехи приведет к восстановлению совокупности подавленных каналов, и поток этих событий также можно трактовать как неординарный.

Пусть отстройка от помех в рассматриваемой радиосети происходит за счет кратного увеличения длительности битового символа в L -число раз, определяемое параметром помехи γ . Тогда воздействие помех приведет к занятию L -дополнительных ВО. Из этого следует, что в рассматриваемой

радиосети в кадре ППК имеется совокупность ВО, обслуживающих информационную нагрузку всех абонентов в режиме без помех, так и совокупность ВО, обеспечивающих повышение энергетики каналов абонентов того или иного типа, пораженных текущей помехой.

Отсюда условно можно все ВО кадра ППК поделить на ВО, обслуживающие информационную нагрузку абонентов, и на ВО, обслуживающие помеховую информационную нагрузку[31,55].

Нахождение общего числа ВО предлагается осуществлять так.

1. Найти число ВО, обслуживающих нагрузку абонентов каждого типа раздельным образом как при отсутствии, так и при наличии помех (раздельная стратегия обслуживания абонентов). Тогда при расчете числа ВО для каждого абонента потоки занятия – освобождения, поражения–восстановления будут ординарными, так как каждый абонент требует только свое число ВО. Данная задача может быть решена подходом, описанным в 2.2.1, в результате чего будет найден пул каналов для каждого типа.

2. Найти общее число найденных каналов, которое равно сумме пулов каналов по каждому абоненту.

3. Однако реально абоненты будут применять общую стратегию использования ВО ППК, что, как показывает теория телетрафика, дает излишнее количество ВО, обеспечивающее меньшую, чем допустимая вероятность отказов в обслуживании заявок.

4. Нахождение минимально достаточного общего числа каналов предлагается осуществить на базе статистического моделирования процессов неординарного занятия-освобождения каналов и процессов неординарного поражения-восстановления. При этом использовать метод направленного перебора количества ВО (уменьшения), полученного в п.2.

*Аналитико-статистический метод нахождения емкости
полнодоступной коммутационной схемы при неординарной нагрузке*

Исследуемая УКВ радиосеть с незакрепленными каналами может рассматриваться как ПКС, на вход которой поступает поток неординарной

нагрузки, при этом каждая заявка из потока требует для своего обслуживания одного, двух, или четырех каналов связи. При этом исходная задача по нахождению ТКР радиосети может быть сформулирована в следующем виде.

При заданном максимальном значении $P_{отк\ доп}$, максимальных значениях $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, средних длительностях $\bar{\theta}_1, \bar{\theta}_2, \bar{\theta}_3$ занятия каналов найти требуемое число каналов V ПКС. Такая задача в теории телетрафика носит название «обратной» задачи в противоположность «прямой» задаче, когда по известным $V, \lambda_i, \bar{\theta}_i$ и находится $P_{отк}$. [103,104].

В рамках сделанного выше допущения о том, что потоки информационных ситуаций стационарны и имеют максимальное значение, определяемое условием работы абонентов, имеем, что совокупный входной неординарный поток заявок, поступающих на ПКС, есть сумма трех стационарных пуассоновских потоков, заявка каждого из которых требует для своего обслуживания условного канала. Учитывая, что число абонентов, создающих потоки заявок, конечно, каждый из трех рассматриваемых потоков будет конечно-пуассоновским [103,104].

Предложим следующий подход к решению «обратной» задачи в общем виде. Пусть количество различных абонентов равно R . Тогда количество абонентов в группах описывается вектором

$$N'_{\langle R \rangle} = \langle N_1, \dots, N_r, \dots, N_R \rangle. \quad (2.47)$$

Интенсивность занятия и освобождения каналов коммутационной схемы заявками различных групп описывается векторами $A'_{\langle R \rangle}$ и $M'_{\langle R \rangle}$, которые равны

$$A'_{\langle R \rangle} = \langle \lambda_1, \dots, \lambda_r, \dots, \lambda_R \rangle. \quad (2.48)$$

$$M'_{\langle R \rangle} = \langle \mu_1, \dots, \mu_r, \dots, \mu_R \rangle. \quad (2.49)$$

Потребность заявок разных групп в каналах связи определяется вектором

$$\rho'_{\langle R \rangle} = \langle \rho_1, \dots, \rho_r, \dots, \rho_R \rangle. \quad (2.50)$$

Задачу нахождения требуемой емкости ПКС по известным входным потокам и заданной вероятности отказа, а также среднее значение и дисперсию числа занятых каналов связи предлагается решать комбинированием аналитических методов с методом статистического моделирования [122].

Пусть каждая группа абонентов обслуживается собственной ПКС с числом каналов V_r . В этом случае на вход ПКС будет поступать один кусочно-пуассоновский ординарный поток, и вероятность отказа в обслуживании абонентов отдельной группы будет описываться формулой Энгсета [28,103,104]

Используя таблицы работы [104], в которых содержатся значения вероятности отказа (4.49) в зависимости от N_r , V_r и a_r . можно по известной вероятности $P_{отк}$, а также N_r и a_r найти требуемое значение V_r . Затем объединив все R ПКС в одну, получим единую ПКС, способную обслужить все R потоков. Однако вероятность отказа при этом будет меньше, чем требуемая. Следовательно, емкость общей ПКС, равная их сумме превышает требуемое значение и является верхней оценкой. Нахождение точного значения осуществляется статистическим моделированием.

Структурная схема алгоритма статистической модели нахождения вероятности отказа приведена на рис. 2.18.

Обеспечение требуемой точности получаемых результатов достигается выполнением заданного числа машинных итераций, которое определяется доверительным интервалом и доверительной вероятностью, завязанных неравенством Чебышева, известным из теории статистического моделирования.

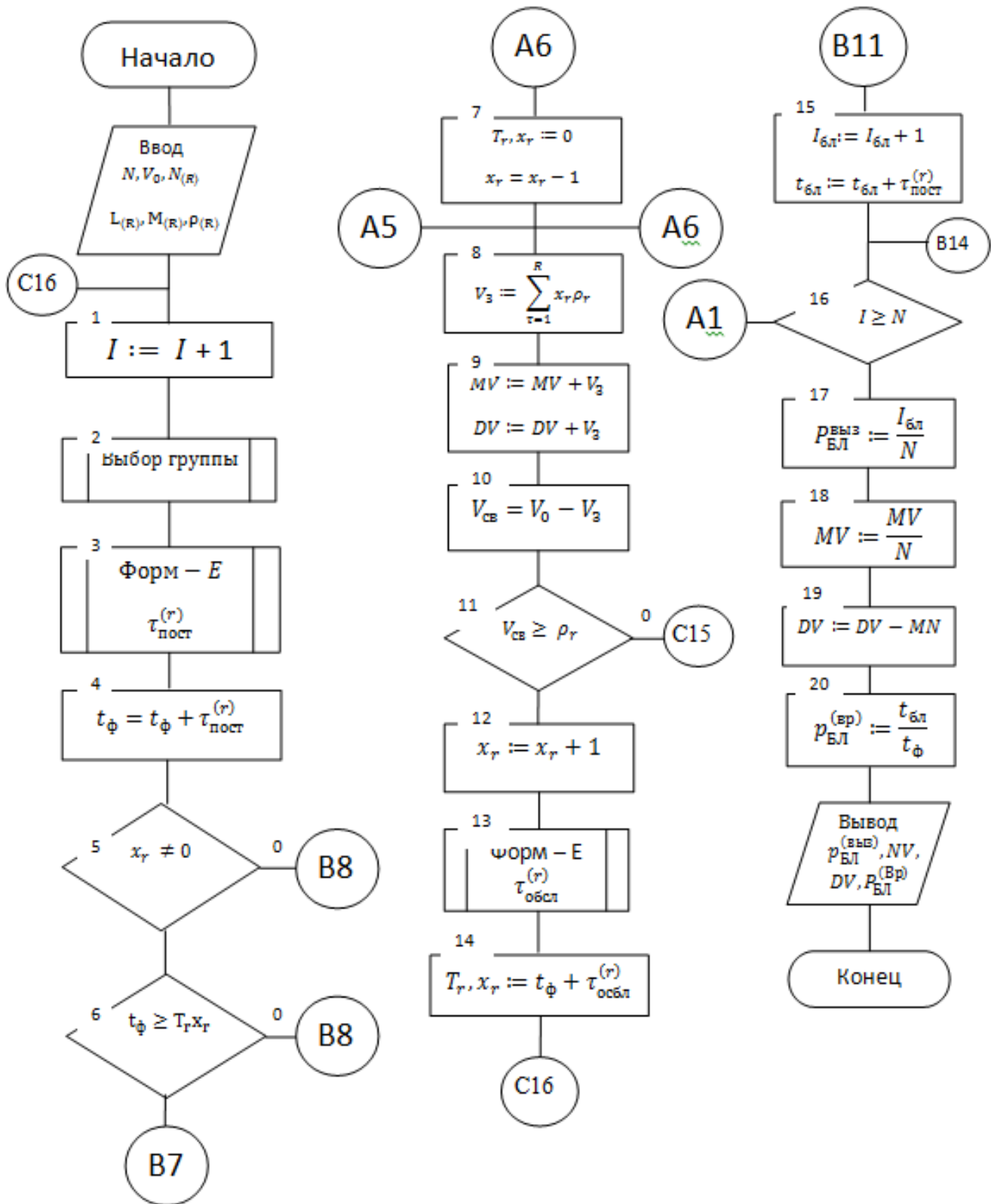


Рисунок 2.18 – Структурная схема алгоритма статистической модели нахождения вероятности отказа

Модель работает следующим образом. После ввода исходных данных алгоритм имитирует выбор r -й группы абонентов из всей их совокупности, формирует момент поступления вызова от абонентов выбранной группы, а также определяет текущее время работы ПКС. Данные функции выполняются операторами 1-4. Далее операторы 5-7 находят на текущий момент времени освободившиеся каналы связи ПКС, операторы 8 и 10 определяют общее количество занятых и свободных каналов связи, а оператор 9 формирует соответствующие суммы, нужные для вычисления математического ожидания и дисперсии числа занятых каналов связи. Если количество свободных каналов связи достаточно для обслуживания пришедшего вызова, что проверяется оператором 11, то число занятых каналов связи увеличивается оператором 12 на величину ρ_r . После этого операторы 13 и 14 формируют момент окончания обслуживания данного вызова. Если свободных каналов связи недостаточно для обслуживания пришедшего вызова, то к числу заблокированных вызовов оператором 15 прибавляется еще один, кроме того этот же оператор производит учет заблокированного времени. После проведения заданного числа испытаний производится нахождение искомых величин: вероятности отказа по вызовам, вероятности отказа по времени, математического ожидания и дисперсии числа занятых каналов связи (операторы 17-19). После этого осуществляется вывод полученных результатов.

Общая пропускная способность коммутационной схемы в этом случае будет равна сумме пропускных способностей, необходимых для отдельной и полнодоступной стратегий. В силу статистической независимости использования данных пропускных способностей эффективность использования общей пропускной способности будет также равна их сумме.

Обобщив все изложенное выше, можно в следующем виде сформулировать методику нахождения ТКР направления радиосети, представленную на рис. 2.19.

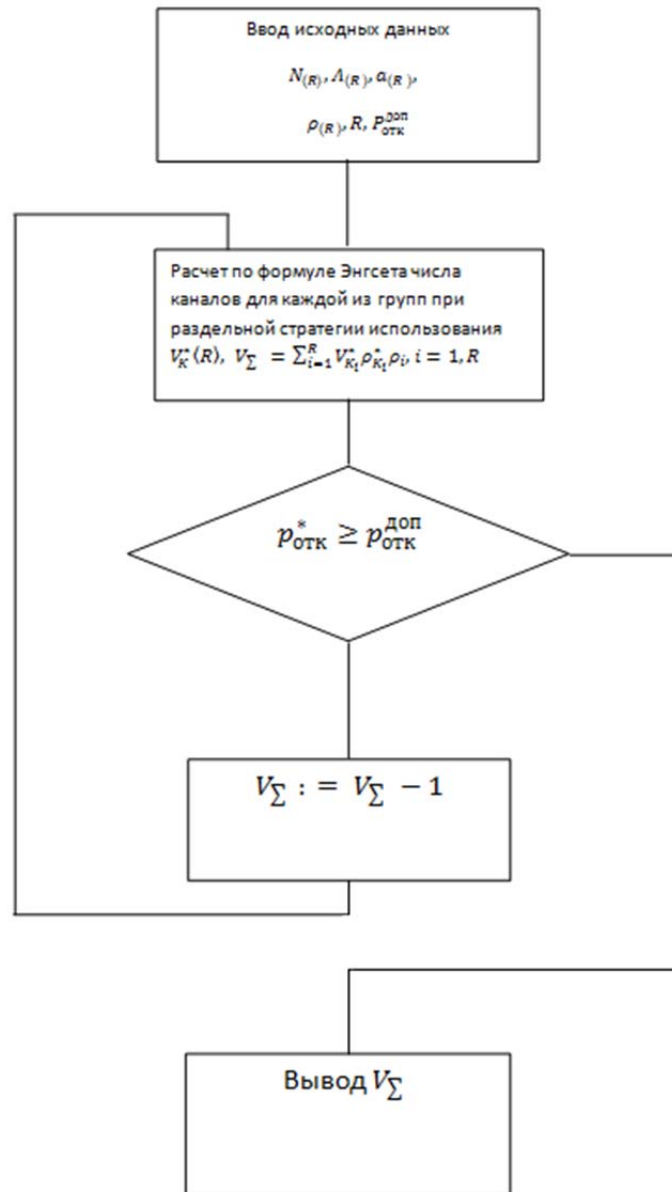


Рисунок 2.19 – Методика нахождения ТКР направления радиосети

Методика реализует итеративный алгоритм нахождения ТКР направления связи УКВ радиосети в зоне ЧС. Она допускает как ручную, так и машинную реализацию, причем, ручная реализация способна работать при общем числе каналов не более десяти.

3. МЕТОДИКА НАХОЖДЕНИЯ И РАСЧЕТ ТРЕБУЕМОГО КОММУНИКАЦИОННОГО РЕСУРСА ЦИФРОВОЙ УКВ РАДИОСЕТИ ДЛЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ЗОНЫ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ

3.1 Расчет требуемого коммуникационного ресурса цифровой УКВ радиосети для подвижных объектов зоны чрезвычайной ситуации в условиях помех

Качество информационного обмена абонентов сети цифровой УКВ радиосети для подвижных объектов зоны чрезвычайной ситуации в условиях помех, как было указано выше, оценивается допустимой $P_{отк}$ в предоставлении каналов по заявкам каждого пользователя и зависит от её ТКР. Рассмотрим последовательно методом «от простого к сложному» всевозможные варианты расчета ТКР, обеспечивающего пришедшей заявке на информационный обмен от абонента вероятность отказа не более $P_{отк}^{доп}$.

Рассчитаем требуемый коммуникационный ресурс направления связи цифрового ППК УКВ радиосети, функционирующего в интересах абонентов зоны ЧС (АСУ, речевая связь, межкомпьютерный обмен), при этом будем рассматривать варианты: 1) одно направление и свои абоненты; 2) одно направление и свои абоненты + абоненты одного смежного направления; 3) одно направление и свои абоненты + абоненты двух смежных направлений. Каждый вариант будет отличаться: а) стратегией использования абонентами каналов ТКР направления связи (раздельная, совместная); б) фактом наличия-отсутствия помех; в) фактом неполного-полного поражения каналов ТКР направления связи.

Отметим, что стратегия раздельного использования ТКР абонентами каждого типа допускает аналитический расчет каналов ТКР по каждому типу абонентов (первый этап расчета ТКР). Однако получение общего ТКР для

абонентов всех типов осуществляется методом статистического моделирования (второй этап расчета ТКР).

Стратегия раздельного использования ТКР абонентами каждого типа в условиях помех допускает только численный расчет каналов ТКР с использованием СЛАУ по каждому типу абонентов (первый этап расчета ТКР). Однако получение общего ТКР осуществляется также методом статистического моделирования (второй этап расчета ТКР).

Стратегия совместного использования ТКР абонентами каждого типа в условиях помех по каждому типу абонентов (первый этап расчета ТКР), а также получение общего ТКР по всем абонентам (второй этап расчета ТКР) осуществляется только методом статистического моделирования. При этом учитывается распределение информационной и помеховой нагрузки по работоспособным направлениям связи (рис. 3.1 и рис. 3.2)

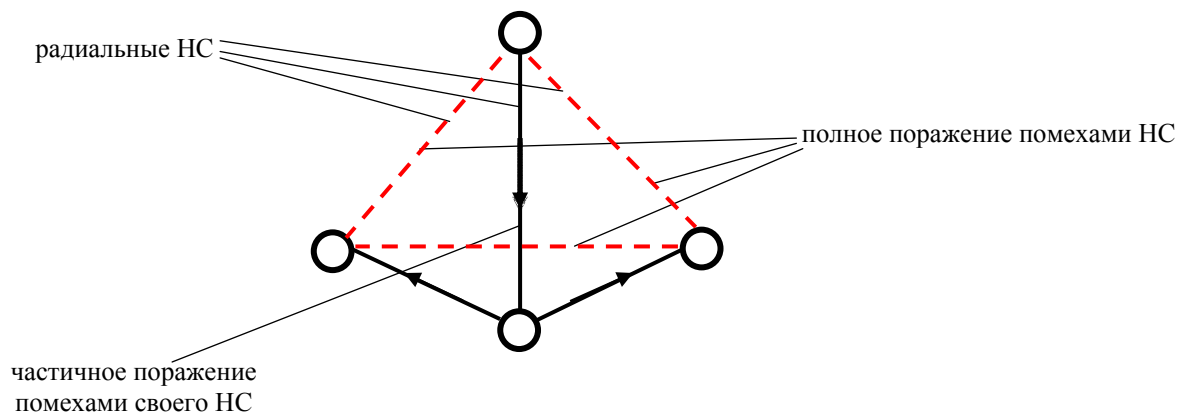


Рисунок 3.1 – Распределение нагрузки на рабочие направления связи

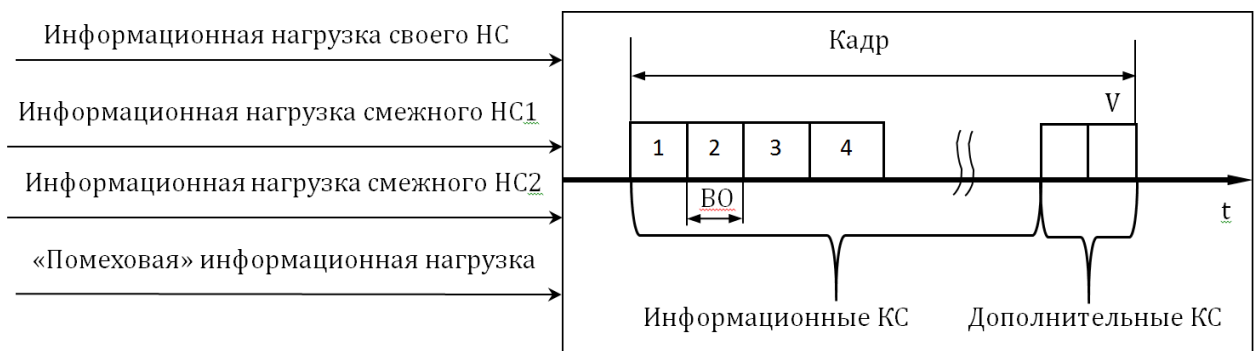


Рисунок 3.2 – ТКР направления связи при воздействии на него информационной и помеховой нагрузки

В аналитическом виде задача нахождения ТКР, обеспечивающего $P_{отк} \leq P_{отк}^{дон}$, находится в рамках решения обратной задачи теории телетрафика при помощи формулы Энгсета [103,104].

Исходными данными для решения задачи для всех вариантов являются:

N - количество абонентов;

α - интенсивность потока заявок, создаваемого одним абонентом каждого типа;

μ - интенсивность потока обслуживания заявок абонентов каждого типа;

$P_{отк}^{дон}$ - допустимая вероятность отказа в обслуживании заявок абонентов каждого типа;

a - интенсивность поражения каналов системы связи помехами. Данная величина равна $\lambda_{возд.}$ (см. п. 1.3).

b - интенсивность потока восстановления пораженных каналов (интенсивность отстройки от помех).

Алгоритм расчета ТКР цифрового ППК методом направленного перебора приведен на рисунке 3.3 [40,41]. Он содержит такие операторы:

Оператор 1 приведенного алгоритма обеспечивает ввод соответствующих исходных данных для абонентов различного типа.

Оператор 2 приведенного алгоритма определяет максимальную (потенциально возможную) величину ТКР.

Оператор 3 реализует нахождение значения нижней границы требуемого числа каналов, с использованием формулы Энгсета (Эрланга).

Оператор 4 осуществляет синтез СЛАУ для числа каналов, равного нижней границе, с использованием формулы (2.20) и по правилам указанным в разделе 2.

Оператор 5 обеспечивает решение синтезированной СЛАУ и нахождение значения текущего $P_{отк.}$

Оператор 6 осуществляет сравнение $P_{отк}$ с допустимой вероятностью отказа.

Оператор 7 увеличивает число каналов на 1.

Оператор 8 осуществляет сравнение текущего значения числа каналов с максимально возможным.

Оператор 9 обеспечивает вывод требуемого числа каналов (как нижнюю границу ТКР (при $a, b=0$), так и искомое значение ТКР (при $a, b \neq 0$).

С использованием данного алгоритма проведем расчеты ТКР для разных условий функционирования радиосети и стратегий использования её ТКР.

Вариант 1. Стратегия раздельного использования ТКР абонентами каждого типа без помех для случаев разного числа направлений связи.

Исходные данные: 1) одно направление и свои абоненты; 2) одно направление и свои абоненты + абоненты одного смежного направления; 3) одно направление и свои абоненты + абоненты двух смежных направлений.

Данные для расчетов изложены в табл. 2.1. Расчет проводится по формуле Энгсета (2.17) ручным образом, при этом используются таблицы, приведенные в [104]. Результаты расчета представлены в таблице 3.1. При этом учтено, что канал АСУ представляет собой в кадре ППК одно временное окно (ВО), канал речи два ВО, канал МКО четыре ВО. Этот факт учтен во всех таблицах при отображении найденного ТКР в числе единичных каналов.

В более удобной форме результаты расчета числа единичных каналов, требуемых для обеспечения заданного качества обслуживания при отсутствии помех, представлены в виде диаграммы на рис 3.4. с детализацией для разных вариантов использования направлений связи. На рис. 3.5 представлено обобщенное максимальное количество единичных каналов, требуемых для обслуживания ПКС всех трех типов абонентской нагрузки.

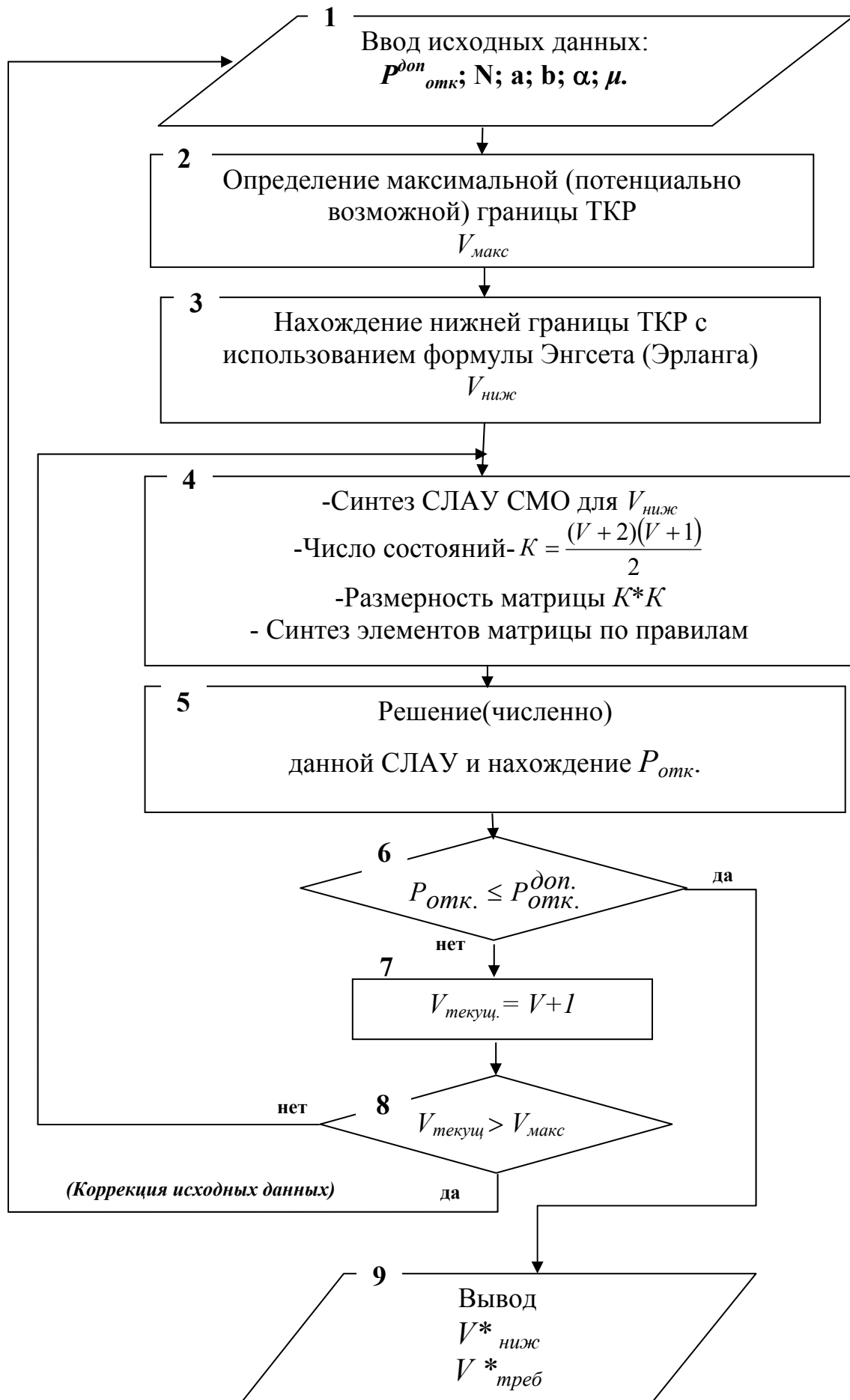


Рисунок 3.3 – Алгоритм расчета ТКР методом направленного перебора

Таблица 3.1 - ТКР для абонентов направления связи при раздельном использовании каналов в условиях отсутствия помех:

Количество последовательных направлений связи	1	2	3
Требуемое число каналов связи АСУ	1	1	2
Требуемое число каналов связи речь	2	3	4
Требуемое число каналов связи МКО	2	2	3
Требуемое число единичных каналов связи	11	12	18

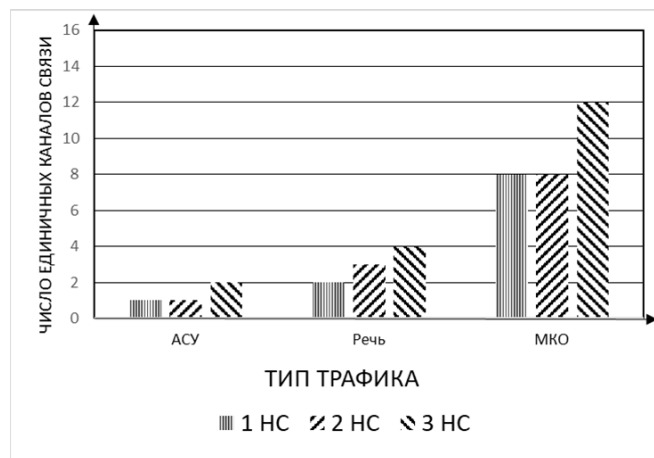


Рисунок 3.4 – Число единичных каналов, требуемых для обеспечения заданного качества обслуживания с детализацией по типу трафика и числу направлений связи при отсутствии помех

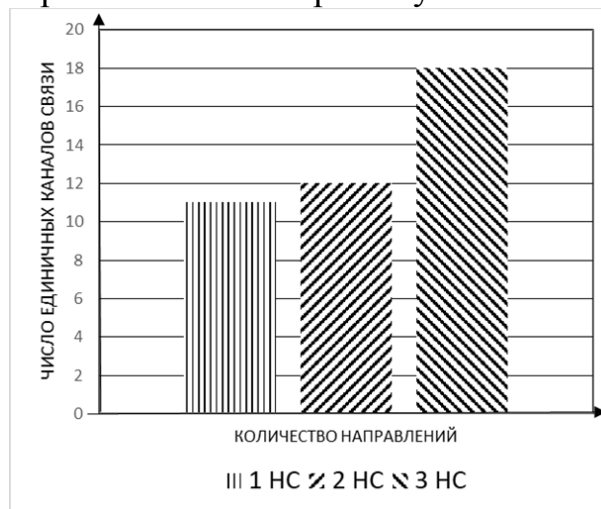


Рисунок 3.5 – Общее максимальное число единичных каналов, требуемых для обслуживания ПКС всех трех типов абонентской нагрузки с учетом числа направлений связи при отсутствии помех

Вариант 2. Стратегия раздельного использования ТКР абонентами каждого типа для случаев разного числа направлений в условиях их неполного поражения помехами.

Исходные данные: 1) одно направление и свои абоненты; 2) одно направление и свои абоненты + абоненты одного смежного направления; 3) одно направление и свои абоненты + абоненты двух смежных направлений.

Данные по информационной нагрузке для расчетов изложены в табл. 2.1. Расчет проводится по СЛАУ (п.2) машинным образом. Результаты расчета представлены в таблице 3.2. При этом учтено, что канал АСУ представляет собой в кадре ППК одно временное окно (ВО), канал речи два ВО, канал МКО четыре ВО. Этот факт учтен во всех таблицах при отображении найденного ТКР в числе единичных каналов.

В более удобной форме результаты расчета числа единичных каналов, требуемых для обеспечения заданного качества обслуживания при наличии помех с частичным поражением направлений, представлены в виде диаграммы на рис 3.6. с детализацией для разных вариантов использования направлений связи. На рис. 3.7 представлено обобщенное максимальное количество единичных каналов, требуемых для обслуживания ПКС всех трех типов абонентской нагрузки в условиях частичного поражения каналов.

Таблица 3.2 - ТКР для абонентов направления связи при раздельном использовании каналов в условиях их неполного поражения помехами:

Количество последовательных направлений связи	1	2	3
Требуемое число каналов связи АСУ	2	2	3
Требуемое число каналов связи речь	2	3	5
Требуемое число каналов связи МКО	2	2	3
Требуемое число единичных каналов связи	12	13	20

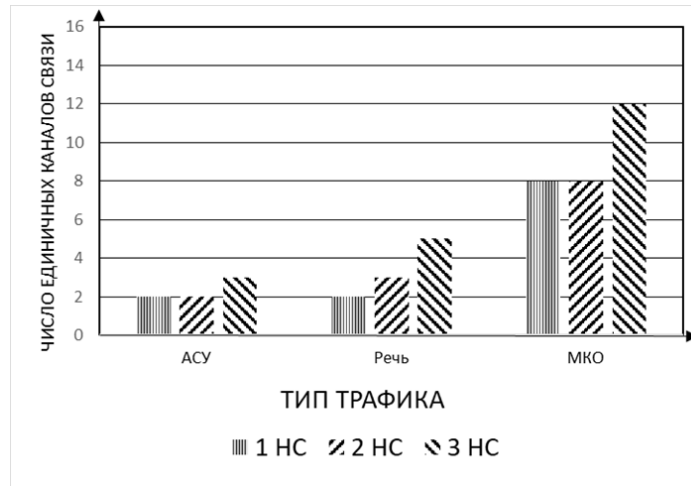


Рисунок 3.6 – Число единичных каналов, требуемых для обеспечения заданного качества обслуживания с детализацией по типу трафика и числу направлений связи при частичном поражении каналов ПКС помехами

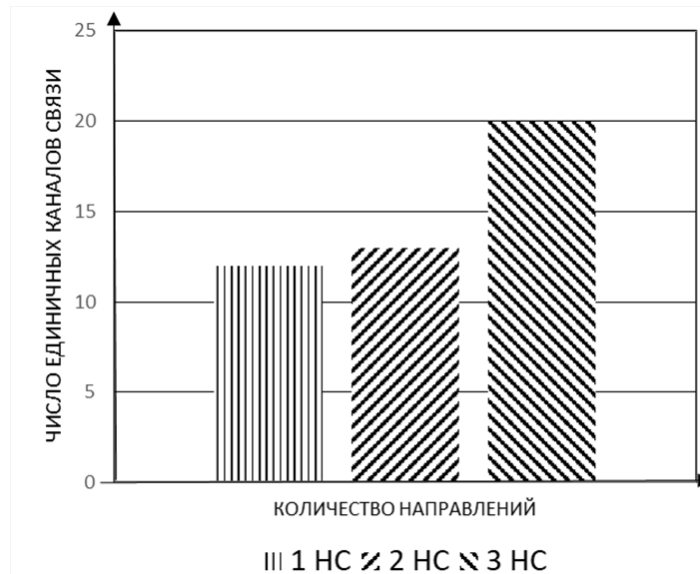


Рисунок 3.7 – Общее максимальное число единичных каналов, требуемых для обслуживания ПКС всех трех типов абонентской нагрузки с учетом числа направлений связи при частичном поражении каналов помехами

Вариант 3. Стратегия раздельного использования ТКР абонентами каждого типа для случаев разного числа направлений в условиях их полного поражения помехами:

Исходные данные: 1) одно направление и свои абоненты; 2) одно направление и свои абоненты + абоненты одного смежного направления; 3) одно направление и свои абоненты + абоненты двух смежных направлений.

Данные по информационной нагрузке для расчетов изложены в табл. 2.1. Расчет проводится по СЛАУ (п.2) машинным образом. Результаты расчета представлены в таблице 3.3. При этом учтено, что канал АСУ представляет собой в кадре ППК одно временное окно (ВО), канал речи два ВО, канал МКО четыре ВО. Этот факт учтен во всех таблицах при отображении найденного ТКР в числе единичных каналов.

В более удобной форме результаты расчета числа единичных каналов, требуемых для обеспечения заданного качества обслуживания при наличии помех с полным поражением каналов направлений, представлены в виде диаграммы на рис. 3.8 с детализацией для разных вариантов использования направлений связи. На рис. 3.9 представлено обобщенное максимальное количество единичных каналов, требуемых для обслуживания ПКС всех трех типов абонентской нагрузки в условиях полного поражения каналов.

Таблица 3.3 - ТКР для абонентов направления связи при раздельном использовании каналов в условиях их полного поражения помехами:

Количество последовательных направлений связи	1	2	3
Требуемое число каналов связи АСУ	2	2	4
Требуемое число каналов связи речь	3	4	7
Требуемое число каналов связи МКО	2	2	3
Требуемое число единичных каналов связи	13	14	23

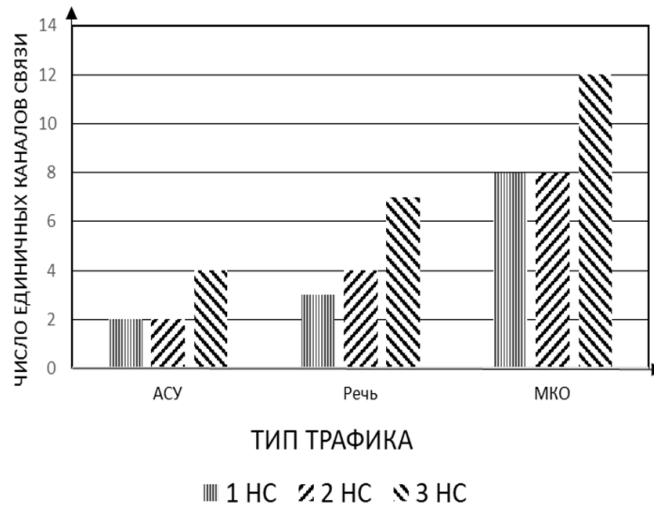


Рисунок 3.8 – Число единичных каналов, требуемых для обеспечения заданного качества обслуживания с детализацией по типу трафика и числу направлений связи при полном поражении каналов ПКС помехами

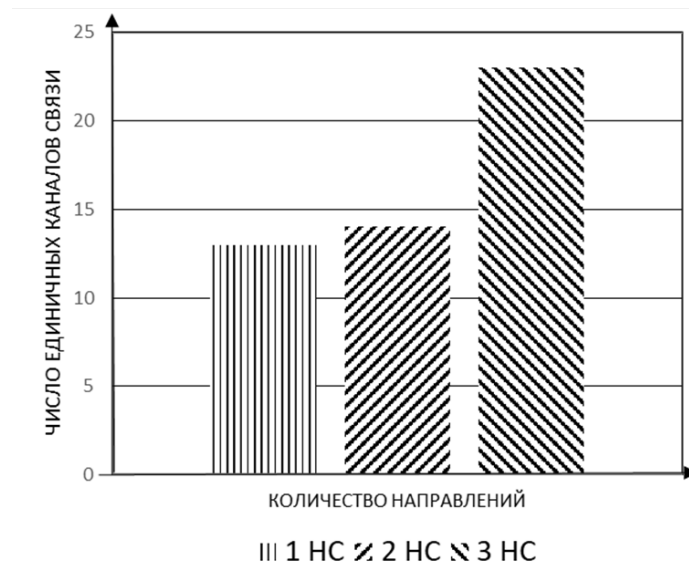


Рисунок 3.9 – Общее максимальное число единичных каналов, требуемых для обслуживания ПКС всех трех типов абонентской нагрузки с учетом числа направлений связи при полном поражении каналов ПКС помехами

Вариант 4. Стратегия совместного использования ТКР абонентами каждого типа без помех для случаев разного числа направлений связи.

Исходные данные: 1) одно направление и свои абоненты; 2) одно направление и свои абоненты + абоненты одного смежного направления; 3) одно направление и свои абоненты + абоненты двух смежных направлений.

Данные для расчетов изложены в табл. 2.1. Расчет (на первом этапе) проводится по формуле Энгсета (2.17) ручным образом, при этом используются таблицы, приведенные в [104]. Расчет на втором этапе для неординарной нагрузки проводится аналитико-статистическим подходом (п.2.2.2). Результаты расчета представлены в таблице 3.4. При этом учтено, что канал АСУ представляет собой в кадре ППК одно временное окно (ВО), канал речи два ВО, канал МКО четыре ВО. Этот факт учтен во всех таблицах при отображении найденного ТКР в числе единичных каналов.

В более удобной форме результаты расчета числа единичных каналов, требуемых для обеспечения заданного качества обслуживания при отсутствии помех, представлены в виде диаграммы на рис 3.10. с детализацией для разных вариантов использования направлений связи. На рис. 3.11 представлено обобщенное максимальное количество единичных каналов, требуемых для обслуживания ПКС всех трех типов неординарной абонентской нагрузки.

Таблица 3.4 - ТКР для абонентов направления связи при совместном использовании каналов в условиях отсутствия помех:

Количество последовательных направлений связи	1	2	3
Требуемое число каналов связи АСУ	1	1	1
Требуемое число каналов связи речь	2	3	3
Требуемое число каналов связи МКО	2	2	3
Требуемое число единичных каналов связи	11	12	16

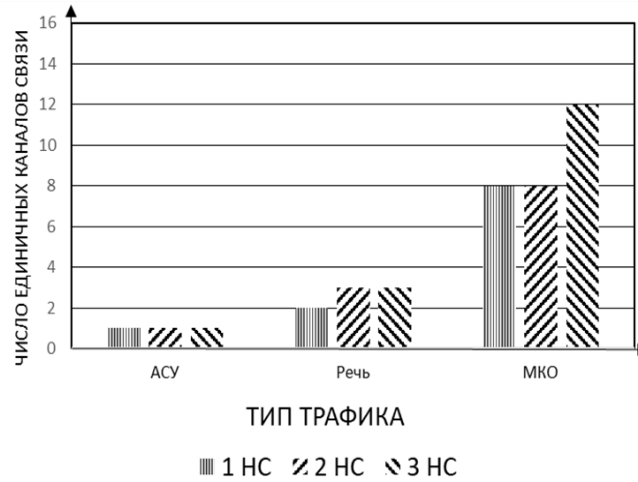


Рисунок 3.10 – Число единичных каналов, требуемых для обеспечения заданного качества обслуживания с детализацией по типу неординарного трафика и числу направлений связи при отсутствии помех

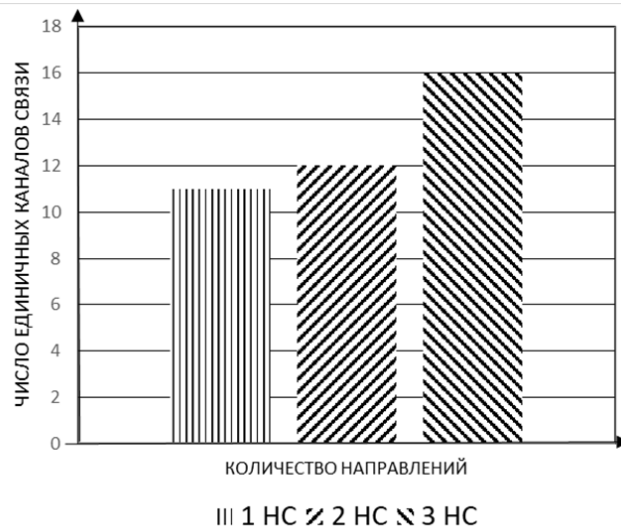


Рисунок 3.11 – Общее максимальное число единичных каналов, требуемых для обслуживания ПКС всех трех типов неординарной абонентской нагрузки с учетом числа направлений связи при отсутствии помех

Вариант 5. Стратегия совместного использования ТКР абонентами каждого типа для случаев разного числа направлений в условиях их полного поражения помехами:

Исходные данные: 1) одно направление и свои абоненты; 2) одно направление и свои абоненты + абоненты одного смежного направления; 3) одно направление и свои абоненты + абоненты двух смежных направлений.

Данные по информационной нагрузке для расчетов изложены в табл. 2.1. Расчет (на первом этапе) проводится по СЛАУ (п.2) машинным образом. Расчет на втором этапе для неординарной нагрузки и неординарных помех проводится аналитико-статистическим подходом (п.2.2.2). Результаты расчета представлены в таблице 3.5. При этом учтено, что канал АСУ представляет собой в кадре ППК одно временное окно (ВО), канал речи два ВО, канал МКО четыре ВО. Этот факт учтен во всех таблицах при отображении найденного ТКР в числе единичных каналов.

В более удобной форме результаты расчета числа единичных каналов, требуемых для обеспечения заданного качества обслуживания при наличии неординарных помех с полным поражением направлений, представлены в виде диаграммы на рис. 3.12 с детализацией для разных вариантов использования направлений связи. На рис. 3.13 представлено обобщенное максимальное количество единичных каналов, требуемых для обслуживания ПКС всех трех типов неординарной абонентской нагрузки в условиях полного поражения каналов неординарными помехами.

Таблица 3.5 - ТКР для абонентов направления связи при совместном использовании каналов в условиях их полного поражения помехами:

Количество последовательных направлений связи	1	2	3
Требуемое число каналов связи АСУ	2	2	2
Требуемое число каналов связи речь	3	4	5
Требуемое число каналов связи МКО	2	2	3
Требуемое число единичных каналов связи	13	14	19

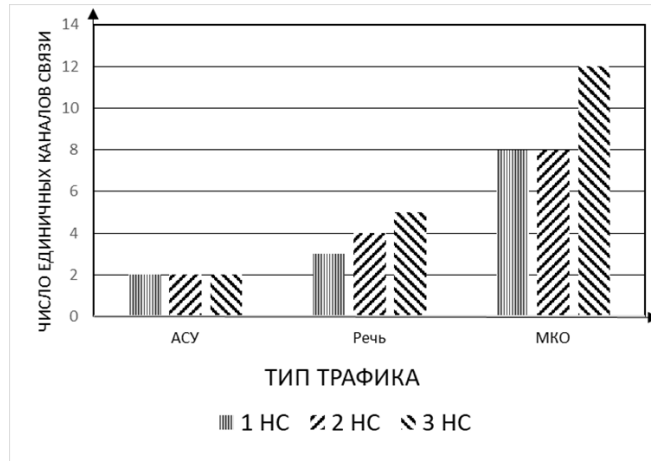


Рисунок 3.12 – Число единичных каналов, требуемых для обеспечения заданного качества обслуживания с детализацией по типу неординарного трафика и числу направлений связи при полном поражении каналов ПКС

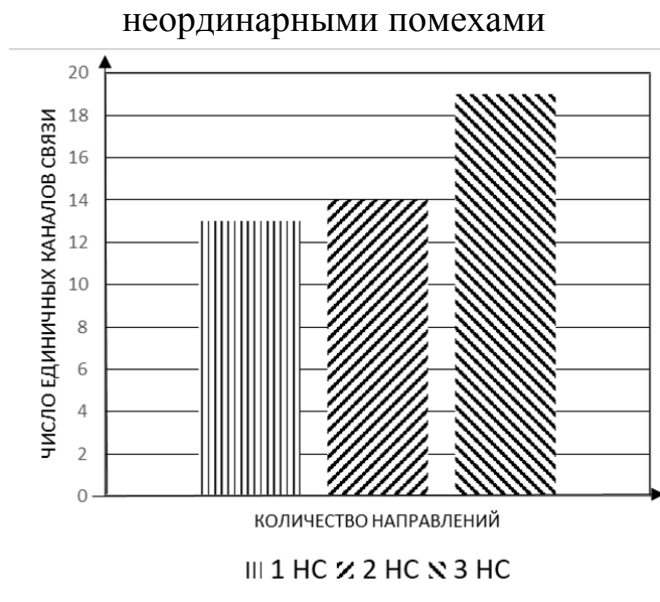


Рисунок 3.13 – Общее максимальное число единичных каналов, требуемых для обслуживания ПКС всех трех типов неординарной абонентской нагрузки с учетом числа направлений связи при полном поражении каналов ПКС неординарными помехами

В ходе проведенных расчетов использовались параметры помех, при этом брался самый напряженный режим помехоподавления, при котором средняя длительность помехи была равна средней длительности информационного обмена для каждого типа абонентов, т.е.

$$\bar{\theta}_П = \bar{\theta}_{ИО}. \quad (3.1)$$

Тогда, учитывая, что

$$\bar{\tau}_{II} = \frac{\bar{\theta}_{ИО}^2}{\bar{\theta}_{II} + \bar{\theta}_{ИО}} \quad (3.2)$$

имеем, что

$$\bar{\tau}_{II} = \frac{\bar{\theta}_{ИО}}{2} \quad (3.3)$$

Интенсивность помехи равна (2.10, 2.11)

$$\lambda'_{II} = \lambda_{II} P_{ИО}(\bar{\tau}_{II}),$$

где

$$P_{ИО}(\bar{\tau}_{II}) = 1 - e^{-\lambda_{II} \bar{\tau}_{II}}$$

Тогда

$$\bar{T}_{II} = \frac{1}{\lambda'_{II}} \quad (3.4)$$

Таблица 3.6 - Параметры помеховой нагрузки абонентов УКВ радиосети

Тип абонента	Параметры помеховой нагрузки	
	$\bar{\tau}_{II}, c$	\bar{T}_{II}, c
АСУ	15	720
Речь	90	480
МКО	300	2880

Целью диссертационной работы является минимизация коммуникационного ресурса ППК цифровой УКВ-радиосети, обеспечивающего с заданным качеством информационный обмен абонентов сети в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех. При этом рассматривается две альтернативы использования ТКР: а) раздельная; б) совместная.

Сравним ТКР, необходимый для обслуживания абонентов без помех, нужный для вариантов а) и б). Согласно таблицам 3.1 и 3.4 имеем, что для варианта а) нужно 18 единичных каналов, а для варианта б) нужно 16 единичных каналов. Тогда выигрыш будет равен:

$$\eta = \frac{(18-16)}{18} = 0,11. (11\%)$$

Сравним также ТКР, необходимый для обслуживания абонентов с помехами, нужный для вариантов а) и б). Согласно таблицам 3.3 и 3.5 имеем,

что для варианта а) нужно 23 единичных каналов, а для варианта б) нужно 19 единичных каналов. Тогда выигрыш будет равен:

$$\eta = \frac{(23-19)}{19} = 0,18. (18\%)$$

На основании расчетов можно утверждать, что цель диссертационного исследования достигнута.

3.2 Методика расчета минимально достаточной пропускной способности направлений связи цифровой УКВ радиосети абонентов с заданным качеством их функционирования в условиях неординарного поражения и восстановления каналов

Интегрируя основные результаты изложенного выше материала, формируем методику расчета направлений связи ППК перспективной цифровой УКВ радиосети в условиях частичного поражения и восстановления каналов.

Методика расчета минимально достаточной пропускной способности (ТКР) направлений связи цифровой УКВ радиосети в условиях помех включает в себя следующие этапы.

1. Определяем исходные данные для расчета с учетом: количества абонентов по каждому типу, предполагаемой информационной нагрузки абонентов каждого типа, числа единичных окон, требуемых для заявок абонентов, «помеховую» информационную нагрузку, стратегию использования общего ТКР (раздельная, совместная), механизмы и временные параметры отстройки ППК от помех.

2. Находим нижнюю границу ТКР направления связи ППК для абонентов каждого типа при максимальной нагрузке (с учетом нагрузки смежных направлений) в условиях отсутствия поражения и восстановления каналов с использованием формулы Энгсета (Эрланга).

3. Рассчитываем для каждого типа абонентов ТКР направления связи цифровой УКВ радиосети в условиях возможного полного поражения и

восстановления каналов методом направленного перебора. Расчет ведем от нижней границы ТКР, полученной в пункте 2. Для этого:

3.1. Синтезируем СЛАУ СМО с использованием предложенных правил автоматизированного синтеза;

3.2. Решаем (численно) данную СЛАУ и находим $P_{отк}$ для каждого типа абонентов;

3.3. Используем метод направленного перебора, сравниваем полученную величину $P_{отк}$ с величиной $P_{отк}^{доп.}$. Если полученное значение вероятности отказа не удовлетворяет условию $P_{отк.} \leq P_{отк.}^{доп.}$, увеличиваем число каналов связи ТКР рассматриваемого абонента единицу.

4. При выполнении условия $P_{отк.} \leq P_{отк.}^{доп.}$, получаем значение ТКР направления связи цифровой УКВ радиосети по каждому абоненту как для условия отсутствия поражения каналов (без помеховых воздействий), так и для условия полного поражения и восстановления каналов (при помеховых воздействиях).

5. Суммируя ТКР направления связи по каждому абоненту, получаем верхнюю границу искомой величины.

6. Для нахождения минимально достаточной общей ТКР направления связи используем аналитико-статистический подход

Полученное по описанной методике значение ТКР направления радиосвязи в заданных условиях позволяет учесть воздействие на каналы связи помех и восстановление каналов за счет отстройки, тем самым безусловно обеспечить требуемое качество информационного обмена.

3.3 Технические решения по использованию свободного ТКР направлений связи цифровой УКВ радиосети для повышения помехоустойчивости каналов

Проведенные в разделах 1, 2 и 3 исследования, разработка архитектуры современной цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными

объектами в зоне чрезвычайной ситуации при реализации в ней временного разделения каналов, математической модели функционирования направления связи базового сегмента цифровой УКВ радиосети с рокадными связями в условиях поражения и восстановления каналов, методики расчета минимально достаточной пропускной способности направлений связи цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами с заданным качеством их функционирования в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех, позволяют определить необходимую структуру временного кадра для ведения информационного обмена абонентов сети.

В данной структуре временного кадра имеется необходимое количество временных окон, обеспечивающих доставку информационного потока от абонентов радиосети. В штатном режиме работы эти временные окна образуют некий свободный коммуникационный ресурс (свободную пропускную способность) в направлениях радиосвязи, использование которого в потенциале позволяет получить дополнительные возможности для повышения помехоустойчивости каналов в интересах абонентов сети за счет различных технических решений [51,54,55].

Решение 1 - Многократное повторение КЕИ с мажоритарной обработкой.

Свободный ресурс пропускной способности (свободные временные окна) направления связи предлагается использовать для повышения помехоустойчивости информационного обмена методом повторных передач информации в разных временных окнах и мажоритарного декодирования. В каждом временном окне длительностью $\tau_{\text{во}}$ передается пакет длиной L_n , вероятность возникновения ошибки на бит в таком пакете есть величина p_o .

На приемной стороне обработка информации ведется с помощью схемы мажоритирования, позволяющей сравнивать символы, пришедшие в разных временных окнах, тем самым уменьшая общую вероятность ошибочного приема символа, характеризующуюся величиной $P_{\text{ош.маж}}$. В

зависимости от текущей величины свободной пропускной способности возможно использование различных схем мажоритирования: 2 из 3-х, 3 из 5-ти, 4 из 7-ми, и.т.д [46]. На рисунке 3.14 представлена схема мажоритарной обработки символов пришедших пакетов способом 2 из 3-х.

Пусть для данной схемы значение 1 соответствует случаю правильного приема символа, значение 0- случаю ошибочного приема.

Для определения величины $P_{ош.маж}$ необходимо сформировать все возможные варианты состояния схемы. Рассмотрим варианты для схемы 2 из 3-х.

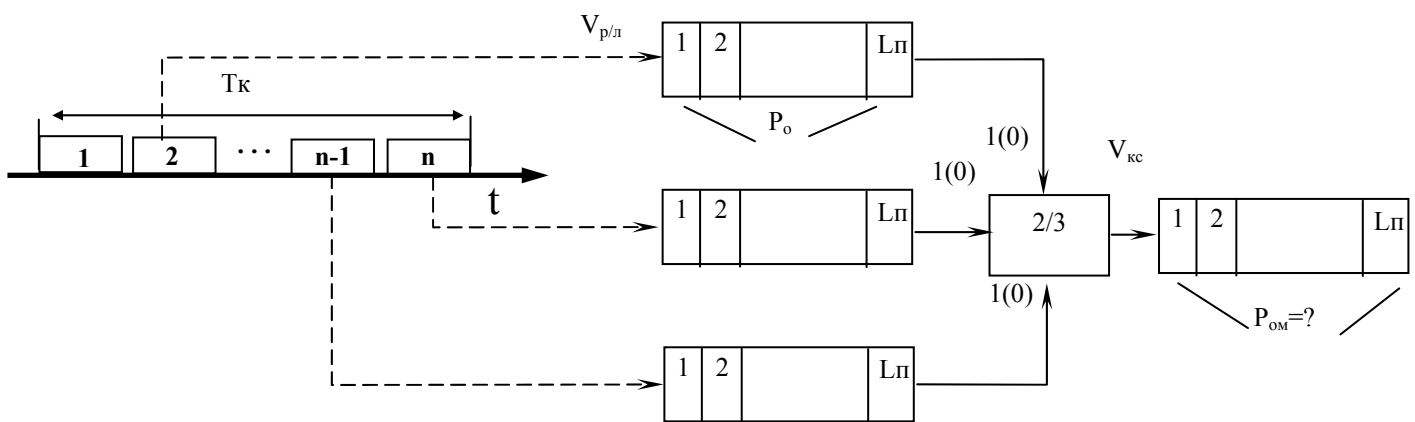


Рисунок 3.14 – Схема мажоритарной обработки информационных символов способом 2 из 3.

В общем случае при n каналах обработки имеем:

$$P_{ош.маж} = \sum_{i=0}^{n-1} C_n^i q^i P_o^{n-i} \quad (3.5)$$

Для нестационарных каналов, когда P_o -var (при $n=3$ каналах обработки)

$$P_{ош.маж2/3} = P_0^1 P_0^2 P_0^3 + P_0^1 P_0^2 q_3 + P_0^1 q_2 P_0^3 + q_1 P_0^2 P_0^3, \quad (3.6)$$

где $q = 1 - P_o$, n -число каналов обработки (временных окон).

На рисунке 3.15 представлен график зависимости общей величины ошибки на символ от варианта схемы мажоритирования.

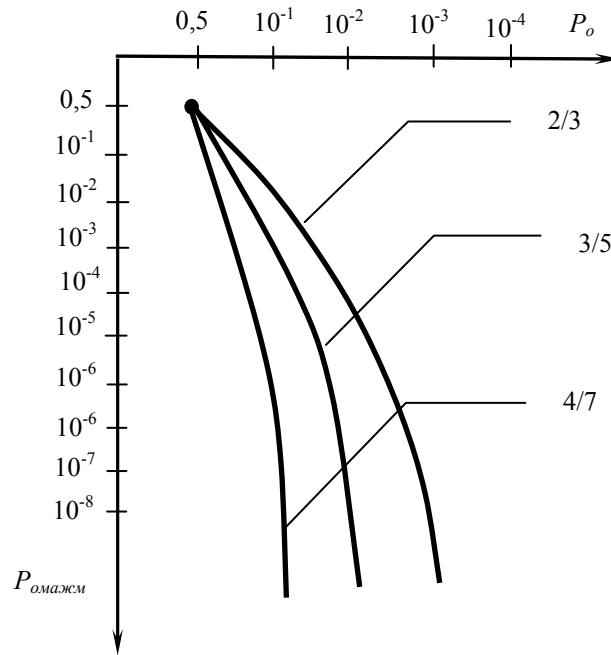


Рисунок 3.15 – Зависимость $P_{омаж}$ от варианта схемы мажоритирования

Проведенные расчеты и анализ полученных результатов показали, что данный способ повышения помехоустойчивости применим в случае наличия свободного ресурса пропускной способности и при каналах связи в направлении связи в основном среднего качества. При снижении качества каналов связи увеличивается вероятность вынесения схемой мажоритирования ошибочного решения.

Решение 2 - Увеличение энергопотенциала радиолинии путем синхронного излучения сигнала двумя ППК во временном окне.

Основой предлагаемого решения является идея введения энергетической избыточности в канал радиосвязи за счет передачи данных одного временного окна (КЕИ) синхронным излучением сигналов передатчиками радиального и рокадного направлений для повышения помехоустойчивости информационного обмена.

Обобщенная структурная схема синхронной работы радиального и свободного рокадного передатчиков представлена на рисунке 3.16. Сигнал с выхода устройства формирования поступает как в управляющий ВЧ

коммутатор своего (радиального) ППК (ППК-1), так и коммутатор свободного рокадного ППК (ППК-2). Причем при необходимости обеспечения такого режима работы АУР дает команду на перестройку частоты рокадного передатчика на частоту соответствующего радиального передатчика. Синхронизм работы обеспечивается управляющими сигналами АУР в составе АУР. АУР в соответствии с поступающим синхросигналом временной структуры кадра выдает команду обоим ППК на одновременную работу.

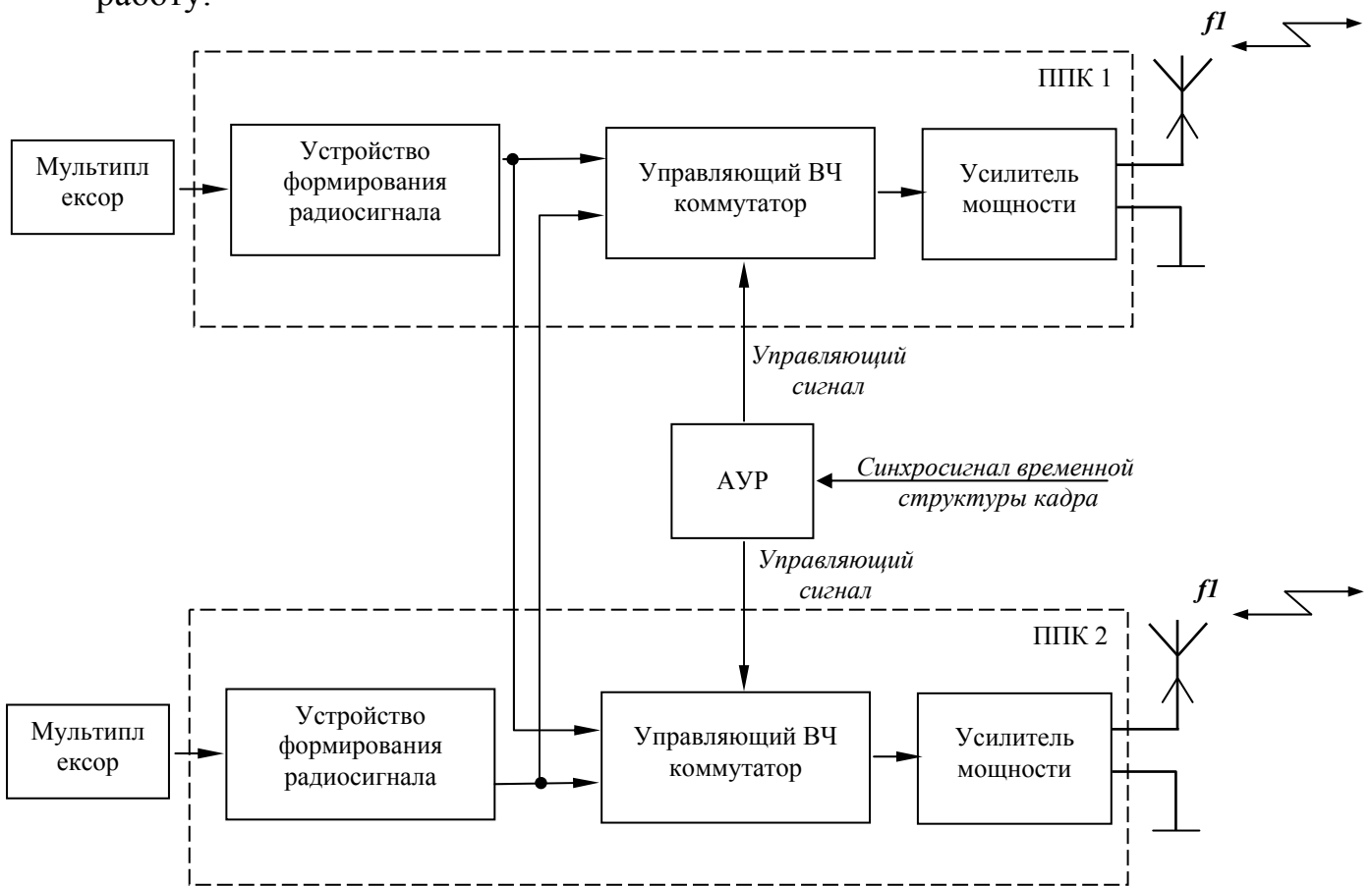


Рисунок 3.16 – Схема синхронизации излучения сигнала двумя ППК

Из теории передачи сигналов известно, что такое свойство любой системы радиосвязи как помехоустойчивость напрямую зависит от отношения мощности сигнала к мощности шума на входе демодулятора радиоприемника. В общем виде данное соотношение определяется следующей формулой [37]:

$$h_0^2 = \frac{E}{N_0} = \frac{P_c \tau_0 \Delta f}{N_0 \Delta f} = \frac{P_c}{P_{ш}} \quad , \quad (3.7)$$

где h_0^2 - отношение сигнал/шум на входе радиоприемника;

E – энергия сигнала;

N_0 – спектральная плотность мощности белого гауссовского шума;

P_c – мощность сигнала на входе демодулятора приемника;

τ_0 – длительность элементарного символа передаваемого пакета.

Синхронная работа двух ППК на излучение приведет к увеличению (удвоению) P_c , что повлечет за собой и увеличение соответственно соотношения сигнал/шум на входе демодулятора приемного устройства, а следовательно, повысит помехоустойчивость системы радиосвязи. Пусть в рассматриваемой системе радиосвязи используются сигналы с относительной фазовой манипуляцией (ОФМ). Обработка их ведется методом автокорреляционного приема. Помехоустойчивость оценивается вероятностью ошибки, выражение для которой имеет вид[37]:

$$P_{ош} = 0,5 \exp(-h_0^2) \quad (3.8)$$

Вероятность ошибки, равная $P_{ош} = 10^{-2}$ достигается при таком минимальном соотношении сигнал/шум:

$$h_0^2 = -\ln 2 P_{ош} \approx 3,91$$

Тогда применение данного способа в потенциале позволит увеличить соотношение сигнал/шум в два раза, а соответственно, получить вероятность ошибки, равную:

$$P'_{ош} = 0,5 \exp(-7.82) = 2 \cdot 10^{-4}$$

Выигрыш в помехоустойчивости по вероятности ошибки в этом случае составит

$$\frac{P_{ош}}{P'_{ош}} \approx 200 \text{ раз}$$

Решение 3 - Изменение скорости передачи информации в n раз за счет объединения нескольких тайм-слотов.

Анализ зависимости (3.8) показывает, что увеличение соотношения сигнал/шум на входе демодулятора приемника можно добиться не только увеличением мощности радиосигнала, но и изменением длительности элементарного символа передаваемого пакета - τ_0 . Увеличение длительности элементарного символа достигается за счет выделения нескольких объединенных свободных временных окон для передаваемого пакета. Схема объединения тайм-слотов во временном кадре представлена на рисунке 3.17.

Мультиплексор по команде АУР конфигурирует временную структуру кадра, выделяя под передаваемый пакет в зависимости от величины свободной пропускной способности, n временных окон.

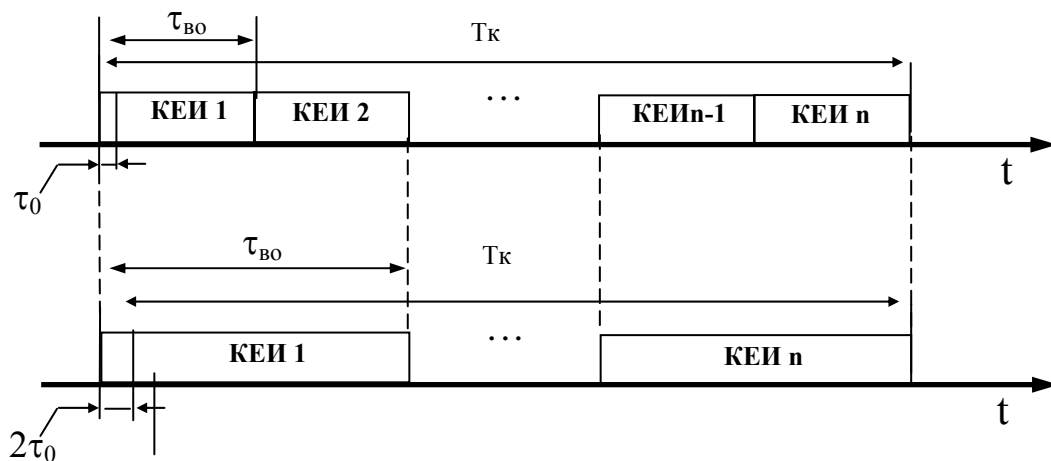


Рисунок 3.17 – Схема объединения тайм-слотов во временном кадре

В данном случае для выражения (3.8)

$$h_0^2 = \frac{E}{N_0} = \frac{P_c \tau_0 \Delta f}{N_0 \Delta f} = \frac{P_c}{P_u}$$

$$\tau_0' = 2\tau_0 \Rightarrow E' = 2E \Rightarrow h_0'^2 = 2h_0^2$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной диссертационной работы являлась минимизация коммуникационного ресурса ППК цифровой УКВ-радиосети, обеспечивающего с заданным качеством информационный обмен основных абонентов сети в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех. В ходе достижения данной цели была выявлена и решена научная задача разработки научно-методического аппарата расчета минимально достаточного коммуникационного ресурса типовых цифровых приемо-передающих комплексов УКВ-радиосвязи, формирующих сеть основных абонентов сети в зоне чрезвычайной ситуации в режиме ПКТ с заданным качеством функционирования в условиях поражения и восстановления каналов. При этом получены следующие научные результаты, обладающие научной новизной, теоретической и практической значимостью и выдвигаемые на защиту:

1. Математическая модель функционирования направления связи базового сегмента цифровой УКВ радиосети с рокадными связями в условиях неординарного поражения и восстановления каналов при разных требованиях абонентов к вероятности битовой ошибки, позволяющая выявлять доступность каналов для обслуживания неординарного потока заявок в условиях неординарных помех, базирующаяся на патентах на изобретения.

2. Методика расчета минимально достаточной пропускной способности направлений связи цифровой УКВ радиосети основных абонентов с заданным качеством их функционирования в условиях неординарного поражения и восстановления каналов при разных требованиях абонентов к вероятности битовой ошибки, позволяющая обеспечивать требуемую доступность каналов для обслуживания неординарного потока заявок в условиях неординарных помех.

Теоретическая значимость научных результатов состоит в создании научно-методического аппарата моделирования методами теории телетрафика направления связи цифровой УКВ радиосети с временным разделением каналов с учетом разных требований разнородных абонентов к вероятности битовой

ошибки, неординарных потоков занятия-освобождения каналов связи абонентами и неординарных потоков помеховых воздействий, приводящих к поражению каналов отдельных абонентов, а также расчета в указанных условиях числа рабочих каналов для обслуживания абонентов в условиях без помех и числа дополнительных каналов, обеспечивающих парирование помех предложенными механизмами отстройки.

В результате исследований, проведенных в работе, выявлено, показано, доказано и разработано следующее:

1. Основными абонентами цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех являются ЗУ АСУ, речевые абоненты и абоненты межкомпьютерного обмена, ведущие информационный обмен в режиме предоставления каналов по требованию.

2. Направления связи рассматриваемой цифровой радиосети являются многоканальными с временным разделением, при этом абоненты сети работают с разной скоростью передачи информации и поэтому создают неординарные потоки запросов на каналы (временные окна). Кроме того, абоненты предъявляют разные требования к вероятности битовой ошибки. В частности ЗУ требует одного канала и $p_0 \leq 5 \cdot 10^{-3}$, речевые абоненты требуют два канала и $p_0 \leq 10^{-3}$, абоненты МКО требуют четыре канала и $p_0 \leq 10^{-4}$.

3. Помеховые воздействия в силу разных требований абонента по p_0 вызывают поражение только каналов некоторых абонентов и проявляют себя как неординарный поток поражений каналов.

4. Восстановление пораженных каналов направления связи осуществляется повышением энергетики за счет кратного увеличения длительности битового символа. Тогда парирование помехи проявляет себя как неординарный поток восстановления каналов.

5. Наиболее напряженным направлением базового сегмента цифровой сети радиосвязи является радиальное направление. Следовательно, найденное

значение его пропускной способности (число временных окон) будет максимальным из всех направлений базового сегмента сети. Поскольку все ППК в сети однотипны, пропускная способность базового сегмента сети однозначно определит пропускную способность всей сети в целом.

6. Нахождение ТКР радиального направления связи, функционирующего в условиях неординарной нагрузки и неординарных помех, есть новая задача теории телетрафика нахождения емкости ПКС. Ее решение предложено осуществлять итеративным способом по методу направленного перебора. При этом нижнюю границу ТКР при отсутствии помех можно найти аналитическим методом по формуле Энгсета. Верхнюю границу при наличии ординарных помех предложено осуществлять численным методом. Для этого впервые сформированы правила автоматизированного синтеза СЛАУ СМО, описывающих функционирование ПКС для указанных условий.

7. Разработанная методика расчета минимально достаточной пропускной способности направлений связи цифровой УКВ радиосети в условиях частичного поражения и восстановления каналов представляет собой обобщенную комбинацию аналитического и численного подхода и представляет собой сходящуюся итерационную процедуру. При этом расчет ТКР для режима без помеховых воздействий сводится к известным формуле Энгсета, а для режима с помеховыми воздействиями при полном числе поражаемых каналов реализуется комбинацией аналитического и статистического моделирования.

8. Применение технических решений по использованию свободной пропускной способности направлений связи цифровой УКВ радиосети позволит для типовых условий функционирования направления связи без помеховых воздействий существенно снизить вероятность битовой ошибки в пакете передаваемых данных. При этом техническая реализация данных решений особых затруднений не вызывает.

В дальнейшем полученные научные результаты и практические

рекомендации могут быть использованы предприятиями промышленности РФ следующим образом:

- при совершенствовании существующих и создания перспективных цифровых систем радиосвязи с предоставлением каналов по требованию;
- при формировании корректного обоснования технических требований в ходе проведения НИР и ОКР на разрабатываемые системы цифровой радиосвязи;
- в учебном процессе высших учебных заведений.

В рамках сформулированной в диссертационной работе научной задачи дальнейшие исследования целесообразно продолжить в направлениях:

- учета при парировании помех процедур помехоустойчивого кодирования сообщений;
- учета процедуры снижения кратности модуляции используемых сигнально-кодовых конструкций.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АПД – аппаратура передачи данных

АРМ – автоматизированное рабочее место

АСР – аварийно-спасательные работы

АСУ – автоматизированные системы управления

АСУ ДД – автоматизированные системы управления дорожным движением

АСУ НН – автоматизированные системы управления народнохозяйственного назначения

АСУС – автоматизированные системы управления связью

АСУ ТПС – автоматизированные системы управления трубопроводной системы

АСФ – аварийно-спасательные формирования

АУР – аппаратура управления радиосвязью

БС – базовые станции

ВРК – временное разделение каналов

ВО – временные окна

ГАС – государственная автоматизированная система

ГО – гражданская оборона

ЗУ – звенья управления

ИРП – промышленные помехи

ИС – информационная сеть

КЕИ – коммутируемая единица информации

КИП – контрольно-измерительные приборы

КСА – комплекс средств автоматизации

ЛЭП – линии электропередач

МКО – межкомпьютерный обмен

МЧС – министерство чрезвычайных ситуаций

ОКР – общий коммуникационный ресурс

ОС – операционная система

ОУ – оперативное управление
ПКТ – предоставление по требованию
ПКС – полнодоступная коммутационная схема
ПО – подвижные объекты
ППД – пункт постоянной дислокации
ППК – приемо-передающий комплекс
ППРЧ – псевдослучайная перестройка рабочей частоты
СКК – сигнально-кодовые конструкции
СЛАУ – система линейных алгебраических уравнений
СЛОДУ – система линейных однородных дифференциальных уравнений
СМО – система массового обслуживания
СППР – система поддержки принятия решений
ТИК – территориальные избирательные комиссии
ТКР – требуемы коммуникационный ресурс
ТС – типовые сегменты
ТС – транспортная станция
ТФОП – телефонная сеть общего пользования
ТЧ – тональная частота
УК – узел коммутации
ФМ – фазовая манипуляция
ЧС – чрезвычайная ситуация
ШПС – широкополосный сигнал
ЭМО – электромагнитная обстановка
ЭМП – электромагнитное поле
DMR – Digital Mobile Radio – цифровая подвижная радиосвязь
TETRA – TErrestrial TRunked RAdio – открытый стандарт цифровой
транкинговой радиосвязи

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Автоматизированные системы управления в трубопроводном транспорте нефти / В.В. Панарин, Л.А. Зайцев — М.: Недра, 2006г. 254с.
- 2 Анализ влияния промышленных радиопомех на помехоустойчивость телекоммуникационных каналов / В.А. Шпенст, Н.А. Шатунова / Научный журнал Век качества, 2014 г., с. 73-75
- 3 Анализ влияния промышленных радиопомех на помехоустойчивость телекоммуникационных каналов / В.А. Шпенст, Н.А. Шатунова / Научный журнал Век качества, 2014 г., с. 73-75
- 4 Анализ помехоустойчивости радиостанции при воздействии организованных помех / А. Х. Абед, В. М. Жуков / Вестник ТГТУ. 2016. Том 22. № 1., с. 53-57
- 5 Алгоритм обработки сигналов в аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем, предназначенной для обеспечения точного захода на посадку в условиях воздействия радиопомех / Г.В. Криницкий / Научный Вестник МГТУ ГА Том 20, № 05, 2017, с. 43-49
- 6 Артамонов Г.Т., Тюрин В.Д. Топология сетей ЭВМ и многопроцессорных систем. – М: Радио и связь, 1991. – 248 с.: ил.
- 7 Афанасьев В.В., Горностаев Ю.М. Эволюция мобильных сетей. Серия изданий «Связь и бизнес», М. 2000. – 140 с.
- 8 Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Дмитриев В.И. Сети мобильной связи / СПб ГУТ,СПб, 1999.-330 с.
- 9 Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Михайлов П.А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование / СПб ГУТ,СПб, 2000.-196 с.
- 10 Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Петраков В.А., Рыжков А.Е., Сиверс М.А. Передача информации в системах подвижной связи / СПб ГУТ,СПб, 1999.-152 с.
- 11 Бекренев, С. А. Подходы к решению задачи нахождения оптимальных параметров подсистемы кадровой синхронизации в сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами при реализации

- процедуры временного разделения каналов / С. А. Бекренев // Известия Ин-та инженерной физики : науч.-техн. журн. – Серпухов, 2017. – № 1 – С. 31–33.
- 12 Бекренев, С. А. Модель процесса установления кадровой синхронизации в базовом сегменте цифровой радиосети метрового диапазона иерархической структуры с подвижными объектами / Д. В. Смирнов, С. А. Бекренев // Междун. конф. «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий» (REDS-2017) ; Доклады ; Серия: науч. конф. посвящ. Дню радио / Рос. науч.-техн. общ. радиотехн., электрон. и связи им. А.С. Попова. – М. : ООО «БРИС-М», 2017. – Вып. LXXII. – С. 74–77.
- 13 Бекренев, С. А. Методика оптимизации периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в условиях помех / С. А. Бекренев // Междун. конф. «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий» (REDS-2018) ; Доклады ; Серия: науч. конф. посвящ. Дню радио / Рос. науч.-техн. общ. радиотехн., электрон. и связи им. А.С. Попова. – М. : ООО «БРИС-М», 2018. – Вып. LXXIII. – С. 282–286.
- 14 Бекренев, С. А. Моделирование процесса установления кадрового синхронизма в подсистеме кадровой синхронизации сети радиосвязи иерархической структуры с подвижными объектами / Д. В. Смирнов, С. С. Чайков, С. А. Бекренев // Новые информационные технологии в системах связи и управления : Тр. XIV Рос. НТК / М-во промышленности и торговли Рос. Федерации, ОАО «Концерн радиостроения «Вега», ОАО «Калужский НИИ телемеханических устройств». – Калуга: Изд. ООО «Ноосфера», 2016. – С. 57–61.
- 15 Бекренев, С. А. Подходы к нахождению параметров функционирования подсистемы кадровой синхронизации в цифровой сети радиосвязи с подвижными объектами / Д. В. Смирнов, С. С. Чайков, С. А. Бекренев //

- Тр. XXXV Всерос. НТК «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем» / Фил. Воен. акад. РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов Моск. обл.). – Серпухов, 2016. – Ч. 6. – С. 61–65.
- 16 Бекренев, С. А. Подходы к определению готовности подсистемы кадровой синхронизации в цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами при заданных параметрах / С. А. Бекренев // Тр. XXXVI Всерос. НТК «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем» / Фил. Воен. акад. РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов Моск. обл.). – Серпухов, 2017. – Ч. 8. – С. 59–63.
- 17 Бекренев, С. А. Исследование характеристик процесса установления кадровой синхронизации ШПС-ФМ синхросигналами в сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами / Д. В. Смирнов, С. А. Бекренев // Сб. науч. тр. Института инженерной физики : науч.-техн. журн. – Серпухов, 2017. – № 5 (часть 2). – С. 215–217.
- 18 Бекренев, С. А. Оценка функциональной готовности цифровой сети радиосвязи в зоне чрезвычайной ситуации и оптимизация параметров ее подсистемы кадровой синхронизации в условиях помех / В. А. Цимбал, С. С. Чайков, Д. В. Смирнов, С. А. Бекренев // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты : науч. журн. – Химки, 2020. – № 1 – С. 89–99. – ISSN 2079-7001.
- 19 Берлин А.Н. Коммутация в системах и сетях связи. - М.: Эко-Трендз, 2006.- 344с.
- 20 Беслер Р., Дойч А. Проектирование сетей связи: Справочник: Пер. с нем. М.: Радио и связь, 1988. – 272 с.: ил.
- 21 Благовещенский, Д.В. Радиосвязь и электромагнитные помехи : учебное пособие / Д.В. Благовещенский. – СПб. : СПбГУАП, 2002. – 70 с.
- 22 Боевой устав подразделений пожарной охраны, определяющий порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных

работ: [утвержден приказом МЧС России от 16.10.2017 N 444].

- 23 Божалкин Д.А. Математическое и алгоритмическое обеспечение для анализа характеристик информационных потоков в магистральных интернет-каналах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информатизация и связь). – Екатеринбург, 2020 г. – 198 с.
- 24 Борисов В.И. и др. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. – М.: Радио и связь, 2000. – 384с.
- 25 Бородич С.В. Искажения и помехи в многоканальных системах радиосвязи с частотной модуляцией. – М.: Связь, 1976. – 257с.
- 26 Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – М.: Наука, 1980. – 976с.
- 27 Бузов А.Л., Быховский М.А., Васехо Н.В. и др. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. Учебн. пособие / Под ред. д.т.н., проф. М.А. Быховского. — М.: Эко-Трендз, 2006. — 376 с.: илл.
- 28 Букейханов Е.С. Обобщение формулы Энгсета для неординарного потока //ТУИС, 1976, вып.75, с.18...24.
- 29 В.М. Вишневский, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005.- 592 с.
- 30 Варакин Л.Е. Системы связи с ШПС. – М.: Радио и связь. 1985. – 364 с.
- 31 Васильев В.И. и др. Системы связи: Учебное пособие для втузов.-М.: Высш.школа, 1987. – 280 с.
- 32 Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учебное пособие / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – 5-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2010. – 480 с.
- 33 Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные

- приложения. – Учебное пособие / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – 4-е изд., стер. – М.: Высш. шк, 2007. – 479 с.: ил.
- 34 Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб.для вузов. – 6-е изд., стер. – М.: Высш. шк, 1999. – 576 с.: ил.
- 35 Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учеб. пособие. – М.: Эко-Трендз, 2005.-392с.
- 36 ГАС «Выборы» Общее описание системы. Часть 9. Описание подсистемы связи и передачи данных (ИРЦВ.42 5100 5.001.ПД.2-8). – Москва, 2016. – 29с.
- 37 Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь. Учебное пособие для вузов. - М.: Горячая линия-Телеком, 2007.-432 с.
- 38 Гвозд К.И. Анализ связности радиосетей метрового диапазона автоматизированных систем управления подвижными объектами общего назначения. [Текст] / И.В. Реджепов, А.А. Парфентьев, К.И. Гвозд // В сборнике: Радиолокация, навигация, связь. Сборник трудов XXIV Международной научно-технической конференции. В 5-и томах.2018. – С. 63-69.
- 39 Гвозд К.И. Анализ помехоустойчивости цифровых каналов связи на базе стандарта IEEE 802.16 [Текст] / К. И. Гвозд, С. Е. Потапов, С. В. Ярёмченко // 67-я Всерос. конф. с междун. участ. «Научная сессия, посвященная Дню радио» (REDC-2012); Тр. Рос.науч.–техн. общ. радиотехн., электрон. и связи им. А.С. Попова. – Москва, 2012. – Вып. XLVII. – С. 293 - 296.
- 40 Гвозд К.И. Задача нахождения ёмкости полnodоступной коммутационной схемы в условиях неординарной нагрузки и неординарного подавления – восстановления каналов // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2024. №СВ1 (45). С. 205-209
- 41 Гвозд К.И. Задача обоснования канальной емкости направлений системы радиосвязи с незакрепленными каналами в условиях их поражения и

- восстановления и ее решение[Текст] / К. И. Гвозд, В. Е. Тоискин, Р. Н. Хрусталёв // Известия Ин-та инженерной физики : науч.-техн. журн. – Серпухов, 2016. – № 3 – С. 33–37.
- 42 Гвозд К. И. Задача оптимизации скорости передачи информации в асимметричном тракте передачи данных и ее решение [Текст] / О.И. Сорокин, М.А. Эрлих, К.И. Гвозд /// Новые информационные технологии в системах связи и управления : Тр. XVI Рос. НТК / М-во промышленности и торговли Рос. Федерации, Государственная корпорация «Ростех», АО «Объединенная приборостроительная корпорация», АО «Концерн радиостроения «Вега», -АО «Калужский НИИ телемеханических устройств».– Калуга, 2017. – С. 175 - 182.
- 43 Гвозд К.И. Исследование процессов информационного обмена в иерархических сетях передачи данных с соединениями «точка-многоточка» при различном качестве каналов связи [Текст] / К. И. Гвозд, А.А. Москвин, Е.А. Довгополая // 72-я Всерос. конф. с междунар. участ. «Научная сессия, посвященная Дню радио» (REDC-2017) ; Тр. Рос.науч.–техн. общ. радиотехн., электрон. и связи им. А.С. Попова. – Москва, 2017. – Вып. LXXII. – С. 194 - 198.
- 44 Гвозд К.И. Математическая модель поражения и восстановления направлений информационной радиосети АСУ общего назначения на основе конечной эргодичной марковской цепи. [Текст] / Гвозд К.И. // XLII Всероссийская научно-техническая конференция: Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем. Сборник №7, 2023. – С. 58-62
- 45 Гвозд К.И. Математическая постановка задачи оптимизации информационного обмена между абонентами центров обработки данных специального назначения и пути ее решения. [Текст] / Васин А.Н., Лягин М.А., Гвозд К.И. // В сборнике: Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий (/РЭУС-2022»). Доклады Всероссийской конференции (с международным участием). Москва,

2022. – С. 77-80.

- 46 Гвозд К.И. Методика оценки эффективности способа синдромного декодирования блочных кодов, построенных из сверточного [Текст] / К. И. Гвозд, С. С. Манаенко, Д. А. Потягов // 65-я Всерос. конф. с междунар. участ. «Научная сессия, посвященная Дню радио» (REDC-2010) ; Тр. Рос.науч.–техн. общ. радиотехн., электрон. и связи им. А.С. Попова. – Москва, 2010. – Вып. LXV. – С. 373 - 375.
- 47 Гвозд К.И. Модель обслуживания заявок. Цимбал В.А., Тоискин В.Е., Лягин М.А., Васин А.Н., Боронин А.В., Гвозд К.И., Савельев Н.Э. Патент на полезную модель 210171 U1, 30.03.2022 .Заявка № 2021126286 от 06.09.2021
- 48 Гвозд К.И. Моделирование информационного обмена в соединениях «точка-многоточка» с протоколом X.25 в вариантах «1-2» и «1-3» и исследование его характеристик при различном качестве каналов связи[Текст] / К. И. Гвозд, А. А. Москвин, Т. А. Исаева, Ф. Г. Кирдяшов// Новые информационные технологии в системах связи и управления : Тр. XV Рос. НТК / М-во промышленности и торговли Рос. Федерации, Государственная корпорация «Ростех», АО «Объединенная приборостроительная корпорация», АО «Концерн радиостроения «Вега», -АО «Калужский НИИ телемеханических устройств».– Калуга, 2016. – С. 104 - 114.
- 49 Гвозд К.И. Модулятор для комплексного сигнала. Гвозд И.И., Лягин М.А., Васин А.Н., Гвозд К.И., Тугушев Р.Ш., Бурмакин В.О. Патент на полезную модель RU 2216442 U1, 03.02.2023. Заявка № 2022123185 от 29.08.2022.
- 50 Гвозд К.И. Нахождение связности сегмента радиально-узловой сети с рокадными связями[текст]/ Гвозд К.И., Боронин А.В./// Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова 7-я Всероссийская конференция «Радиоэлектронные средства получения, обработки и визуализации информации» (РСПОВИ-2017)

Москва: 2017. – С. 16 - 20.

- 51 Гвозд К.И. Некоторые аспекты применения алгоритмов и моделей адаптивного управления [Текст] / К. И. Гвозд, А. А. Алейников, К. З. Билятдинов, И. В. Реджепов // Тр. XXXVI Всерос. НТК «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем» / Фил. Воен. акад. РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов Моск. обл.).– Серпухов, 2017. – Ч. 8. – С. 52 - 58.
- 52 Гвозд К.И. Обоснование структуры однопорогового энергетического обнаружителя многочастотных сигналов в радиоприёмниках метрового диапазона [Текст] / К. И. Гвозд, А. В. Ржанных// 66-я Всерос. конф. с междун. участ. «Научная сессия, посвященная Дню радио» (REDC-2011); Тр. Рос.науч.–техн. общ. радиотехн., электрон. и связи им. А.С. Попова. – Москва, 2011. – Вып. XLVI. – С. 210 - 214.
- 53 Гвозд К.И. О совершенствовании математического аппарата оценки связности базового сегмента информационной сети АСУ с рокадными связями [Текст] / Москвин А.А., Гвозд К.И. // XLII Всероссийская научно-техническая конференция: Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем. Сборник №7, 2023. – С. 103-109.
- 54 Гвозд К.И. Патент на полезную модель № 221549 U1 Российская Федерация, МПК H04L 27/04, H04L 27/36, H03C 1/54. Модулятор комплексного сигнала : № 2023118227 : заявл. 10.07.2023 : опубл. 13.11.2023 / И. И. Гвозд, М. А. Лягин, А. Н. Васин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого Министерства обороны Российской Федерации.
- 55 Гвозд К.И. Перспективная структура построения объёмной инфотелекоммуникационной сети специального назначения [Текст] / К.

- И. Гвозд, Р. Н. Хрусталёв, Е. В. Левашов // 71-я Всерос. конф. с междунауч. участ. «Научная сессия, посвященная Дню радио» (REDC-2016): в 2-х т. - Т. 2. ; Тр. Рос.науч.–техн. общ. радиотехн., электрон. и связи им. А.С. Попова. – Москва, 2016. – Вып. LXXI. – С. 412 - 416.
- 56 Гвозд К.И. Поиск синхронизирующей последовательности на основе разложения на множители [Текст] / К. И. Гвозд, Е. А. Ткачев, А. А. Жарнов, П. С. Смородов // 70-я Всерос. конф. с междунауч. участ. «Научная сессия, посвященная Дню радио» (REDC-2015); Тр. Рос.науч.–техн. общ. радиотехн., электрон. и связи им. А.С. Попова. – Москва, 2015. – Вып. XLXX. – С. 380 - 383.
- 57 Гвозд К.И. Постановка задачи нахождения требуемой производительности аппаратно-программных средств в информационно-управляющей системе иерархического типа [Текст] / К. И. Гвозд, Е. А. Яременко, Я. В. Акимов, Ф. Г. Кирдяшов // Новые информационные технологии в системах связи и управления : Тр. XIV Рос. НТК / М-во промышленности и торговли Рос. Федерации, Государственная корпорация «Ростех», АО «Объединенная приборостроительная корпорация», АО «Концерн радиостроения «Вега», АО «Калужский НИИ телемеханических устройств». – Калуга, 2015. – С. 318 - 321.
- 58 Гвозд К.И. Применение логико-вероятностного метода для оценки связности радиально-узловой сети связи с рокадными и перекрестными связями. [Текст] / И.В. Реджепов, К.И. Гвозд // В сборнике: Радиолокация, навигация, связь. Сборник трудов XXIV Международной научно-технической конференции, посвященной 160-летию со дня рождения А.С. Попова. В 6-ти томах. 2019. – С. 393-401
- 59 Гвозд К.И. Программа расчета вероятностно-временных характеристик процесса доставки многопакетного сообщения. Цимбал В.А., Лягин М.А., Карпенко Н.В., Белозеров С.В., Гвозд К.И., Хоптар В.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023668644, 30.08.2023. Заявка № 2023667687 от 24.08.2023 г.

- 60 Гвозд К.И. Расчет пропускной способности транкинговой системы радиосвязи корпоративной обучающей сети для регионов с низкой плотностью населения. [Текст] / В.А. Цимбал, К.И. Гвозд // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2017. №4(35). – С. 127-130
- 61 Гвозд К.И. Система радиосвязи наземных подвижных объектов. Гвозд И.И., Гвозд К.И. Патент на полезную модель RU 109359 U1, 10.10.2011. Заявка № 2011111105/07 от 24.03.2011
- 62 Гвозд К. И. Системный анализ направления радиосвязи интегрального обслуживания пользования с неординарной нагрузкой в условиях помех [Текст] / Д.В. Смирнов, К.И. Гвозд /// Новые информационные технологии в системах связи и управления: Тр. XXIII Рос. НТК / М-во промышленности и торговли Рос. Федерации, Государственная корпорация «Ростех», АО «Объединенная приборостроительная корпорация», АО «Концерн радиостроения «Вега», АО «Калужский НИИ телемеханических устройств». – Калуга, 2024. – С. 170 - 177.
- 63 Гвозд К.И. Сравнительный анализ оценки пропускных способностей и производительности транспортной сети при использовании в качестве модели СМО М/М/1/∞ и М/М/n/m[Текст] / К. И. Гвозд, Г. И.Линец, Е. А. Еременко// Новые информационные технологии в системах связи и управления : Тр. XIII Рос. НТК / М-во промышленности и торговли Рос. Федерации, Государственная корпорация «Ростех», АО «Объединенная приборостроительная корпорация», АО «Концерн радиостроения «Вега», АО «Калужский НИИ телемеханических устройств».– Калуга, 2014. – С. 236 - 242.
- 64 Гвозд К.И. Устройство для моделирования системы связи. Цимбал В.А., Шиманов С.Н., Кривоногов А.Н., Тоискин В.Е., Крикунов А.А., Мокринский Д.В., Гвозд К.И., Жарнов А.А. Патент на изобретение 2776592 С1, 22.07.2022 .Заявка № 2021135520 от 03.12.2021.

- 65 Гвозд К. И. Численное нахождение требуемого числа каналов направления радиосвязи интегрального обслуживания пользователей с неординарной нагрузкой в условиях помех [Текст] / К.И. Гвозд /// Новые информационные технологии в системах связи и управления : Тр. XXIII Рос. НТК / М-во промышленности и торговли Рос. Федерации, Государственная корпорация «Ростех», АО «Объединенная приборостроительная корпорация», АО «Концерн радиостроения «Вега», АО «Калужский НИИ телемеханических устройств».– Калуга, 2024 .– С. 178 - 181.
- 66 Гвозд К.И. Энергетическая эффективность помехоустойчивого кодирования информации в цифровых каналах передачи информации [Текст] / К. И. Гвозд, Д. А. Ковальков, А. В. Лещинский // 69-я Всерос. конф. с междун. участ. «Научная сессия, посвященная Дню радио» (REDC-2014) ; Тр. Рос.науч.–техн. общ. радиотехн., электрон. и связи им. А.С. Попова. – Москва, 2014. – Вып. LXIX. – С. 363 - 366.
- 67 Голиков, А.М. Системы радиосвязи и сети телерадиовещания : учебное пособие / А.М. Голиков. – Томск : ТУСУР, 2015. – 326 с.
- 68 Головин О.В., Простов С.П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи / Под ред. профессора О.В. Головина. - М.: Горячая линия-Телеком, 2006.-598 с.
- 69 Гольдштейн Б.С. Системы коммутации. – СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2003. – 318 с.
- 70 Гончаров К.В. Исследование влияния импульсных помех на тональные рельсовые цепи//ДИИТ, вып.75, 2012. - с.161-165.
- 71 ГОСТ 17657-79 Передача данных. Термины и определения. – М. : Издательство стандартов, 1979. – 25 с.
- 72 ГОСТ 19.472-80. Сети телефонные. Термины и определения.
- 73 ГОСТ 19.472-88. Система автоматизированной телефонной связи общегосударственная. Термины и определения.
- 74 ГОСТ 23609-86. Сети связи. Первичные сети связи. Вторичные сети

связи.

- 75 ГОСТ 24.701-86. ЕСС АСУ. Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения.
- 76 ГОСТ Р 56172-2014 Радиостанции и ретрансляторы стандарта DMR. Основные параметры. Технические требования. – М.: Стандартинформ, 2014. – 23 с.
- 77 ГОСТ EN 301 489-1 V1.9.2-2015 Электромагнитная совместимость и радиочастотный спектр. Электромагнитная совместимость технических средств радиосвязи. Часть 1. Общие технические требования. – М. : Стандартинформ, 2016. – 38 с.
- 78 Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распаев Ю.А. Сети и системы радиодоступа. – М.: Эко-Трендз, 2005.-384с.
- 79 Губин Н.М., Матлин Г.М. Качество связи: Теория и практика. - М.: Радио и связь, 1986. 272 с.
- 80 Д. Филипс, А. Гарсиа-Диас Методы анализа сетей: Перевод с английского. – М.:Мир, 1984. – 496 с.
- 81 Девришбеков, М.Ш. Эффективность информационной поддержки принятия решений в МЧС России [Электронный ресурс] / М. Ш. Девришбеков // Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности". – 2016. – Вып. 5(69). – Режим доступа : <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2016-5/2016-5.html>.
- 82 Демин В.П., Куприянов А.И., Сахаров А.А. Радиоэлектронная разведка и радиомаскировка. – М.: Изд-во МАИ, 1997. – 15 с.
- 83 Доровских А.В., Сикарев А.А. Сети связи с подвижными объектами. – К.: Техника, 1989, - 158 с.
- 84 Дудник Б.Я. Надежность и живучесть систем связи. – М.: Радио и связь, 1984. – 168 с.
- 85 Ершов В.А. Коммутация на интегральной цифровой сети связи. – М.: Связь, 1978. – 256 с., ил.
- 86 Захаров Г.П. Методы исследования сетей передачи данных. – М.: Радио

- и связь, 1982. – 208 с., ил.
- 87 Защита от радиопомех / под ред. М. В. Максимова. – М. : Связь, 1996. – 496 с
- 88 Зацаринный А.А., Гаранин А.И., Козлов С.В. Научно-практические аспекты обеспечения надежности информационно-телекоммуникационных сетей. – М.: ФИЦ ИУ РАН, 2017. – 246 с.: ил.
- 89 И.М. Пышкин, И.И. Дежурный, В.Н. Талызин, Г.Д. Чвилев Системы подвижной радиосвязи / Под ред. И.М. Пышкина. – М.: Радио и связь, 1986. – 328 с.
- 90 Иодко Е.К. Организация, планирование и АСУ предприятиями связи: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1985. – 280 с., ил.
- 91 Использование радиочастотного спектра и развитие в России сетей подвижной связи 3-го поколения (Под редакцией Зубарева Ю.Б., Быховского М.А.). Серия изданий «Связь и бизнес», М. 2001. – 128 с.
- 92 Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979. –432с.
- 93 Красносельский Н.И. и др. Автоматизированные системы управления в связи: Учебник для вузов / Н.И. Красносельский, Ю.А. Воронцов, Ю.А. Аппак. – М.: Радио и связь, 1988. – 272 с.
- 94 Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. – СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2005. – 288 с.
- 95 Кузнецов В.Е., Лихачев А.М., Паращук И.Б., Присяжнюк С.П. Телекоммуникации. Толковый словарь основных терминов и сокращений. Под редакцией А.М. Лихачева, С.П. Присяжнюка. – СПб: АИН РФ Институт телекоммуникаций, 2001. – 799 с
- 96 Кузнецов Ю.В., Баев А.Б. Спектральный и временной анализ импульсных и периодических сигналов. – М.: Издательство МАИ. 2007. – 96 с.
- 97 Куприянов, А.И. Радиоэлектронная борьба. Основы теории / А.И. Куприянов, Л.Н. Шустов. – М. : Вузовская книга, 2011. – 800 с.

- 98 Кучерявый А.Е., Гильченко Л.З., Иванов А.Ю. Пакетная сеть связи общего пользования. – СПб.: Наука и Техника, 2004. – 272 с.
- 99 Лазарев В.Г. Интеллектуальные цифровые сети: Справочник / Под.ред. академика Н.А. Кузнецова. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 224 с.
- 100 Ланко А.А., Деев В.В., Журавин А.И. Коммутация в сетях связи. МО СССР, 1988.-374с.
- 101 Лапшин Б.С., Мамонтова Н.П. Развитие систем автоматической коммутации каналов. М., «Связь», 1976. – 88 с. с ил.
- 102 Лапшин В.Ю., Предоставление каналов по требованию в перспективной радиосети АСУ промышленного назначения с ограниченным общим коммуникационным ресурсом служебных и рабочих каналов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность: 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций. – Серпухов, 2013 г. – 139 с.
- 103 Лившиц Б.С., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика. – М.: Связь, 1979. –224с.
- 104 Лившиц Б.С., Фидлин Я.В. Системы массового обслуживания с конечным числом источников. – М.: Связь, 1968. – 168 с.
- 105 Макаренко, С.И. Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба в сетевых войнах начала XXI века: монография / С.И. Макаренко. – СПб.: Научно-технологические исследования, 2017. – 546 с.
- 106 Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2002. – 440 с.
- 107 Манохин А.Е. Метод компенсации помех на основе векторно-матричных преобразований // Журнал Радиоэлектроники. №10,2016. – 50-62 с.
- 108 Метод оценки влияния промышленных радиопомех от воздушных линий электропередач и высоковольтного оборудования на высокочувствительные радиолокационные станции / Боев С.Ф., Пилков А.В., Купцов Н.М., Радомский А.Н. / Труды МАИ. Выпуск № 85. с.1-18
- 109 Методические рекомендации по планированию, организации и

обеспечению связи в МЧС России. – СПб. : Полиграфический центр ТК ФГБОУ ВПО СПбУ ГПС МЧС России, 2013. – 170 с.

- 110 Методы борьбы с помехами / А. Борейшо / Алгоритм безопасности № 4, 2004, с. 1- 5
- 111 Носов М.В. Анализ систем эксплуатации автоматизированной информационно-управляющей системы МЧС России / М.В. Носов // Сборник материалов военно-научной конференции: «Роль и место автоматизированной системы управления в ликвидации чрезвычайных ситуаций». – АГЗ МЧС России, 1996. – С. 14-21
- 112 Носов М.В. Актуальные вопросы предупреждения чрезвычайных ситуаций / Под редакцией В.А. Акимова. – ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2010. – 351
- 113 Носов М.В. Вопросы надежности функционирования оперативных дежурных в системах управления РСЧС / М.В. Носов, А.С. Романов // Технологии гражданской безопасности. – 2010. №1,2 (15, 16) – С. 35-44.
- 114 Носов М.В. Некоторые вопросы эффективности функционирования автоматизировано-управляющей системы МЧС России / М.В. Носов // Сборник материалов военно-научной конференции: «Роль и место автоматизированной системы управления в ликвидации чрезвычайных ситуаций». – АГЗ МЧС России, 1996. – С. 10-15
- 115 Носов, М.В. Организация связи в РСЧС : учебное пособие / М.В. Носов. – АГЗ МЧС России, 2005. – 144 с. Носов М.В. Основные характеристики и показатели качества функционирования и модернизации систем оповещения населения / М.В. Носов. – АГЗ МЧС России, 2014. – 110 с.
- 116 Носов М.В. Повышение надежности функционирования систем оповещения населения на основе применения сложных сетевых структур для соединения центров (пунктов) оповещения. / М.В. Носов // XXV международная научно-практическая конференция «Предупреждение. Спасение. Помощь». – ФГБОУ ВО АГЗ МЧС России, - 2014. – С.97.
- 117 Носов М.В. Связь ультракоротковолновая / М.В. Носов // Гражданская

- защита. Энциклопедия. 2007. Том3 . – С.356
- 118 Носов М.В. Система связи РС ЧС и гражданской обороны / М.В. Носов // Гражданская защита. Энциклопедия. 2007. Том3 . – С.394
- 119 Отчет о НИР «Интеграция» [Текст] : отчет о НИР (заключительный) / Филиал военной академии РВСН им. Петра Великого ; науч. рук. Цимбал В. А. ; исполн.: Гвозд К. И. [и др.]. – Серпухов, 2020. – 185 с.
- 120 Отчет о НИР «Режектор» [Текст] : отчет о НИР (итоговый) / Институт инженерной физики ; науч. рук. Цимбал В. А. ; исполн.: Гвозд К. И. [и др.]. – Серпухов, 2017. – 332 с.
- 121 Отчет об ОКР «Режектор-РВ» технический проект [Текст] / Институт инженерной физики ; главный конструктор Прасолов В. А. ; исполн.: Гвозд К. И. [и др.]. – Серпухов, 2020. – 175 с.
- 122 Отчет о НИР «Реновация» [Текст] : отчет о НИР (заключительный, 3 этап) / Филиал военной академии РВСН им. Петра Великого ; науч. рук. Цимбал В. А. ; исполн.: Гвозд К. И. [и др.]. – Серпухов, 2023. – 261 с.
- 123 Отчет о НИР «Тесла-ИИФ» [Текст] : отчет о НИР (итоговый) / Институт инженерной физики ; науч. рук. Прасолов В. А. ; исполн.: Гвозд К. И. [и др.]. – Серпухов, 2019. – 251 с.
- 124 Оценка параметров модели потока импульсных помех по результатам экспериментальных измерений в каналах управления информационных систем и электротехнических комплексов / Арсеньев М.В., Шелухин Д.О. / Электротехнические и информационные комплексы и системы №2, т.2, 2006 г. – с.15...18.
- 125 Парамонов Г.Б. Обоснование состава режимов функционирования перспективных приемо-передающих комплексов метрового диапазона волн для пакетных рдиосетей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций. – Москва, 2009 г. – 145 с.
- 126 Пацук С.В. Система радиосвязи в МЧС России / С.В. Пацук, В.В. Ильичев, А.А. Клавдиев, А.Н. Куренной // Актуальные вопросы

- пожарной безопасности, 2022 №2 (12), с. 41 - 49
- 127 Перфилов О.Ю. Радиоприемники. Учебное пособие для вузов. – М: Горячая линия – Телеком, 2017. – 110 с.: ил.
- 128 Погребной А.В. Математические и программные средства построения архитектуры и топологии сети вычислительной системы для управления территориально распределенными объектами. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность: 05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей. – Томск, 2008 г. - 22 с
- 129 Помехи и борьба с ними : учеб. пособие / О. Р. Никитин, П. А. Полушин ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2018. – 87 с
- 130 Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами. / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др. – М.: Радио и связь, 1985. – 264с.
- 131 Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью. // В.И. Борисов, В.М., Зинчук А.Б., Лимарев, Н.П. Мухин; под ред. В.И. борисова. – М.: Радио и связь, 2003. – 640с.
- 132 Попов А.С., Иваненко Р.В., Корсунский А.С. Влияние преднамеренных и непреднамеренных помех на обнаружение импульсных сверхширокополосных сигналов.-М.: Телекоммуникационные системы и компьютерные сети, 2012. – 76 - 82 с.
- 133 Программно-алгоритмический комплекс подавления импульсных помех при формировании цифровых диаграмм направленности / Рудаков И.В., Керский Е.В., Бибеев Д.Е./ Радиооптика. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2017. № 02. С. 1–17.
- 134 Радиопомехи. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 110 с.: ил.

- 135 Радиопомехи и помехоустойчивый прием. Методы повышения помехозащищенности: учебное пособие /А.В. Киселев, В.В. Артюшенко. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2022. – 71 с.
- 136 Радиопомехи от электроустройств и их подавление/ Лютов С.А. – М.: Госэнергоиздат, 1952г. 84 с.
- 137 Радиосети сбора данных и управления для АСУ в энергетике/ С. Маргарян/ ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес, 7/2010, с. 38-46.
- 138 Результаты натурных испытаний средневолновой мобильной радиостанции на радиотрассах средней дальности / И. В. Дулькейт, С. А. Завьялов, А. В. Косых, А. Н. Ляшук, Е. А. Чащин / Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы омский научный приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы. Омский научный вестник № 3 (147) 2016, с. 82 – 86.
- 139 Римша А.С. Метод и алгоритмы управления рисками информационной безопасности АСУ ТП критических инфраструктур. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность: 2.3.6 – Методы и системы защиты информации, информационная безопасность. – Санкт-Петербург, 2021 г. – 234 с.
- 140 Руководство по радиосвязи министерства российской федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: [утверждено приказом МЧС России от 26.12.18 N 633]
- 141 Ряполов А.В. Совершенствование методов оценки помехоустойчивости радиоэлектронных средств к воздействию импульсных электромагнитных полей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения». – Омск, 2014 г. – 173 с.
- 142 Севериненко А.М. Исследование и разработка методик и алгоритмов

- создания автоматической опорно-транспортной сети связи на основе динамического управления топологией в составе сети подвижной радиосвязи специального назначения. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность: 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций. – Самара, 2017 г. – 180 с.
- 143 Синтез оптимальных сетей телекоммуникаций с учетом обеспечения требований заданного качества обслуживания / Н.И. Листопад / доклады БГУИР. Том №2, 2014 г. с.159 - 167
- 144 Системы и сети передачи информации: Учебное пособие для вузов/ М.В. Гаранин, В.И. Журавлев, С.В. Кунегин. – М.: Радио и связь, 2001. – 336 с.
- 145 Советов Б.Я., Кутузов О.И., Головин Ю.А., Аветов Ю.В. Применение микропроцессорных средств в системах передачи информации: Учеб. пособие для вузов по спец. АСУ . – М.: Высш. шк, 1987. – 256 с.: ил.
- 146 Советов Б.А., Яковлев С.А. Построение сетей интегрального обслуживания. – Ленинград: Машиностроение, 1990. - 332с.
- 147 Соколов Н.А. Эволюция местных телефонных сетей. Издательство ОО «Типография «Книга». Г. Пермь, 1994 г., 375 с. с ил.
- 148 СТО 56947007-33.060.20.215-2016 Технологическая связь. Типовые технические требования. Аппаратура транкинговых систем подвижной радиосвязи. – М.: ПАО «ФСК ЕЭС», 2016. – 131 с.
- 149 Строганова Е.П., Немыкин А.А. Модель атмосферных и промышленных помех, адаптированная к условиям эксплуатации приемной радиоэлектронной аппаратуры // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2016. Т.8. №2. С. 48-52.
- 150 Сухопутная подвижная радиосвязь. Системы и аппаратура. / Под ред. В.С. Сименихина, И.М. Пышкина М.: Радио и связь, 1990. – 328 с.
- 151 Теория телетрафика: Учебник для Вузов /Ю.Н. Корнышев, А.П. Пшеничников, А.Д. Харкевич. – М.: Радио и связь, 1996. – 272 с.
- 152 Технические средства автоматизированных систем управления технологическими процессами нефтегазовой промышленности/ Е.Б

- Андреев., В.Е. Попадько – М.: Нефть и газ, 2009г. 270с.
- 153 Толковый словарь терминов по системам, средствам и услугам связи/
Докучаев В.А., Иванова О.Н., Красавина З.А., Мартынов Л.М., Сорокин
А.С. Под ред. В.А. Докучаева. – М.: Радио и связь, 2000. – 256 с.
- 154 Цимбал, В.А. Информационный обмен в сетях передачи данных.
Марковский подход: монография / В.А. Цимбал. – М.: Вузовская книга,
2014. – 144 с.: ил.
- 155 Шнепс М.А. Системы распределения информации. Методы расчета. –
М.:Связь, 1979. – 344с
- 156 Шабалина Н.А. Электромагнитные помехи в промышленности: принцип
возникновения и влияние на Электронное оборудование. // Инновации в
науке: сб. ст. по матер. XIII междунар. науч.-практ. конф. –
Новосибирск: СибАК, 2012. – 47-49 с.
- 157 Шиганова М.В., Поначугин А.В. Методы обхода искажений в
беспроводных каналах связи. – Приволжский научный вестник, №5 (57)
2016. - 75-78 с.
- 158 Eberhagen, S. Marketing Strategy Optimizes Introduction of Services//
Telcom Report International. / S. Eberhagen, B. Fanger, Cr. Wahl. – 2002. –
v.15. - №1.
- 159 eEllis, R. Large deviations for Markov Processes with discontinuous
statistics. II: Random walks // Probab. Theory Rel. Fields, / R. Ellis, P.
Dupuis, – 1999. – V.91. – №2.
- 160 Fayolle, G. Topics in the Constructive Theory of Countable Markov Chains.
Cambri dge Univ. Press. / G. Fayolle, V.A. Malyshev, N.V. Menshikov
- 161 Magedanz, T. Intelligent Networks. – International Thomson Computer Press.
/ T. Magedanz, R. Popescu-Zeletin. – 2004.
- 162 MPT 1327 A Signalling Standard for Trunked Private Land Mobile Radio
Systems. –1997. – 290 с.
- 163 <https://korda-group.ru/po-megapolis/>
- 164 <https://vdpokuban.ru/2018/02/13/strelec-monitoring/>