

*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 телекоммуникаций

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Серпухов – 2024

Работа выполнена в Филиале федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого» Министерства обороны Российской Федерации в городе Серпухове

Научный руководитель: **Смирнов Дмитрий Вячеславович**, доктор технических наук, профессор, АНО «Институт инженерной физики».

Официальные оппоненты: **Мазин Анатолий Викторович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Защита информации» Калужского филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» г. Калуга.  
**Киселёв Владимир Николаевич**, кандидат технических наук, профессор, ведущий специалист АО «НПО «Ангстрем», г. Зеленоград.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия гражданской защиты МЧС России», г. Химки.

Защита диссертации состоится «10» декабря 2024 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета ДС 24.2.281.01 при ФГБОУ ВО «Владимирском государственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д.87, ВлГУ, корп.3, ауд.301.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ университета и на сайте ВлГУ <http://dis.vlsu.ru>.

Автореферат разослан «8» октября 2024г.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, просим направлять по адресу: ул. Горького, д. 87, ВлГУ, РТ и РС, г. Владимир, 600000, Самойлову А.Г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор



А.Г. Самойлов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность** В МЧС России создана и функционирует единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, в рамках которой для обеспечения связи в зонах чрезвычайных ситуаций (ЧС) с подвижными объектами (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 и других неотложных работ в зонах с ЧС, при этом формируются мобильные группы и подразделения (например, аварийно-спасательные формирования), оснащенные необходимым оборудованием, транспортом, средствами управления и связи.

В настоящее время ведутся работы по созданию цифрового приемопередающего комплекса (ППК) метрового диапазона, обеспечивающего передачу информации с временным разделением (ВРК) в радиоканале со скоростями от 16 до 19,2 Кбит/с и выше. Такой ППК должен быть сформирован в единую информационную сеть в интересах таких основных абонентов: сеть АСУ, сеть речевого обмена, сеть межкомпьютерного обмена (МКО). Указанные абоненты используют выделяемые каналы в режиме их предоставления по требованию (ПКТ).

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 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). Как правило, одно ВО 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 ВО в кадре передачи для формирования одного рабочего канала связи; б) снижением кратности модуляции сигналов в групповом потоке и др.

Одной из важных задач построения цифровой УКВ радиосети с ПКТ с соединением 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) по вероятности предоставления им каналов. Такой коммуникационный ресурс рассматривается как известная в теории телетрафика полнодоступная коммутационная схема (ПКС), каналы которой абонентами в режиме ПКТ занимаются и освобождаются, а также поражаются помехами и восстанавливаются за счет использования дополнительных каналов (ВО) кадра.

В связи с вышеизложенным, возникает следующее противоречие: с одной стороны, необходимость обеспечения качества информационного обмена абонентов сети в условиях помех требует увеличения пропускной способности направлений радиосвязи, с другой стороны, коммуникационный ресурс реального ППК ограничен его потенциальными техническими возможностями и возможностями отстройки от помех. 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. Это обуславливает актуальность темы диссертационной работы.

**Цель** диссертационных исследований - минимизация коммуникационного ресурса ППК цифровой УКВ-радиосети, обеспечивающего с заданным качеством информационный обмен основных абонентов сети в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех.

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

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

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе 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.

### **Основные 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 результатов**

1. 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.

2. Методика расчета минимально достаточного числа каналов приемо-передающего комплекса 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 результатов**, полученных в диссертационной работе, 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 расчета 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.

#### **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.).

**Апробация работы и публикации.** Апробация результатов. Основные положения и 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.

Работа выполнена лично автором и является результатом

исследований, в которых автор принимал непосредственное участие в течение последних 12 лет. За это время непосредственно по теме диссертации опубликовано 34 работы, в том числе: 23 научные статьи (две из Перечня ВАК), 4 отчёта о НИР и 1 отчет об ОКР. Получены 1 патент на изобретения, 4 патентов на полезные модели и 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения и приложения, изложена на 144 страницах машинописного текста. В список литературы внесено 164 научных источника.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и задача исследования, изложены научные результаты, представляемые к защите, приведены аннотация и структура работы.

**В первом разделе** проведён анализ структуры информационной сети МЧС России, особенностей её функционирования в составе ПО в зоне ЧС, осуществлен выбор показателя качества перспективной цифровой УКВ радиосети и критерия его оценивания, сформулирована математическая постановка задачи исследования.

Из проведенного анализа следует, что одним из возможных путей разрешения поставленного в диссертационной работе противоречия является обоснование минимально достаточного числа ВО в кадре цифрового ППК метрового диапазона, обеспечивающего заданное качество информационного обмена абонентов, работающих в режиме ПКТ в условиях поражения и восстановления каналов при разных требованиях абонентов к вероятности битовой ошибки. При этом показано, что известный научно-методический аппарат расчета вероятности отказа в облуживании запросов ПКС не учитывает факта частичного поражения каналов направления связи в цифровой УКВ радиосети помехами различной природы и их последующего восстановления за счет адаптации временной структуры кадра цифровых ППК к помеховой обстановке.

Пропускная способность ППК, выражаемая числом каналов, представляется в виде периодического временного кадра, содержащего конечное число ВО. Количество информации, размещаемое в ВО, представляет собой коммутируемую единицу информации (КЕИ). Одна конкретная КЕИ во всех кадрах функционирования ППК представляет собой единичный канал связи с минимальной скоростью передачи информации  $V_{mi}$ . Абоненту сети по его запросу предоставляется один, два и более ВО, что соответствует предоставлению ему канала со скоростью  $V_{mi}$ ,  $2V_{mi}$  и более. Таким образом, запросы абонентов являются неординарными. У каждого ППК такой временной кадр имеется как «по передаче», так и «по приему». Все ППК, размещаемые в узлах сети,

являются однотипными, следовательно, общая структура кадра у всех ППК одинакова (см. рис. 1.)

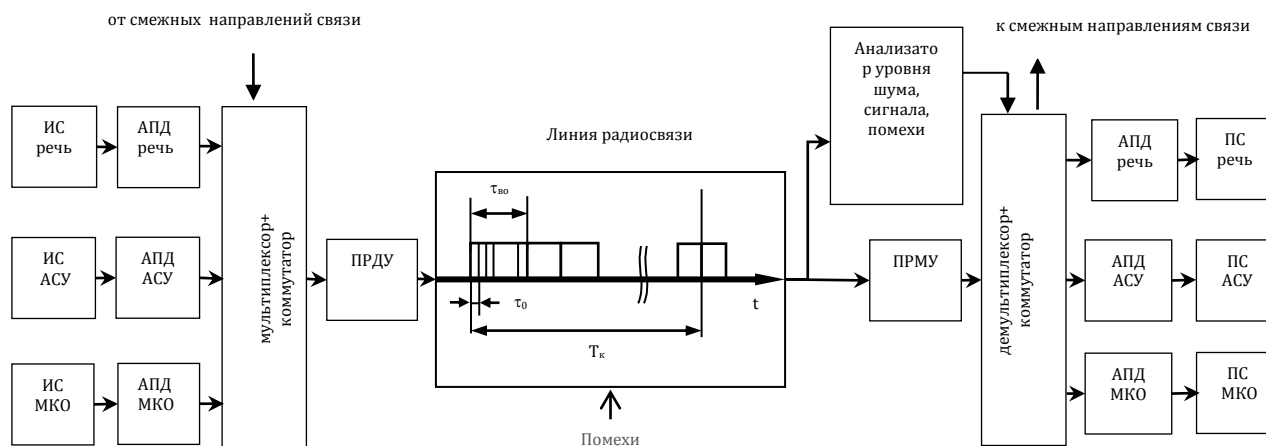


Рисунок 1 – Структура многоканального направления радиосвязи с ВРК, обслуживающая нагрузку абонентов трех типов в режиме ПКТ

На рис. 2 представлена диаграмма требований к величине  $s/(шум+помеха)$  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.

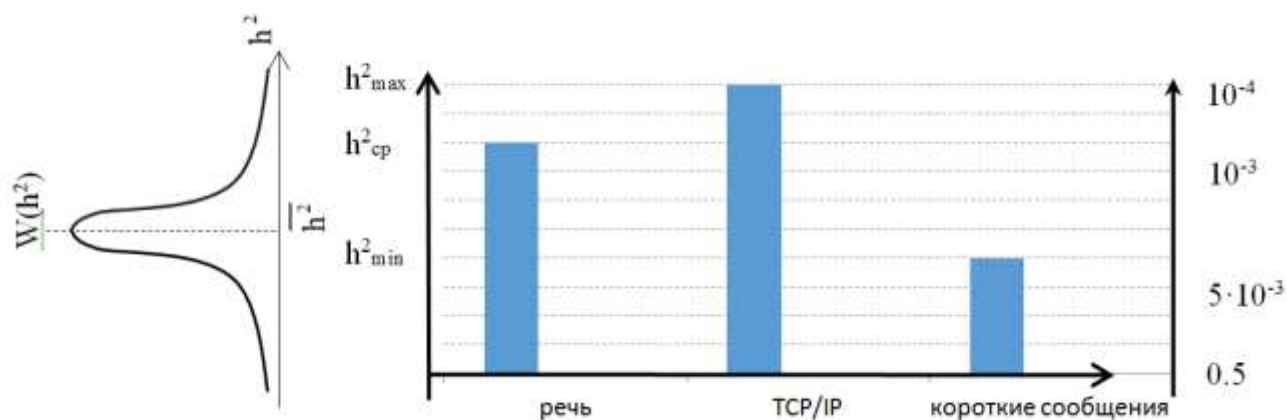


Рисунок 2 – Диаграмма требований к величине  $s/шум$  в направлении связи, обеспечивающих заданную вероятность битовой ошибки разным типам абонентов

Задача построения любой системы и сети связи является задачей обоснования требуемой пропускной способности её ППК, что в данном случае требует обоснования числа ВО кадра ППК радиосети с учетом воздействия помех при неполном поражении каналов.

В рассматриваемом случае вероятность отказа в обслуживании возникшей заявки абонентов по причине отсутствия свободных каналов в направлении связи рассматриваемой радиосети будет следующий вид



$$P_{отк}^r = f ( V^r, N^r, \alpha^r, \mu^r, a^r, b^r, l^r ), \quad (1)$$

где

$V_r$  – число каналов направления связи, обслуживающих всех абонентов;

$N_r$  – число абонентов по типам трафика;

$\alpha_r$  – интенсивность потока от одного абонента каждого типа;

$\mu_r$  – 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;

$r = \overline{1, R}$ ,  $R$  - количество типов абонентов.

Математическая постановка задачи исследования формализуется в виде следующего аналитического выражения:

$$V_r^* = \min \left[ \arg \left[ P_{отк}^r = f ( V^r, N^r, \alpha^r, \mu^r, a^r, b^r, l^r ) \leq P_{отк.дон}^r \right] \right] \quad (2)$$

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

при ограничениях:

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

$V_{\max}$  - максимально возможное (потенциальное) число каналов направления связи. Данная величина определяется техническими параметрами ППК. Цель работы-нахождение величины (2).

**Во втором разделе**, исходя из вербальной постановки задачи исследования, разработана архитектура цифровой УКВ радиосети абонентов ПО МЧС в зоне ЧС на основе цифрового ППК и обоснован состав её основных элементов, построена математическая модель функционирования направления связи базового сегмента цифровой УКВ радиосети с рокадными связями в условиях частичного поражения и восстановления каналов. Результат модели-расчет вероятности отказа (1).

ППК такого направления рассматривается как ПКС с  $V_r$  каналами связи. На вход ПКС от абонентов различных категорий (АСУ, речь и МКО) поступает суммарный примитивный поток заявок с интенсивностью  $\alpha_r$ , при этом обслуживание каждой заявки представляет собой случайный процесс с экспоненциальным законом распределения с интенсивностью  $\mu_r$ . На каналы связи ПКС воздействуют помехи, поражая их с интенсивностью  $a_r$ . Повышение отношения сигнал/шум осуществляется за счет кратного увеличения ВО без увеличения скорости. Восстановление пораженного канала осуществляется с интенсивностью  $b_r$ .

Процесс обслуживания заявок ППК с учетом ограниченной помехоустойчивости каналов связи и их восстановления за счет отстройки от помех представляет собой двумерный марковский процесс, отображенный двумерным графом (рисунок 3), в котором переходы «вправо–влево» соответствуют «занятию–освобождению» каналов связи, а переходы «вверх–вниз» обозначают «поражение–восстановление» каналов связи. Отсутствие ограничения на число поражаемых каналов есть частный случай (граф является «полным»), а наличие ограничения пораженных каналов – есть общий случай (граф является «усеченным»).

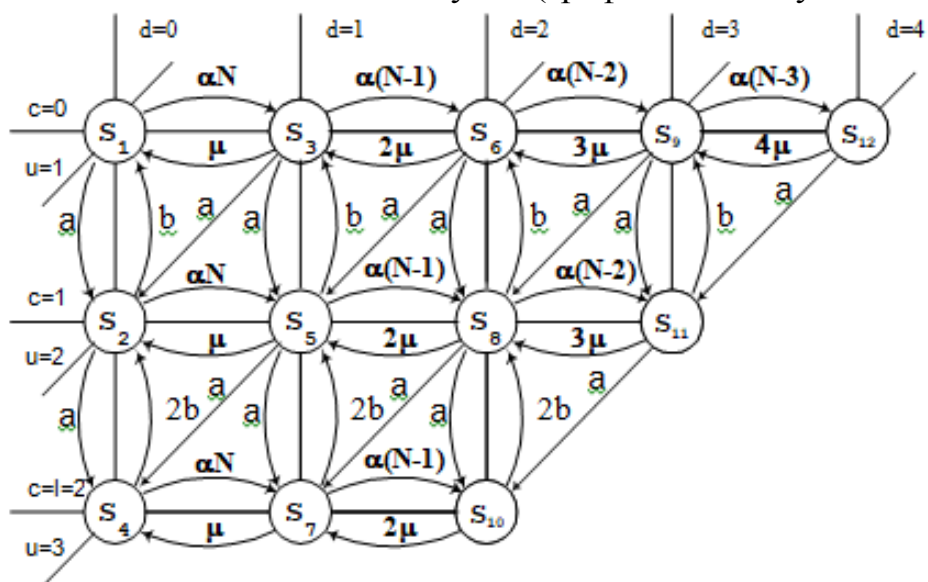


Рисунок 3 – Граф состояний и переходов ПКС как марковский процесс при ограниченном числе поражаемых каналов (общий случай)

Число состояний марковской цепи при числе каналов связи, равном  $V$ , и ограничении на число поражаемых каналов, равном  $l$  (за счет возможности отстройки), находится по формуле:

$$K = V + 1 + Vl + \frac{l(l-1)}{2} \quad (3)$$

Математической моделью такого процесса (для установившегося режима функционирования) является система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), матричное представление которой имеет вид

$$\mathbf{H} * \mathbf{P} = \mathbf{0}, \quad (4)$$

где  $\mathbf{H}$  – основная матрица системы

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & \bullet & h_{1K} \\ h_{21} & h_{22} & \bullet & h_{2K} \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ h_{K1} & h_{K2} & \bullet & h_{KK} \end{pmatrix}, \quad (5) \quad \mathbf{P} = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ P_K \end{pmatrix} = (P_1, P_2, P_3, \dots, P_K)^T \quad (6)$$

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

$\mathbf{P}$  - матрица-столбец неизвестных вероятностей

Для автоматизированного синтеза такой СЛАУ были сформированы следующие правила:

**Правило 1.** Элементы главной диагонали

$$h_{ii} = \begin{cases} -(a + cb + \alpha(N - d)), & \text{если } d = 0, c \neq l; \\ -(d\mu + cb), & \text{если } c = l, c + d = V; \\ -(a + d\mu + cb), & \text{если } c + d = V; \\ -(\alpha(N - 1) + d\mu + cb), & \text{если } c = l, c + d \neq V; \\ -(2a + \alpha(N - 1) + d\mu + cb), & \text{если } d \neq 0, c + d \neq V. \end{cases} \quad (7)$$

**Правило 2.** Элементы под главной диагональю

$$\begin{cases} h_{i,i-l-1} = \alpha(N - d), & \text{если } u > 1 \text{ и } d \neq 0; \\ h_{i,i-u} = \alpha(N - d), & \text{если } u \leq 1 \text{ и } d \neq 0. \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} h_{i,i-u+1} = a, & \text{если } c \neq 0 \text{ и } u \leq l + 1; \\ h_{i,i-l} = a, & \text{если } c \neq 0 \text{ и } u > l + 1. \end{cases} \quad (9)$$

**Правило 3.** Элементы над главной диагональю

$$\begin{cases} h_{i,i+u+1} = (d + 1)\mu, & \text{если } u \leq l; \\ h_{i,i+l+1} = (d + 1)\mu, & \text{если } l < u \leq V + 1 \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} h_{i,i+1} = a, & \text{если } c \neq 0; \\ h_{i,i+u} = (c + 1)b, & \text{если } u \leq l; \\ h_{i,i+l} = (c + 1)b, & \text{если } l < u \leq V + 1. \end{cases} \quad (11)$$

Решив полученную СЛАУ, например, методом Гаусса можно найти вероятность отказа ПКС в обслуживании заявки путем суммирования вероятностей состояний, находящихся на главной диагонали графа переходов:

$$P_{отк.} = \sum_{i=K-l}^K P_i \quad (12)$$

Таким образом, получены формулы, позволяющие автоматизировать вычисление коэффициентов СЛАУ, являющейся аналитической моделью ПКС с отказами, поражаемыми и восстанавливающимися каналами, при ограничении на число пораженных каналов и примитивном потоке заявок.

**В третьем разделе** на основе сформированной математической модели разработана методика расчета минимально достаточной пропускной способности направлений связи цифровой УКВ радиосети основных абонентов ПО МЧС в зоне ЧС с заданным качеством их функционирования в условиях частичного поражения и восстановления каналов, обоснованы исходные данные по информационной и помеховой нагрузке, а также приведены технические решения по использованию свободной пропускной способности направлений связи цифровой УКВ

радиосети для повышения качества информационного обмена ее основных абонентов.

Известно, что каналы ПКС абонентами могут использоваться в двух стратегиях: а)раздельной, когда каждый абонент использует только свой пучок каналов; б)совместной, когда всем абонентам доступны каналы всех пучков. Последняя стратегия требует меньшего общего числа каналов ПКС и отвечает требованиям выражения (2). Исходя из этого, предложено находить ТКР ПКС так. Вначале для каждого типа абонентов по раздельной стратегии через автоматизированный синтез СЛАУ итерационным образом находится его минимальное число ВО с учетом помех. Затем, путем объединения пучков находится общая емкость каналов ПКС, которая является избыточной для общей стратегии.

Нахождение минимально достаточного ТКР, отталкиваясь от найденной общей емкости ПКС, осуществляется по имитационной модели, учитывающей неординарность потоков «занятие-освобождение» и «поражение-отстройка» каналов итерационным способом с уменьшением на один канал на каждом шаге итерации.

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.

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  $P_{отк}^{дон}$ . Если полученное значение вероятности отказа не удовлетворяет условию  $P_{отк} \leq P_{отк}^{дон}$ , 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 по вероятности отказа.

Таблица 1 - Параметры информационной нагрузки абонентов радиосети

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

Таблица 2 - Параметры помеховой нагрузки абонентов радиосети

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

Расчет ТКР проводился для пяти возможных вариантов применения ППК:

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

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

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

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

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

Исходные данные по базовому сегменту сети: 1) абоненты своего направления; 2) абоненты своего направления + абоненты одного смежного направления; 3) абоненты своего направления + абоненты двух смежных направлений.

Данные для расчетов изложены в табл. 1 и табл. 2. Расчет проводится по изложенной методике. Результаты расчета для всех вариантов представлены в таблице 3. При этом учтено, что канал АСУ представляет собой в кадре ППК одно 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 полном поражении каналов ПКС неординарными помехами, представлены в виде диаграммы на рис 4. с детализацией для разных вариантов использования направлений связи. На рис. 5 представлено обобщенное максимальное количество единичных каналов, требуемых для обслуживания ПКС всех трех типов абонентской нагрузки.

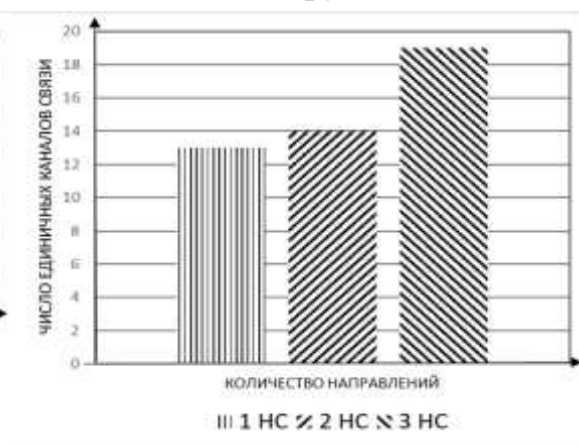
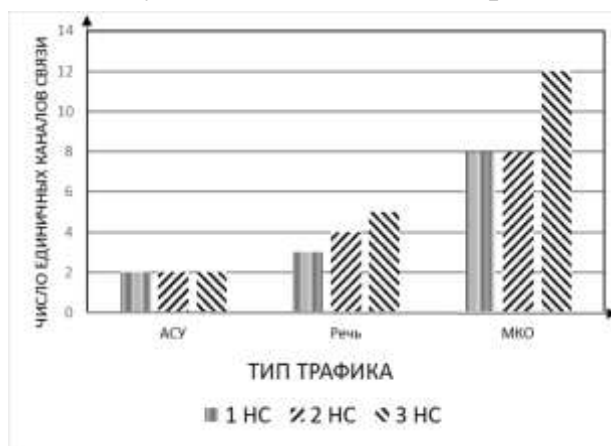


Рисунок 4 – Число единичных каналов, требуемых для обеспечения заданного качества обслуживания с детализацией по типу неординарного трафика и числу направлений связи при полном поражении каналов ПКС неординарными помехами

Рисунок 5 – 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

Таблица 3 - ТКР для абонентов направления связи для пяти возможных вариантов применения ППК

№ варианта	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Количество последовательных направлений связи	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
Требуемое число каналов связи АСУ	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	3	4	1	2
Требуемое число каналов связи речь	2	2	3	2	3	3	3	4	3	4	4	5	7	3	5
Требуемое число каналов связи МКО	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
Требуемое число единичных каналов связи	11	12	13	11	13	12	13	14	12	14	18	20	23	16	19

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.  $\bar{\theta}_{\Pi} = \bar{\theta}_{ИО}$  (13)

Тогда, учитывая, что помеха пересекается с сигналом

$$\bar{\tau}_{\Pi} = \frac{\bar{\theta}_{ИО}^2}{\bar{\theta}_{\Pi} + \bar{\theta}_{ИО}} \quad (14) \text{ имеем, что } \bar{\tau}_{\Pi} = \frac{\bar{\theta}_{ИО}}{2} \quad (15)$$

Интенсивность помехи равна

$$\lambda'_{\Pi} = \lambda_{\Pi} P_{ИО}(\bar{\tau}_{\Pi}), \quad (16) \text{ где } P_{ИО}(\bar{\tau}_{\Pi}) = 1 - e^{-\lambda_{\Pi} \bar{\tau}_{\Pi}}, \quad (17) \text{ тогда } \bar{T}_{\Pi} = \frac{1}{\lambda'_{\Pi}} \quad (18)$$

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

Сравним ТКР, необходимый для обслуживания абонентов без помех, нужный для вариантов а) и б). Согласно данным таблицы 3 имеем, что для варианта а) нужно 18 единичных каналов, а для варианта б) нужно 16 единичных каналов. Тогда выигрыш будет равен:

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

Сравним также ТКР, необходимый для обслуживания абонентов с помехами, нужный для вариантов а) и б). Согласно данным таблицы 3 имеем, что для варианта а) нужно 23 единичных каналов, а для варианта б) нужно 19 единичных каналов. Тогда выигрыш будет равен:

$$\eta = \frac{(23-19)}{19} = 0,21. \quad (21\%)$$

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

В структуре временного кадра имеется необходимое количество ВО, обеспечивающих как доставку информационного потока от абонентов, так и ВО, нужных абонентам, каналы которых подавлены (помеховая нагрузка). В системах связи, работающих в режиме ПКТ имеется свободное количество каналов, которые можно использовать для повышения качества информационного обмена абонентов сети за счет различных технических решений.

**Решение 1 - Многократное повторение КЕИ с мажоритарной обработкой.**

Свободный ресурс пропускной способности (свободные ВО) направления связи, предлагается использовать для повышения помехоустойчивости информационного обмена методом повторных передач информации в разных ВО и мажоритарного декодирования. В каждом ВО длительностью  $\tau_{\text{во}}$  передается пакет длиной  $L_n$ , вероятность возникновения ошибки в таком пакете есть величина  $p_o$ . На приемной стороне обработка информации ведется с помощью схемы мажоритирования, позволяющей сравнивать символы, пришедшие в разных ВО, тем самым уменьшая общую вероятность ошибочного приема символа, характеризующееся величиной  $P_{\text{ош.маж}}$ .

Общая величина ошибки процесса мажоритирования определяется как сумма вероятностей ошибочных комбинаций и равна:

- для стационарных каналов, когда  $P_o = \text{const}$  (при  $n$  каналах обработки)

$$P_{\text{ош.маж}} = \sum_{i=0}^{n-1} C_n^i q^i P_o^{n-i} \quad (19)$$

- для нестационарных каналов, когда  $P_o = \text{var}$  (при  $n=3$  каналах обработки)

$$P_{\text{ош.маж}2/3} = P_o^1 P_o^2 P_o^3 + P_o^1 P_o^2 q_3 + P_o^1 q_2 P_o^3 + q_1 P_o^2 P_o^3, \quad (20)$$

где  $q = 1 - P_o$ ,  $n$ -число ВО.

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

Предлагаемое решение основано на введении энергетической избыточности в канал радиосвязи за счет передачи данных одного ВО (КЕИ) синхронным излучением сигналов передатчиками радиального и рокадного направлений для повышения помехоустойчивости информационного обмена. Синхронизм работы обеспечивается управляющими сигналами аппаратуры управления радиосвязью (АУР). АУР в соответствии с поступающим синхросигналом временной структуры кадра выдает команду обоим ППК на одновременную работу. 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.

***Решение 3 - Изменение скорости передачи информации в n раз, за счет объединения нескольких ВО.***

Свойство «помехоустойчивость» любой системы радиосвязи напрямую зависит от отношения сигнал/шум на входе демодулятора радиоприемника. В общем виде этот показатель определяется следующей зависимостью :

$$h_0^2 = \frac{E}{N_0} = \frac{P_c \tau_0 \Delta f}{N_0 \Delta f} = \frac{P_c}{P_{ш}} , \quad (21)$$

Увеличения отношения сигнал/шум на входе демодулятора можно добиться не только увеличением мощности радиосигнала, но и изменением длительности элементарного символа передаваемого пакета -  $\tau_0$  за счет выделения нескольких объединенных свободных ВО для передаваемого пакета. В данном случае

$$\tau_0' = 2\tau_0 \Rightarrow E' = 2E \Rightarrow h_0'^2 = 2h_0^2 \quad (22)$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной диссертационной работы являлась минимизация коммуникационного ресурса ППК цифровой УКВ-радиосети, обеспечивающего с заданным качеством информационный обмен основных абонентов сети в зоне ЧС 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 ЧС в режиме ПКТ с заданным качеством функционирования в условиях поражения и восстановления каналов. При этом получены научные результаты, обладающие научной новизной, теоретической и практической значимостью и выдвигаемые на защиту.

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, проведённых 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 звенья управления АСУ, речевые абоненты и абоненты межкомпьютерного обмена, ведущие информационный обмен в режиме предоставления каналов по требованию.

2. Направления связи 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, что обусловлено их разной АПД. 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 энергетике 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 известной формуле Энгсета, а для режима с помеховыми воздействиями при полном

числе поражаемых каналов реализуется комбинацией аналитического и статистического (имитационного) 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 ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Научные статьи, опубликованные в журналах из перечня ВАК**

1. **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.
2. **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

### **Публикации, входящие в РИНЦ**

3. **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.

4. **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 междуна. 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.

5. **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 междуна. 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.

6. **Гвозд К.И.** Сравнительный анализ оценки пропускных способностей и производительности транспортной сети при использовании в качестве модели СМО  $M/M/1/\infty$  и  $M/M/n/m$ [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.

7. **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 междуна. 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.

8. **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.

9. **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 междуна. 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.

10. **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 междунар. 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.
11. **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.
12. **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.
13. **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.
14. **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.
15. **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.

16. **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.
17. **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
18. **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.
19. **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.
20. **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
21. **Гвозд К.И.** Задача нахождения ёмкости полнодоступной коммутационной схемы в условиях неординарной нагрузки и неординарного подавления – восстановления каналов // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2024. №СВ1 (45). С. 205-209
22. **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.

23. **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.

#### **Отчеты о НИР и ОКР**

24. 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.

25. 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.

26. 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.

27. 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.

28. 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.

#### **Патенты и свидетельства**

29. **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

30. **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

31. **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.

32. **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.

33. **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.

34. **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.

#### **Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 8.10.2024 г.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз.

Издательство филиала Военной академии РВСН  
имени Петра Великого в г. Серпухове

142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадня, д.17