

Ордена Трудового Красного Знамени
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

На правах рукописи

Мохаммед Омар Ахмед Абдулвасеа

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ
СИСТЕМЫ ЭКСТРЕННЫХ СЛУЖБ**

Специальность 05.12.13 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Степанова Ирина Владимировна

Москва – 2021 г.

Оглавление

Введение	6
Раздел 1. Анализ особенностей построения и определения подходов к повышению пропускной способности систем обслуживания экстренных вызовов.....	14
1.1. Анализ принципов организации и развития систем обслуживания экстренных вызовов в Российской Федерации.....	14
1.2. Анализ особенностей изменения трафика экстренных вызовов в чрезвычайных ситуациях	16
1.3. Систематизация методов управления потоками экстренных вызовов применительно к режиму чрезвычайной ситуации.....	18
1.4. Анализ возможностей использования профессиональной радиотелефонной связи в режиме ЧС.....	23
1.5. Выбор методов теории массового обслуживания, перспективных для описания функционирования систем обслуживания экстренных вызовов.....	27
1.5.1. Возможности сравнительного анализа систем связи методами теории массового обслуживания	27
1.5.2. Перспективность использования метода RDA, позволяющего учесть влияние перегрузок.....	30
1.5.3. Использование математической модели с групповым поступлением заявок на обслуживание для исследования функционирования систем профессиональной радиотелефонной связи.....	31
1.5.4. Возможности статистического моделирования системы взаимопомощи экстренных служб	32
1.6. Постановка задачи исследования	33
1.7. Выводы	34
Раздел 2. Разработка математических моделей функционирования системы обслуживания экстренных вызовов.....	35
2.1. Использование метода RDA для описания обслуживания избыточного трафика.....	35

2.2.Разработка математической модели функционирования системы экстренных служб	38
2.2.1.Представление системы экстренных служб в виде совокупности систем массового обслуживания	38
2.2.2. Математическая модель функционирования центра обслуживания экстренных вызовов, учитывающая наличие оперативного резерва	43
2.3.Вариант оценки дополнительного ресурса каналов БПЛА в системе TETRA	49
2.4. Разработка математической модели функционирования цифровых систем профессиональной радиотелефонной связи	51
2.5.Выводы	60
Раздел 3. Исследование подходов к эффективному использованию ресурсов системы обслуживания экстренных вызовов	61
3.1. Исследование возможностей оперативного управления трафиком в системе экстренных служб	61
3.2. Оценка потенциальной устойчивости системы экстренных служб к перегрузкам с учетом возможности исключения ЦОВ из цепочки маршрутизации.....	68
3.3. Сравнительный анализ и исследование перспективных вариантов организации обслуживания вызовов в системе экстренных служб	71
3.3.1. Исследование варианта объединения ресурсов нескольких центров обслуживания экстренных вызовов.....	71
3.3.2. Анализ особенностей использования дополнительного ресурса центра оперативного реагирования для обслуживания экстренных вызовов в ЧС	76
3.4. Исследование влияния оперативного резерва в ЕДДС на пропускную способность системы экстренных вызовов	82
3.5. Исследование варианта организации взаимопомощи путем объединения возможностей центров обслуживания экстренных вызовов в единый ресурс	86
3.6.Анализ результатов аналитических расчетов и оценки качества обслуживания вызовов в подсистеме профессиональной радиотелефонной связи	88
3.6.1. оценки качества обслуживания вызовов в радиointерфейсе системы TETRA ..	88

3.6.2. Оценка возможности использования БПЛА в качестве средства повышения пропускной способности системы TETRA	93
3.6.3. оценки показателей качества обслуживания вызовов в базовой станции стандарта TETRA с учетом влияния мультимедийного трафика	96
3.7. Выводы	99
Раздел 4. Разработка метода повышения пропускной способности системы экстренных служб	101
4.1. Разработка рекомендаций по организации функционирования системы экстренных вызовов с учетом выделения оперативного резерва	101
4.2. Разработка методики объединения ресурсов центров обслуживания вызовов в систему экстренных служб.....	103
4.3. Разработка метода объединения и эффективного использования ресурсов системы экстренных служб	106
4.4. Результаты моделирования системы обслуживания экстренных вызовов	108
4.4.1. Описание принципов моделирования и оценки достоверности полученных результатов	108
4.4.2. Описание этапов моделирования процесса обслуживания вызовов в системе экстренных служб с учетом выделения оперативного резерва.....	109
4.4.3. Анализ результатов моделирования системы обслуживания экстренных вызовов	112
4.5. Выводы	120
Заключение	120
Список сокращений	122
Список литературы	123
Приложение 1. Принципы реализации «Системы 112» в РФ.....	133
Приложение 2. Программа расчета по методу RDA.....	137
Приложение 3. Программа аналитического расчета, разработанная с учетом возможности передачи избыточного трафика между ЦОВ системы	141

Приложение 4. Программа аналитического расчета системы взаимопомощи с учетом влияния оперативного резерва	144
Приложение 5. Программа расчета потерь по вызовам в радиointерфейсе базовой станции стандарта TETRA при полудуплексной, дуплексной и мультимедийной связи с отказами	146
Приложение 6. Описание массивов данных моделирования и программы моделирования процессов обслуживания экстренных вызовов в системе взаимопомощи.....	152
Приложение 7. Акт об использовании результатов диссертационной работы в учебном процессе МТУСИ.....	163

Введение

Актуальность темы. Важным элементом «Системы 112» является центр обслуживания (обработки) экстренных вызовов (ЦОВ). Многофункциональный комплекс оборудования ЦОВ должен обеспечивать прием и обработку входящих обращений от населения силами операторов «Системы 112», распределение заявок на реагирование между экстренными службами. Интеграция ресурсов экстренных служб в рамках «Системы 112» для предварительной обработки вызовов операторами «Системы 112» позволяет передавать в автоматизированном режиме данные экстренного вызова операторам таких служб как пожарная, скорая помощь, полиция, газовая служба, «Антитеррор». Непосредственно в ЦОВ «Системы 112» могут формироваться группы операторов для выполнения специальных задач. Предполагается, что развертывание «Системы 112» будет способствовать повышению оперативности взаимодействия между экстренными службами, уменьшать время реагирования на чрезвычайные ситуации (ЧС).

Перспективно использование в «Системе 112» средств профессиональной радиотелефонной связи и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для координации аварийно-спасательных работ, как при возникновении ЧС, так и при ликвидации ее последствий (доступ к мобильной связи может быть ограничен из-за угрозы терактов).

Как показывает мировой опыт, возникновение ЧС приводит к резкому повышению трафика реального времени в зоне чрезвычайной ситуации. Интенсивность потока экстренных вызовов может быть превышена в несколько раз относительно спокойного периода. Известен подход по ограничению трафика в зоне ЧС с целью защиты от перегрузок на отдельных участках «Системы 112» и, в частности, в центрах обслуживания вызовов единых дежурно - диспетчерских служб (ЕДДС). Отрицательная сторона такого подхода заключается в возможности потери контроля над развитием ситуации.

В данной диссертационной работе исследован другой подход, а именно – предлагается объединять в систему экстренных служб ресурсы нескольких центров

обслуживания вызовов ЦОВ для обслуживания трафика экстренных вызовов. Такая система взаимопомощи должна обеспечивать возможность перенаправления избыточного трафика от центра обслуживания вызовов из зоны ЧС (далее обозначаем его как ЦОВ – ЧС) в ЦОВ экстренных служб, которые не затронуты чрезвычайной ситуацией. Предполагается, что отказ в обслуживании вызова (направление вызова на интерактивные голосовые меню Interactive voice menu, IVR) наступает, если в момент поступления экстренного вызова в системе будут отсутствовать свободные и доступные операторы. Уменьшение доли вызовов, направляемых на IVR, будет способствовать снижению уровня паники.

Таким образом, переход от традиционного варианта организации независимых экстренных служб к единой информационной территориально-распределенной «Системе 112» открывает новые направления исследований. Актуальность исследования подтверждается необходимостью своевременного реагирования экстренных служб на обращения граждан, тенденцией быстрого роста трафика экстренных вызовов при возникновении ЧС, потребностью эффективного использования технических ресурсов «Системы 112».

Степень разработанности темы.

Теория и основные принципы обслуживания трафика в сетях и системах связи исследованы в трудах С. Н. Степанова [78,79], А. П. Пшеничникова [63], А. Е. Кучерявого [30], К.Е.Самуйлова [53], Г. П. Башарина [3], Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко [16], Л.Клейнрока [25], Т.Л. Саати [73] и других авторов.

В работах А. П. Пшеничникова [63] и М. А. Шнепса – Шнеппе [89] описан метод теории телетрафика RDA, позволяющий проводить оценку пропускной способности альтернативных направлений связи для обслуживания избыточного трафика. Использование метода RDA для исследования системы экстренных служб связано с необходимостью учитывать особенности методов управления избыточным трафиком, рекомендованных МСЭ-Т для телекоммуникационных сетей, а именно таких методов как: пропуск маршрута Skip Route Control (SKIP); избыточное перенаправление вызовов Overflow Reroute (ORR); регулирование трафика в распределителе избыточной нагрузки Reroute Control.

В работах С. Н. Степанова [79], О.А.Новикова, С.И.Петухова [52] исследовано групповое поступление требований на обслуживание.

Перспективность использования этого подхода связана с особенностями работы цифровых систем профессиональной радиотелефонной связи, а именно с использованием спасателями режимов полудуплексной, дуплексной и мультимедийной связи.

В работах А. К. Левакова и Н.А.Соколова [34,35,36,37] показаны возможности ограничения роста трафика в режиме ЧС, в том числе – за счет ограничения доступа пользователей к системе экстренных служб. Возможности объединения ресурсов ЦОВ в систему экстренных служб не исследовались.

В работе С.Н.Степанова [79] использован подход по представлению радиоинтерфейса базовой станции мобильной связи в виде системы уравнений, учитывающей наличие ресурса каналов для реализации функции (handover), то есть «эстафетной передачи» пользователей от одной базовой станции к другой. Однако, проблематика формирования оперативного резерва в операторских подсистемах не изучена. Актуальность ее исследования связана с потребностью сохранения достаточно высокого уровня обслуживания экстренных вызовов в тех зонах, которые не затронуты ЧС, но ресурсы и оборудование которых задействованы в организации системы взаимопомощи.

Использование БПЛА в сочетании с возможностями мобильной и фиксированной связи исследовано в работах Р. В. Киричека [23,24], А. Е. Кучерявого [31], Altshuler, Y [91]. Проблематика использования БПЛА в качестве дополнительного ресурса системы цифровой профессиональной радиотелефонной связи не рассматривалась.

Таким образом, проблема повышения пропускной способности системы экстренных служб за счет направления избыточных вызовов в зоны, не затронутые ЧС, представляет интерес с позиции оценки разнонаправленного влияния различных факторов на качество обслуживания. Подходы к реализации «Системы 112» в Российской Федерации, к объединению ресурсов ЦОВ в систему экстренных служб представляют практический интерес для развивающихся стран и, в том числе, для Республики Йемен.

Цель работы и задачи исследования.

Цель: исследование и разработка метода повышения пропускной способности системы экстренных служб при возникновении чрезвычайной ситуации, учитывающего особенности организации взаимопомощи и возможность выделения оперативного резерва в центрах обслуживания вызовов.

Предмет исследования: математические модели, формализующие процессы функционирования системы экстренных служб в условиях возникновения ЧС, а также математические модели, формализующие использование систем цифровой транкинговой связи с привлечением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) как дополнительного ресурса связи в «Системе 112» при ликвидации последствий ЧС

Объект исследования: система экстренных служб, объединяющая операторские ресурсы центров обслуживания вызовов для обеспечения практически безотказного обслуживания вызовов из зоны ЧС.

Научная задача исследования состоит в исследовании влияния на пропускную способность системы экстренных служб совокупности таких факторов, как структура системы, методы распределения избыточного трафика, число ЦОВ в системе, емкость операторских подсистем, выделение оперативного резерва в ЦОВ системы, возможность исключения ЦОВ из цепочки маршрутизации, возможность привлечения ресурсов сторонних операторов.

Частные научные задачи исследования:

1. Анализ вариантов организации системы экстренных служб с привлечением перспективных методов распределения избыточного трафика, позволяющих повысить пропускную способность системы экстренных служб;
2. Разработка математической модели функционирования системы экстренных служб для аналитической оценки устойчивости к перегрузкам ЦОВ-ЧС;
3. Разработка математической модели функционирования цифровой системы профессиональной радиотелефонной связи в сочетании с БПЛА, позволяющей учесть особенности различных режимов ее использования при ликвидации последствий ЧС;
4. Проведение компьютерного моделирования функционирования системы экстренных служб в режиме on – line с использованием информационных массивов, в которых сгруппированы данные о поступлении заявок на обслуживание, продолжительности их обслуживания, наличии ресурса свободных операторов.

Методы исследования.

Основная часть диссертации выполнена с привлечением методов теории телетрафика, теории вероятностей и математической статистики.

При проведении аналитических расчетов и моделировании работы системы экстренных служб использован язык программирования C# среды Visual Studio 2017.

Корректность применения математического аппарата теории телетрафика, а также результаты компьютерного моделирования, подтверждают обоснованность научных положений и результатов исследований, рекомендаций и выводов, сделанных в диссертационной работе.

Научная новизна работы.

1. Разработка модели функционирования системы экстренных служб и проведенные на ее основе исследования с привлечением методов теории телетрафика и компьютерного программирования, впервые позволили учесть характер влияния совокупности факторов на пропускную способность системы в режиме чрезвычайной ситуации. Выполнено сравнение методов управления и распределения избыточного трафика, разработаны рекомендации по использованию в системе экстренных служб. Получена оценка влияния оперативного резерва в ЦОВ на качество обслуживания экстренных вызовов из зоны ЧС и в конкретных зонах ответственности. Получена оценка потенциальной устойчивости системы экстренных служб к перегрузкам с учетом возможности исключения ЦОВ из цепочки маршрутизации.

2. Получены оценки использования БПЛА, впервые рассматриваемого в качестве дополнительного ресурса для расширения возможностей системы профессиональной радиотелефонной связи в зоне ликвидации последствий ЧС.

3. Разработанный метод повышения пропускной способности экстренных служб впервые позволяет при выборе структуры системы и оценке необходимых технических ресурсов учитывать требования к потенциальной устойчивости ЦОВ в зоне ЧС к перегрузкам, а также особенности передачи избыточного трафика в зоны, не затронутые ЧС.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы заключается в аналитическом описании функционирования системы экстренных служб, представленной в соответствии с методом декомпозиции в виде совокупности систем массового обслуживания.

Предложенное аналитическое описание легло в основу компьютерного моделирования. Точность и достоверность моделирования оценивались по критерию Стьюдента.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

- разработаны рекомендации по использованию в системе экстренных служб комбинации методов управления трафиком;
- разработана методика объединения в систему экстренных служб ресурсов центров обслуживания экстренных вызовов, позволяющая оценить коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ-ЧС к перегрузкам с учетом емкости и числа центров обслуживания экстренных вызовов, входящих в систему взаимопомощи;
- разработаны рекомендации по использованию БПЛА совместно с оборудованием TETRA для организации эффективного взаимодействия спасательных служб при ликвидации последствий ЧС.

Результаты диссертации использованы в учебном процессе кафедры «Сети связи и системы коммутации» МТУСИ, что подтверждено соответствующим актом.

Публикация и апробация результатов диссертационной работы.

Результаты теоретических и экспериментальных научных исследований, выполненных в диссертационной работе, опубликованы в открытой печати – всего 15 публикаций. Из которых: 4 статьи в журнале T-Comm, входящем в список изданий ВАК; одна статья в журнале SUNHROINFO JOURNAL–INSTITUTE OF RADIO AND INFORMATION SYSTEMS (IRIS), Австрия. шесть публикаций - без соавторов.

Результаты диссертационной работы представлены в докладах на трех конференциях, в частности, на Международной научной конференции «2020 SYSTEMS OF SIGNALS GENERATING AND PROCESSING IN THE FIELD OF ON BOARD COMMUNICATIONS (IEEE Conference # 483710)» (Москва, 2020 г.) - материалы доклада опубликованы в сборнике, индексируемом Scopus. Результаты работы обсуждались на научных семинарах кафедры «сети связи и системы коммутации» МТУСИ.

Достоверность результатов, выводов и рекомендаций обеспечивается корректностью применения математических методов теории телеграфика и подтверждается результатами компьютерных расчетов и моделирования.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Сравнение вариантов построения системы экстренных служб и исследование методов управления ее ресурсами, проведенное в диссертации путем разработки моделей обслуживания вызовов и программирования, позволило оценить степень влияния на ее пропускную способность таких факторов как: выбор структуры системы; методы управления и распределения избыточного трафика; наличие оперативного резерва операторов.

2. Проведенные в диссертации аналитические расчеты и статистическое компьютерное моделирование аргументировали перспективность реализации псевдослучайного распределения избыточного трафика экстренных вызовов в системе экстренных служб с учетом объединения центров обслуживания вызовов разной емкости.

3. Сохранить заданный уровень обслуживания экстренных вызовов в j -ой зоне обслуживания, не затронутой ЧС, позволяет исключение части операторов $V_{jрез}$ из системы взаимопомощи, то есть образование оперативного резерва. Результаты компьютерных расчетов на основе разработанной модели обслуживания экстренных вызовов отражены в рекомендациях по выбору величины максимально допустимого оперативного резерва.

4. Разработанная математическая модель функционирования системы профессиональной радиотелефонной связи позволяет учесть использование БПЛА в качестве дополнительного ресурса, а также особенности предоставления канального ресурса при полудуплексной, дуплексной и мультимедийной связи.

5. Разработан метод повышения пропускной способности системы экстренных служб при перегрузке центра обслуживания экстренных вызовов в зоне чрезвычайной ситуации, позволяющий учесть: требования к коэффициенту h , характеризующему потенциальную устойчивость системы к перегрузкам; структурные особенности системы; число рабочих мест V_j в центрах обслуживания вызовов; фактор недоступности или выхода из строя ЦОВ. Так, объединение операторов четырех ЦОВ в единый ресурс повысит устойчивость к перегрузкам до $h = 4,42$ при числе рабочих мест в ЦОВ $V_j = 24$ оператора; до $h = 7,06$ при $V_j = 30$ операторов.

Личный вклад. Результаты исследований, представленные в основных положениях, выносимых на защиту диссертационной работы, получены автором лично. Из опубликованных в открытой печати работ в основную часть диссертацию включены результаты, полученные автором единолично.

Объем и структура работы. Диссертационная работа включает в себя введение, четыре главы, заключение, список литературы из 109 наименований и семь приложений. Основная часть диссертации содержит 120 страницы текста с 44 иллюстрациями и 26 таблицами.

Соответствие положений выбранной специальности.

Выносимые на защиту положения диссертационной работы соответствуют формуле специальности «05.12.13. Системы, сети и устройства телекоммуникаций», в части утверждения «Комплексное решение научных и технических проблем, задач и вопросов организации сетей, систем и устройств телекоммуникаций состоит в создании новых принципов и методов информационного обмена...».

Положения относятся к определённым в паспорте специальности 05.12.13 областям исследований, а именно:

«Исследование путей совершенствования управления информационными потоками»;

«Разработка методов эффективного использования сетей, систем и устройств телекоммуникаций в различных отраслях народного хозяйства».

Раздел 1. Анализ особенностей построения и определения подходов к повышению пропускной способности систем обслуживания экстренных вызовов

1.1. Анализ принципов организации и развития систем обслуживания экстренных вызовов в Российской Федерации

Общие тенденции конвергенции, интеграции и консолидации ресурсов мобильной и фиксированной связи должны учитываться при организации современных служб экстренной связи [32,75,81,84].

Конвергенция выражается в стремлении объединить ресурсы телекоммуникаций и информатизации для предоставления качественно новых услуг пользователям. Основные требования к организации единой экстренной специальной службы, получившей название «Система 112» или «Служба 112», впервые были определены решением Европейского Союза (ЕС) от 29 июля 1991 года. Правительством Российской Федерации (РФ) выпущены несколько приказов и распоряжений, касающихся введения «Системы 112» в РФ и отдельных регионах РФ [5, 10, 12,13,14,44, 59, 62,80]. Принципы организации «Системы 112» рассмотрены в Приложении 1.

В связи с эпидемией коронавируса 2020 года наметилась тенденция организации на базе «Системы 112» волонтерских служб. Опыт развертывания «Системы 112» в ЕС и в РФ представляет практический интерес для развивающихся стран и, в частности, для Республики Йемен.

Интеграция ресурсов экстренных служб в рамках «Системы 112» означает возможность передавать в автоматизированном режиме данные экстренного вызова после предварительной его обработки операторами ЕДДС в дежурно-диспетчерские службы (ДДС). Для эффективного обслуживания населения реализуется базовый принцип работы «Системы 112» - «одно окно» для приема обращений [20,46,10,22, 75,92,77,64,65,90].

Процесс консолидации может быть проиллюстрирован возможностью привлечения и использования в режиме чрезвычайной ситуации (ЧС) ресурсов телекоммуникации, принадлежащих различным региональным операторам связи.

Функционально «Система 112» состоит из многих подсистем, краткое описание которых приведено в Приложении 1.

В соответствии с ГОСТ 22.7.01-99 управление единой системой для ликвидации ЧС включает себя муниципальные и единые дежурно-диспетчерские службы ЕДДС и службы ДДС. Орган управления местной (например - городской) подсистемой государственной системы или ликвидации ситуаций ЕДДС предназначен для координации ДДС одного или нескольких образований региона. Перечислим основные задачи ЕДДС [22,47,48,54]:

организация комплекса мер, обеспечивающих сокращение времени реагирования и улучшение взаимодействия между экстренными, оперативными и дежурно-диспетчерскими службами;

организация удобного обращения к экстренным оперативным службам по технологии «одного окна»;

уменьшение возможного социально-экономического ущерба вследствие происшествий и чрезвычайных ситуаций (см. рисунок 1.1.).

Категории службы ЕДДС определяются с учетом их основной структуры, разрабатываемой по методическим рекомендациям Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий бедствий (МЧС России) и с учетом классификации территорий [13, 14, 45,53, 55].

«Система112» региона создается как территориально-распределенная система, реализуемая на базе ЕДДС муниципальных образований, и включает в себя два уровня иерархии:уровень административного центра региона;уровень муниципального образования.

В состав ЕДДС входит подсистема приема и обработки вызовов, представляющая собой подсистему управления, важным элементом которой является центр обслуживания (обработки) экстренных вызовов (ЦОВ) [6,19,47,34, 48,12,73,76,85,99,104]. Многофункциональный комплекс оборудования ЦОВ должен обеспечивать прием и обработку входящих обращений в систему, распределение заявок на реагирование между службами «Системы 112» и другими ДДС, в состав которых также могут входить центры обслуживания вызовов или группы операторов серийного включения.

Для успешного функционирования «Системы 112» требуется интегрировать ЦОВ с другими информационными системами, обеспечивая обслуживание абонентов разных вариантов доступа (мобильный, стационарный и доступ по Интернет) [66,67, 106,107,109]. Таким образом, переход от традиционного варианта организации независимых экстренных служб к объединению ресурсов в единой «Системе 112» открывает новые направления исследований, позволяющие учесть последние сетевые и системные аспекты развития экстренных служб. Предполагается, что развертывание «Системы 112» будет способствовать повышению оперативности взаимодействия между службами и сокращать время реагирования на чрезвычайные происшествия.

При организации «Системы 112» требуется учитывать изменяющиеся требования, касающиеся качества работы системы и обслуживания населения, а также дополнительные возможности по развитию системы с учетом внедрения новых технологий, методов управления потоками трафика и оборудования с расширенным функционалом [58,60,61,64,65,68,69,81,98]. Организация и развитие «Системы 112» требует дополнительного анализа и исследований с точки зрения обеспечения устойчивого функционирования в разных условиях работы, в том числе – при чрезвычайных ситуациях.

1.2. Анализ особенностей изменения трафика экстренных вызовов в чрезвычайных ситуациях

Как показывает мировой опыт, возникновение чрезвычайной ситуации приводит к резкому повышению трафика экстренных вызовов [94]. ЦОВ-ЧС в зоне чрезвычайной ситуации, скорее всего, не сможет поддерживать высокие показатели качества обслуживания.

Как показано на рисунке 1.1. во время ЧС, а также во время ликвидации последствий ЧС, резко растет трафик реального времени (например, телефонная связь). Причем часть обращений дублируют друг друга. Наиболее критичным является начальный период ЧС. Быстрое реагирование важно для спасения пострадавших [55 101].

Центры обслуживания (обработки) вызовов «Системы 112» должны фиксировать появление ЧС и, как следствие, - переводить системы реагирования в режим ЧС. В

соответствии с базовыми положениями теории катастроф сложно прогнозировать возникновение ЧС на основе данных традиционных систем предупреждения. Однако следует предусмотреть использование конкретных алгоритмов обнаружения ЧС и перевода оборудования в этот режим [4,55,56].

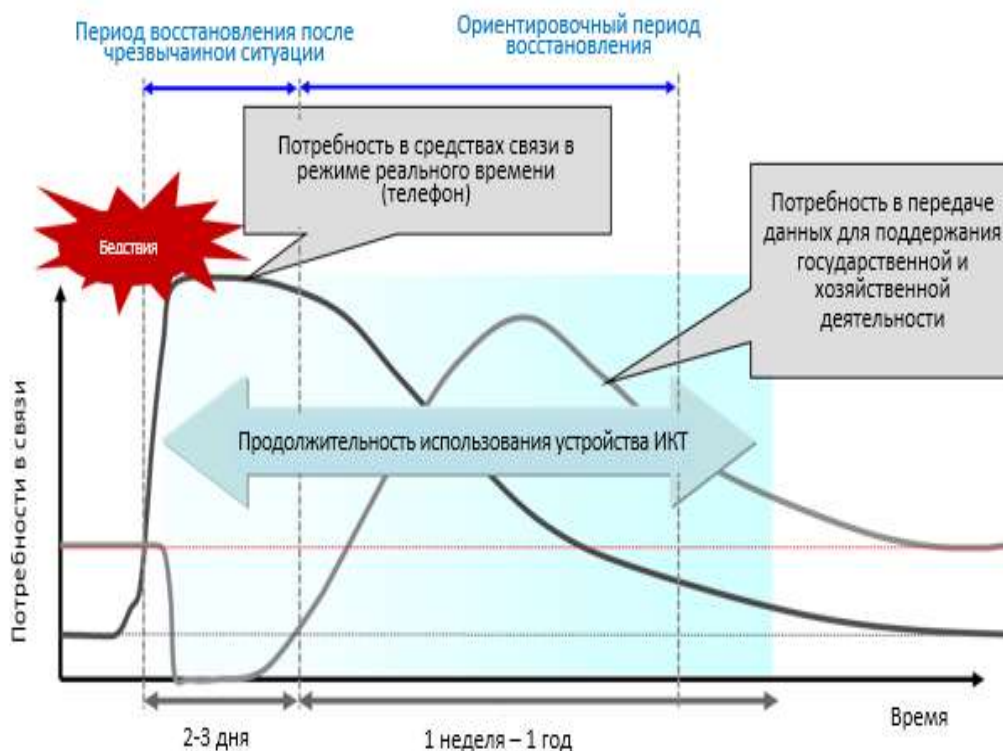


Рисунок 1.1. Изменение потребности в связи в режиме ЧС

Возможна такая последовательность перехода в режим ЧС[101].

1. Устанавливается значение $S_{\text{порог}}$ - пороговое число вызовов, поступивших за определенный интервал времени t .

Например, можно предполагать, что t равно времени одного занятия, то есть времени, в течение которого обслуживается один вызов.

2. В каждом интервале времени t ведется учет числа поступающих вызовов $S_c(t)$.

3. Выполняется сравнение $S_c(t)$ и порогового значения $S_{\text{порог}}$. Если число поступающих вызовов в интервале времени t оказалось больше, чем пороговое значение, то может приниматься решение о переходе в режим ЧС.

Также переход в режим ЧС может выполняться заранее, если известны данные о неблагоприятных метеопрогнозах или поступили сообщения о возможных террористических актах [95, 96].

Проблема неконтролируемого роста объемов трафика экстренных вызовов рассматривается в ряде работ [35,36, 37,38,39,40,41,42,94,98]. Так, предлагаются различные подходы по ограничению трафика, возникающего в зоне ЧС с целью защиты от перегрузок отдельных участках «Системы 112» и, в частности, в центрах обслуживания вызовов ЕДДС и ДДС [36,26,98]. Отрицательной стороной такого подхода может стать потеря контроля над развитием ситуации.

В данной диссертационной работе предполагается исследовать принципиально другой подход, а именно – объединять в режиме ЧС ресурсы нескольких ЕДДС(или нескольких ДДС) для обслуживания трафика экстренных вызовов. Активизированная система взаимопомощи между ЦОВ экстренных служб должна обеспечивать возможность перенаправления избыточного трафика из зоны ЧС в ЦОВ экстренных служб, которые не затронуты чрезвычайной ситуацией.

Определим цели такой маршрутизации:

оперативный контроль над развитием ситуации в зоне ЧС;

практически безотказное обслуживание пользователей путем обслуживания обращений граждан о происшествиях в зоне ЧС силами операторов ЦОВ системы взаимопомощи, что будет способствовать снижению уровня паники и числа повторных вызовов, уменьшать долю вызовов, направляемых на интерактивное голосовое меню.

1.3. Систематизация методов управления потоками экстренных вызовов применительно к режиму чрезвычайной ситуации

В структуре «Системы 112» следует выделить два уровня иерархии:

на нижнем уровне должна быть реализована скоординированная совместная работа экстренных служб в рамках зоны обслуживания одного ЕДДС;

на верхнем уровне возможно объединение ресурсов нескольких ЕДДС.

Каждый из ЦОВ системы экстренных служб может обслужить с заданным качеством определенный объем трафика (нагрузки) [1,21,70,71,80,102,103]. Возникновение ЧС в зоне обслуживания одного из ЦОВ приводит к его перегрузке. Будем в дальнейшем обозначать его как ЦОВ-ЧС.

Уменьшение воздействия возникающей в ЦОВ-ЧС перегрузки может достигаться путем направления избыточного трафика на направления к другим ЦОВ экстренных

служб. Таким образом, если в момент поступления экстренного вызова все операторы ЦОВ-ЧС будут заняты, то такой вызов может передаваться на обслуживание операторам другого ЦОВ экстренных служб, который не испытывает перегрузок в текущий момент времени. Современные средства управления потоками трафика позволяют регулировать долю трафика, распределяемого между ЦОВ экстренных служб.

Выделим следующие подходы к реализации управления потоками вызовов, которые рекомендованы МСЭ-Т, и могут быть применены при управлении потоками экстренных вызовов[17,26,27,28].

Предположим, что на выходе ЦОВ-ЧС используется метод управления пропуском маршрута (Skip Route Control, SKIP) [51], позволяющий направлять избыточный трафик к операторам других ЦОВ экстренных служб, распределяя его между ними пропорционально емкости операторских подсистем или их загруженности (см. рис.1.2.).

Обозначим долю избыточной нагрузки, направляемой на j -ый ЦОВ экстренных служб от ЦОВ-ЧС величиной K_j , где j - номер ЦОВ экстренных служб в системе взаимопомощи. Величина j принимает значения в диапазоне $j= 1...W$, где W – общее число ЦОВ экстренных служб, на которые может направляться избыточная нагрузка от ЦОВ-ЧС. Общее число ЦОВ в системе взаимопомощи равно W системы = $(W + 1)$. Справедливо соотношение $\sum_{j=1}^W k_j = 1$.

Отказ в обслуживании (в нашем случае – направление вызова на систему IVR) наступает в том случае, если будут отсутствовать свободные операторы в том ЦОВ системы экстренных служб, на который направляется избыточный вызов.

Вариант перераспределения трафика экстренных вызовов, представленный на рисунке 1.2. исключает пересылку избыточного трафика между ЦОВ системы.

Возможен случай, представленный на рисунке 1.3. когда одновременно испытывают перегрузку ЦОВ-ЧС и один из ЦОВ, который первоначально должен был использоваться как один из вспомогательных ЦОВ. Может быть активизирован метод избирательного управления входящей перегрузкой (Selective incoming load control, SILC) для управления входящим избыточным трафиком от ЦОВ-ЧС. Основным компонентом для начальной активизации управления по этому методу является достижение уровня перегрузки МС [51].

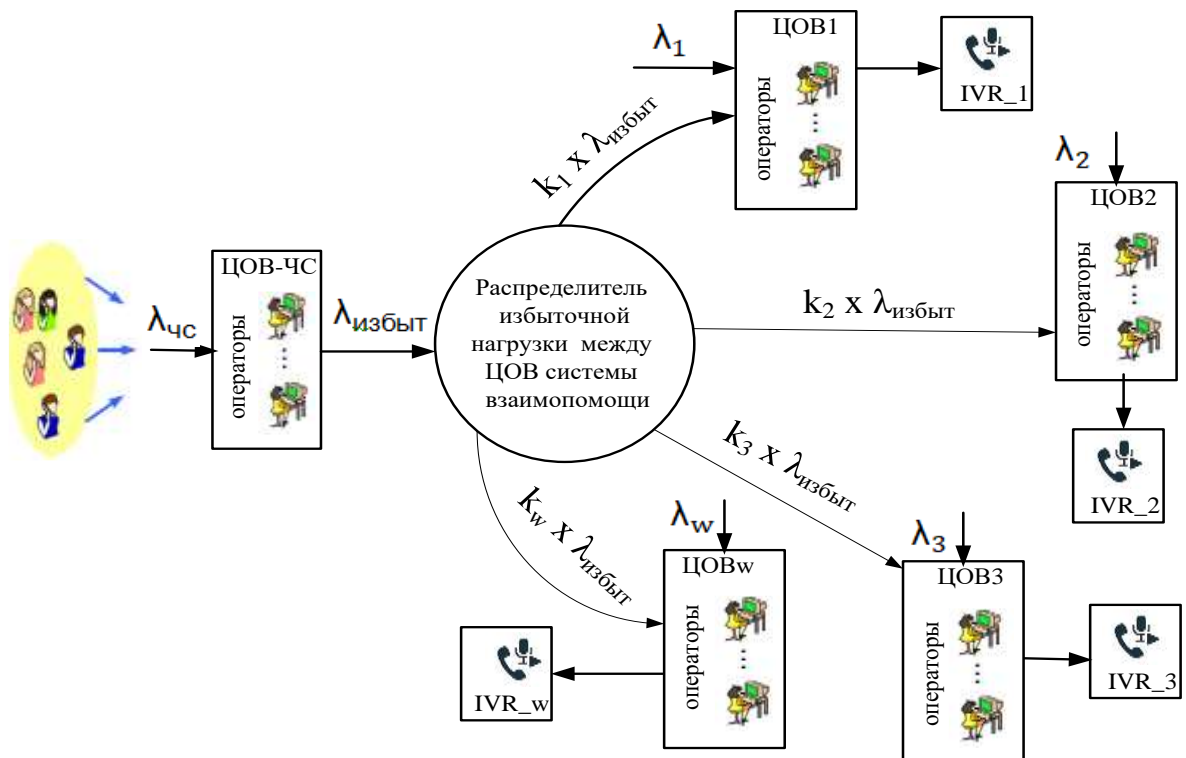


Рисунок 1.2. Перспективный вариант организации взаимопомощи

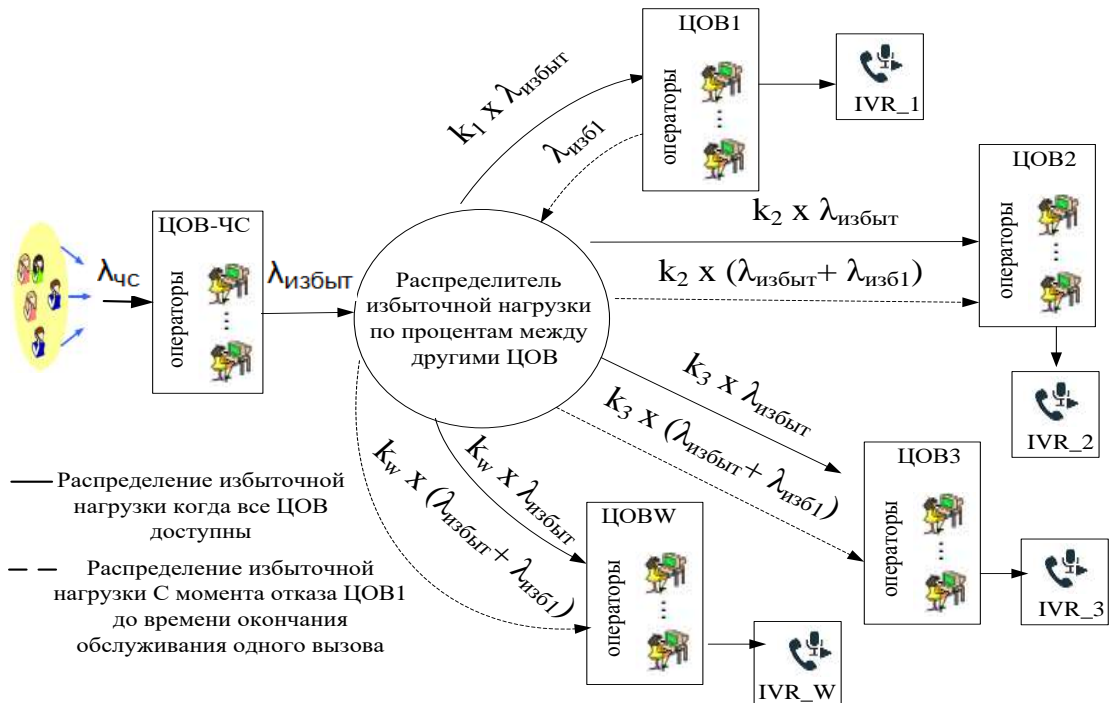


Рисунок 1.3. Вариант распределения трафика экстренных вызовов с привлечением метода избирательного управления входящей перегрузкой (Selective incoming load control, SILC)

При нехватке ресурсов (в данном случае – это свободные операторы) средства автоматического контроля условий перегрузки позволяют отправлять на распределитель избыточной нагрузки ЦОВ-ЧС сообщение о недоступности ресурсов данного ЦОВ. Распределитель нагрузки, получивший информацию о недоступности конкретного ЦОВ, прекращает направлять избыточные вызовы к этому ЦОВ. Далее распределитель нагрузки включает функцию Reroute Control, которая обеспечивает регулирование доли вызовов, направляемых к другим ЦОВ [51]. Перераспределение доли нагрузки происходит ступенчато.

Определение величины уровня перегрузки МС при использовании метода управления SILC является сложной задачей, при решении которой должны учитываться факторы, оказывающие разнонаправленное влияние на работу всей системы. А именно, с одной стороны стремление без отказов обслужить поступающие избыточные для ЦОВ-ЧС вызовы предполагает привлечение всего ресурса операторов вспомогательного ЦОВ_j. Но, с другой стороны, нельзя допустить ухудшения работы «вспомогательного» ЦОВ_j при выполнении задач, стоящих именно перед данным центром обслуживания вызовов.

В качестве примера - часть операторов ЦОВ ЕДДС может резервироваться для обслуживания трафика, традиционно поступающего из «своей» зоны обслуживания, образуя так называемый оперативный резерв (ОР).

Возможный вариант организации перенаправления вызовов на верхнем уровне иерархии «Системы 112», а именно при наличии связи между ЕДСС по оптическому кольцу с привлечением технологий пакетной коммутации, представленный на рисунке 1.4., предусматривает применение метода избыточного перенаправления OverflowReroute (ORR). Принцип его работы заключается в том, что при переходе любого ЦОВ экстренных служб в режим блокировки (все операторы заняты) в этом ЦОВ активизируется метод ORR [51]. Впоследнем в цепочке взаимопомощи ЦОВ активизируется отмена метода избыточного перенаправления при помощи процедуры CancelRerouteOverflow (CRO).

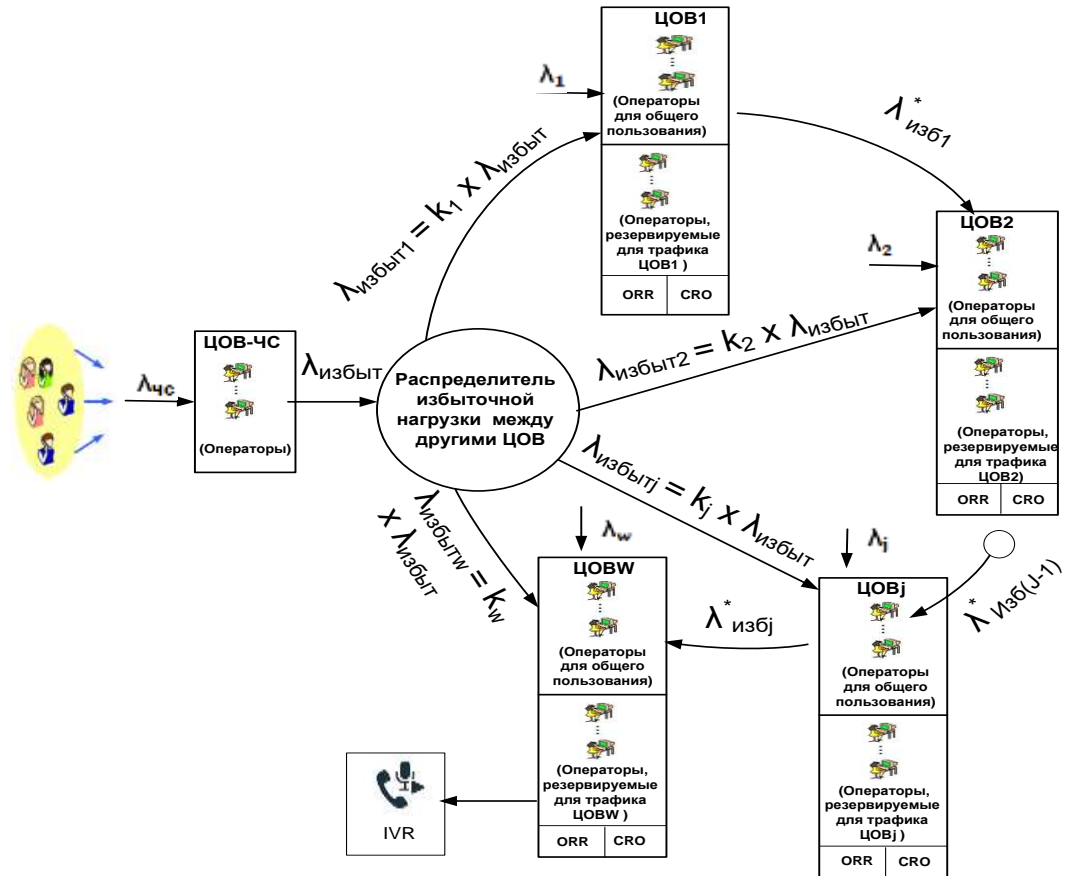


Рисунок 1.4. Функциональная модель системы экстренных служб, с маршрутизацией избыточных вызовов и с учетом оперативного резерва операторов при возникновении ЧС

На рисунках 1.2. - 1.4. принимались следующие обозначения:

λ_j - интенсивность нагрузки, которая инициируется пользователями, находящимися в зоне обслуживания данного j -ого ЦОВ;

$\lambda_{избыт}$ - общая интенсивность избыточной нагрузки, направляемой из зоны ЧС в систему взаимопомощи;

$W = (L - 1)$ - общее число ЦОВ, на которые может перенаправляться нагрузка от ЦОВ-ЧС;

L - число центров обслуживания вызовов, включенных в систему взаимопомощи;

$\lambda^*_{избj}$ - интенсивностью избыточной нагрузки от j -ого ЦОВ (перегрузка, технический отказ) на другой ЦОВ в цепочке маршрутизации;

$\lambda_{чс}$ - интенсивность нагрузки, поступающей на ЦОВ-ЧС при возникновении ЧС.

1.4. Анализ возможностей использования профессиональной радиотелефонной связи в режиме ЧС

На рисунке 1.5. показаны данные статистики по использованию средств связи после землетрясения в Японии в марте 2011 года. Как показывает график, отмечался резкий рост числа попыток использования сети подвижной связи, но такие попытки были не удачными как вследствие перегрузки сети, так и небольшого количества доступных базовых станций [94, 101].

По рекомендации МСЭ-Т в системе спасения могут использоваться технология GSM и технология LTE. Но есть большая вероятность того, что такие технологии не будут доступны к использованию (угроза террористических актов).

Предметом рассмотрения в данном подразделе является анализ перспективности использования систем цифровой транкинговой связи в «Системе 112» с привлечением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) как дополнительного ресурса связи при возникновении ЧС [46,108]. Системы цифровой транкинговой связи специально разработаны для применения в экстренных службах, коммерческих предприятиях и транспортных компаниях [93, 105, 82,83].

Система мобильной радиосвязи должна соответствовать четырем ключевым требованиям, чтобы ее можно было использовать для профессиональной связи.

Инфраструктура должна быть устойчивой и высоко доступной. Обычно это достигается с помощью избыточной сетевой архитектуры, избыточных каналов между сетевыми элементами и использованием отказоустойчивых сетевых элементов. Кроме того, базовые станции могут повысить доступность своих ячеек, работая в резервном режиме и предоставляя минимальное обслуживание, когда соединение с инфраструктурой теряется и когда услуги всей сети не могут временно поддерживаться [40, 61].

Связь должна быть надежной. В критически важных сетевых службах связь должна быть доступной и стабильной (особенно в случае крупномасштабных бедствий). Даже на границе соты речевые пакеты, короткие сообщения данных и пакетные данные должны надежно передаваться конечному пользователю [15].

Связь должна быть безопасной. Важно, чтобы сеть предоставляла функции безопасности для защиты пользователей: взаимную аутентификацию инфраструктуры и

терминалов; способы временного и постоянного отключения терминалов и смарт-карт; обнаружение и компенсацию помех на радиointерфейсе; шифрование в радиointерфейсе пользовательских данных и данных сигнализации, включая адреса; сквозное шифрование пользовательских данных.

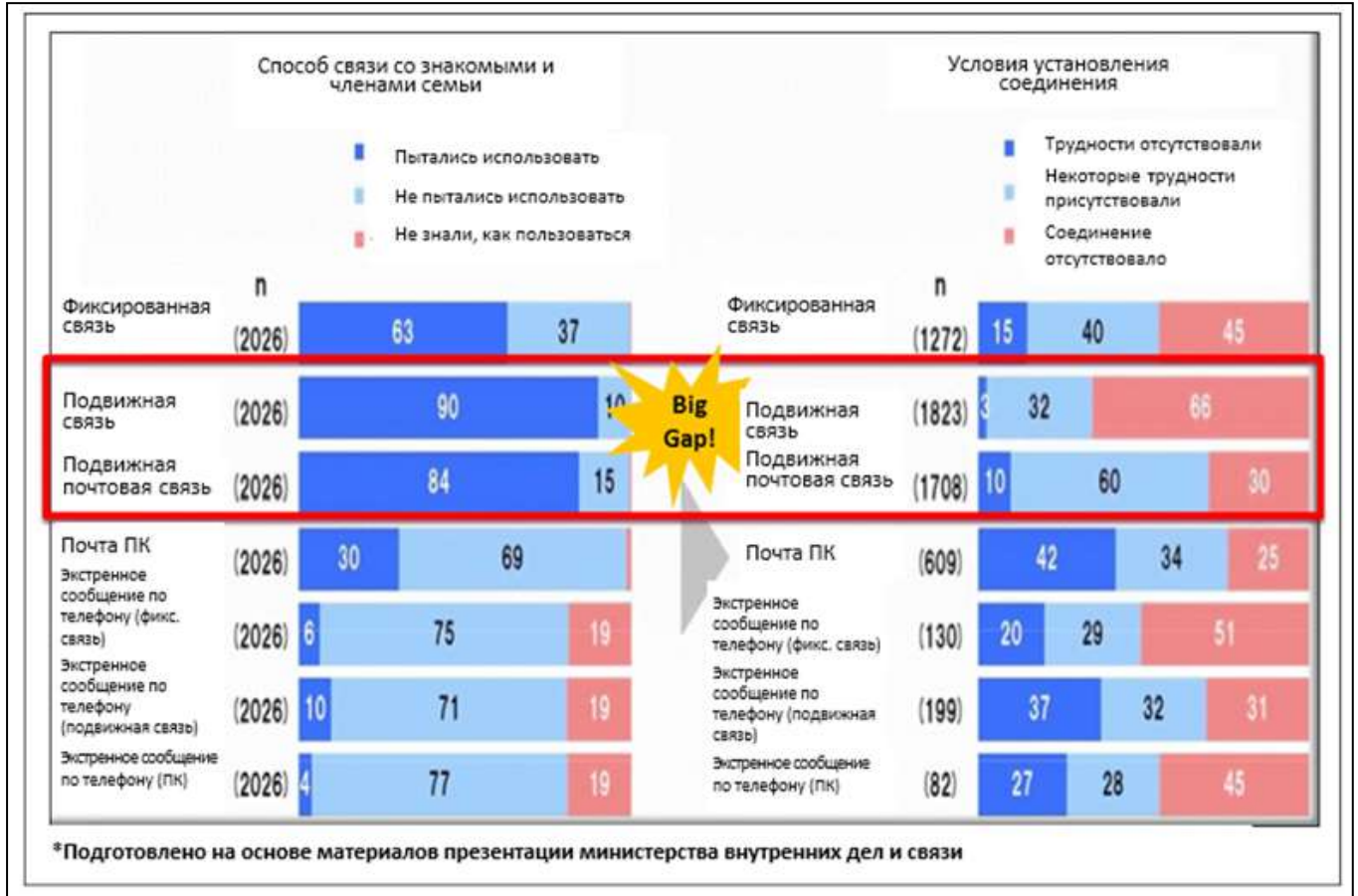


Рисунок 1.5 - Статистика по использованию средств связи после землетрясения в Японии в марте 2011 года [95]

Профессиональные пользователи в основном работают в группах. Сеть должна поддерживать многоточечную связь, то есть групповые вызовы, групповые адресные короткие сообщения данных и групповые адресные пакетные данные.

Цифровой стандарт TETRA (TErrestrial TRunked RAdio), рекомендованный к использованию в РФ, является открытым стандартом цифровой транкинговой радиосвязи, что позволяет обеспечивать совместную работу оборудования различных производителей. Этапы эволюции для стандартизации и внедрения TETRA 3 в качестве профессиональной мобильной технологии радиосвязи для передачи голоса и данных с

поддержкой 4G и полностью IP- 4G, описаны в работах [82,83,105] и представлены на рисунке 1.6.

Учитываются требования пользователей профессиональной мобильной радиосвязи к широкополосным приложениям критически важных данных, которые включают передачу данных о местоположении, передачу мультимедийного видео и фото, офисные приложения, загрузку и выгрузку оперативной информации, запросы к базе данных в режиме on-line. Сеть радиодоступа и базовая сеть в версии TETRA 3 должны стать полностью IP(InternetProtocol), сохраняя при этом высокое качество обслуживания голосовых услуг.

Стандарт TETRA соответствует перечисленным выше требованиям. Сравнительный анализ цифровых стандартов профессиональной радиосвязи, получивших распространение в ЕС и в РФ, по основным характеристикам (техническим, функциональным возможностям, предоставляемым услугам связи, возможности взаимодействия с беспилотными летательными аппаратами). Подробно анализ использования TETRA для построения «Системы 112» представлен в публикациях [49,50,86,87,108,93].

Ресурсы радиосвязи TETRA использовались для организации учений по ликвидации ЧС и для построения единой сети в системах спасения в Нижнем Новгороде и в других регионах страны.

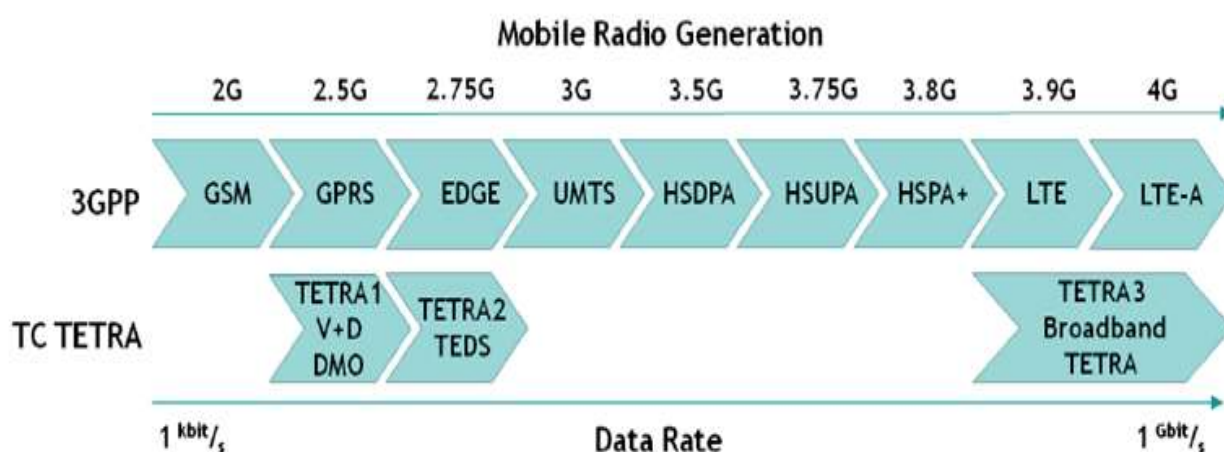


Рисунок 1.6. Сопоставление коммерческих стандартов мобильной радиосвязи с реализациями профессионального стандарта TETRA [100]

Стандарт TETRA является технологически наиболее совершенным стандартом профессиональной радиотелефонной связи, и имеет самую большую установленную базу в мире. Цифровая система TETRA может работать в трех режимах связи - полудуплекса, дуплекса, передачи мультимедийного трафика.

При исследовании возможностей оборудования стандарта TETRA, его можно рассматривать с точки зрения теории телетрафика как СМО с групповым поступлением заявок (заявки от источника в режиме полудуплекса, заявки от источника в режиме дуплекса, и, на конец, заявки от источника в режиме мультимедиа). Для описания данной системы предлагается использовать методы теории телетрафика.

В ряде работ предлагается использовать стандарт TETRA для выполнения роли GSM и LTE в системах экстренной связи как предложено в работах [49, 50, 101, 109]. При необходимости беспилотные летательные аппараты (БПЛА) позволяют обеспечить мобильную связь в аварийных и чрезвычайных ситуациях [77, 96, 108]. Речь идет об использовании стандарта TETRA в режиме дуплекса и режиме мультимедиа. Так, на базе оборудования стандарта TETRA может осуществляться автоматизированный прием тревожных сообщений от систем охранной, пожарной и тревожной сигнализации и телеметрических датчиков, а также выполняться сопряжение с системами управления, связи и мониторинга экстренных служб. При проведении спасательных и восстановительных работ это оборудование становится дополнительным, но в ряде случаев – основным ресурсом связи между спасателями.

Таким образом, перспективно использование оборудования цифрового стандарта TETRA для оперативного управления техническими и людскими ресурсами «Системы 112» во время ликвидации последствий ЧС. Преимуществом стандарта TETRA являются обеспечение связи с высокой надежностью, защищенностью и большой пропускной способностью, а также межведомственное взаимодействие за счет единой телекоммуникационной инфраструктуры. Цифровой стандарт TETRA сохраняет возможность применения пользователями традиционных для радиосвязи режимов полудуплексной или симплексной связи, вводя обслуживание с отказами или с ожиданием. Одновременно с этим намечается переход значительного числа пользователей на дуплексную связь, а также использование мультимедийных средств передачи информации. Обобщенная функциональная модель распределения трафика в системе экстренных служб представлена на рисунке 1.7.

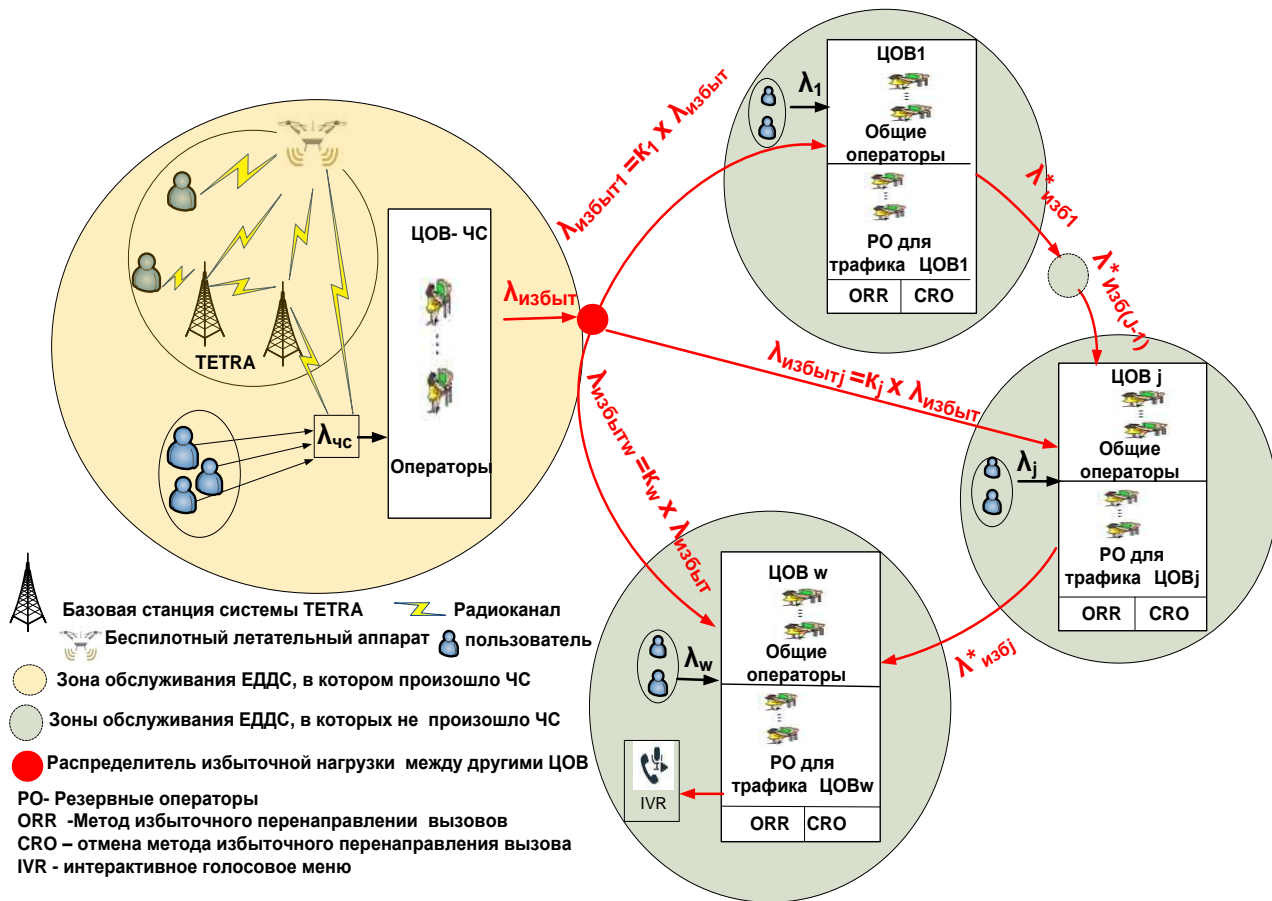


Рисунок 1.7. Обобщенная функциональная модель распределения трафика в системе экстренных служб

1.5. Выбор методов теории массового обслуживания, перспективных для описания функционирования систем обслуживания экстренных вызовов

1.5.1. Возможности сравнительного анализа систем связи методами теории массового обслуживания

Основы теории массового обслуживания (ТМО) были изложены в трудах (1908—1918 годы) датского математика А. К. Эрланга. На новом витке технологий связи методы теории телетрафика используются для описания функционирования сложных систем телекоммуникаций, в которых совмещаются различные способы передачи информации и реализуются новые услуги связи [63].

Вероятность потери вызова $P_B(t_1, t_2)$, поступившего в промежутке $[t_1, t_2)$, определяется как отношение числа потерянных и числа поступивших $C(t)$ вызовов в промежутке времени t :

$$P_B(t_1, t_2) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{c_{nom}}{c(t)}. \quad (1.1)$$

Поток вызовов является стационарным, если вероятность поступления k вызовов на интервале $[t_0; t_0 + \Delta t)$ не зависит от t_0 , а зависит только от величины интервала Δt [63].

Если числитель и знаменатель (1.1) умножить на среднее время одного занятия $t_{зан}$, то получим равносильное отношение интенсивностей избыточной [63]

$R(t_1, t_2)$ и поступающей $D(t_1, t_2)$ нагрузок:

$$P_B = R/D, \quad (1.2)$$

$$\text{где } R = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} R(t_1, t_2) \quad \text{и} \quad D = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} D(t_1, t_2).$$

Положения теории телетрафика развивались в работах Б.С. Лившица, А. П. Пшеничникова, Г. П. Башарина, В. И. Неймана, М.А. Шнепса-Шнеппе, А.Д. Харкевича, С. Н. Степанова и многих других ученых [2,3,7,16,25,52,53,62,73,78,79,97]. Основным инструментом исследования в ТМО является метод уравнений вероятностей состояний, интенсивности перехода из одного состояния в другое известны на основании свойств потоков вызовов и потоков освобождения.

Для системы массового обслуживания СМО можно составить систему уравнений, связывающих между собой вероятности соседних состояний [63,78]. Поток вызовов на обслуживание является пуассоновским, если обладает свойствами стационарности, отсутствия последствия и ординарности.

Поток вызовов на обслуживание является пуассоновским, если обладает свойствами стационарности, отсутствия последствия и ординарности. Свойство стационарности в системах телефонной связи обеспечивается большим числом источников вызовов, которые создают вызовы независимо друг от друга.

Предположение об экспоненциальном законе распределения длительности обслуживания заявки является краеугольным камнем классической модели Эрланга. Это позволяет, если на вход СМО поступает простейший поток:

получить удобное аналитическое решение системы уравнений вероятностей состояний, характеризующих функционирование СМО;

произвести расчет СМО для наиболее сложных условий работы.

Традиционное предположение об экспоненциальном законе распределения длительности обслуживания вызова используется при проектировании телефонных сетей и систем [78]. Можно сослаться на рекомендацию Е. К. Венцель о целесообразности использования экспоненциального закона распределения во всех тех случаях, когда значительную часть вызовов составляют короткие занятия, а доля вызовов продолжительного обслуживания – невелика.

Для классической модели Эрланга путем решения системы уравнений, связывающих между собой вероятности соседних состояний, были получены аналитические выражения [63,78,79,97]. В частности, для аналитической оценки величины P_r - стационарной вероятности того, что ровно r линий заняты обслуживанием, может быть использована формула

$$Pr = \frac{A^r / r!}{\sum_{i=0}^V (A^i / i!)}, r = 0, 1, \dots, V. \quad (1.3)$$

Выражение для вероятности потери вызова P_B , характеризующей состояние «все линии заняты», $P_B = E_V(A)$ или $P_B = P_V$ называют первой формулой Эрланга:

$$P_B = E_V(A) = \frac{A^V / V!}{\sum_{i=0}^V (A^i / i!)}, \quad (1.4)$$

где $A = \lambda / \mu$

λ - интенсивность поступления требования ;

μ - интенсивность обслуживания требования.

С помощью рекуррентного соотношения, производится вычисление по первой формуле Эрланга с использованием ЭВМ:

$$E_V(A) = A E_{V-1}(A) / [V + A E_{V-1}(A)]. \quad (1.5)$$

Использование модели Эрланга актуально для систем обслуживания экстренных вызовов, поскольку основу возникающего в режиме ЧС потока телетрафика будут составлять вызовы реального времени (телефония фиксированного или мобильного доступа).

1.5.2. Перспективность использования метода RDA, позволяющего учесть влияние перегрузок

Появление дополнительного трафика в системах и сетях связи (в нашем случае – при возникновении ЧС) может приводить к повышению вероятности потерь по вызовам. Общепринятой практикой в организации работы центров обслуживания вызовов является переадресация избыточного трафика на интерактивное голосовое меню. При возникновении ЧС такая переадресация возможна, но поскольку принятие решений в этом случае затягивается, то может быть упущено время на оперативное реагирование.

Одним из возможных путей улучшения указанной ситуации является обслуживание избыточного трафика с использованием обходных (альтернативных) направлений. Для расчета числа каналов в обходном направлении, на которое может направляться избыточная для других направлений связи нагрузка, используется метод RDA. Возможности, принципы использования метода RDA описаны в работах [63,89].

Метод RDA дает достаточно точные оценки числа каналов в полнодоступном пучке, обслуживающем сумму избыточных нагрузок. Используются обозначения: R – среднее значение избыточной нагрузки; D – ее рассеяние то есть разность дисперсии и среднего значения; A – Интенсивность нагрузки [89].

Следует выделить актуальность и необходимость экспертно-аналитической оценки для выбора ресурса альтернативного направления с учетом особенностей конкретной сетевой структуры [11]. Использование метода декомпозиции позволяет производить формализованное описание процессов предоставления услуг на различных участках системы взаимопомощи.

Актуально использование метода RDA:

для оценки устойчивости к перегрузкам центров обслуживания вызовов экстренных служб, объединенных в систему взаимопомощи;

для определения необходимого числа радиоканалов при взаимодействии с беспилотным летающим аппаратом, используемым для оперативного управления техническими и людскими ресурсами «Системы 112» при ликвидации последствий ЧС.

1.5.3. Использование математической модели с групповым поступлением заявок на обслуживание для исследования функционирования систем профессиональной радиотелефонной связи

Модель Эрланга описывает системы, в которых поступающие заявки являются ординарными. Однако в практике возможны случаи, когда требования на обслуживание поступают в систему группами. Примером этому может служить обслуживание вызовов в стандарте TETRA.

При исследовании функционирования системы TETRA должна учитываться потребность в представлении радиоканалов для обеспечения связи в конкретных режимах (полудуплекс, дуплекс, мультимедийный трафик). При обслуживании вызова в режиме полудуплекс происходит занятие одного информационного канала в радиointерфейсе. Для реализации связи в режиме дуплекса занимают два информационных канала в радиointерфейсе. Возможность передачи мультимедийного трафика относится к новым возможностям систем стандарта TETRA, и хорошо согласуется с новым направлением развития профессиональной радиотелефонной связи – а именно, с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Для передачи мультимедийного трафика необходима группа свободных информационных каналов в радиointерфейсе, предоставляемая на постоянной основе или на время сеанса связи. Предлагается использовать для описания системы TETRA математическую модель, которая была разработана для случая поступления групповых заявок на обслуживание. Предполагается, что число требований в группе постоянно. В работах [52,79] представлены рекуррентные зависимости для варианта, когда в любой момент времени может поступить одно требование в группе с вероятностью F_1 , а также могут поступить i требований в группе с вероятностью F_i .

Поскольку входящий поток групп требований подчиняется пуассоновскому закону, то справедлив вывод Б.А.Севастьянова, что «зависимости, получаемые для стационарного решения, остаются неизменными при любом распределении времени обслуживания, как и в случае ординарного пуассоновского потока» [29,52,78].

Для исследования функционирования системы стандарта TETRA необходимо определить процедуру расчета значений вероятности потерь по вызовам в системе,

учитывая влияние перехода от базового режима работы полудуплекс к работе в режиме дуплекс, а также учитывать влияние мультимедийного трафика.

1.5.4. Возможности статистического моделирования системы взаимопомощи экстренных служб

Актуальность моделирования определяется высокой сложностью исследуемой системы. Аналитическое исследование функционирования системы экстренных служб предполагает:

функционирования ЦОВ-ЧС с определением характеристик потока трафика вызовов на входе распределителя избыточных вызовов, которые предполагается производить по методу RDA;

функционирования центров обслуживания экстренных вызовов, в которых может выделяться оперативный резерв, недоступный для вызовов из зоны ЧС. Выделение оперативного резерва может быть актуально для сохранения достаточного высокого качества обслуживания пользователей в зонах, не затронутых ЧС.

Корректность аналитического описания должна быть подтверждена результатами моделирования. Для большей наглядности при написании программы моделирования использовалась работа с массивами данных, в которых будут сгруппированы данные о моментах поступления заявок на обслуживание, продолжительности их обслуживания, наличии ресурса свободных операторов для обслуживания заявок. Использование массивов данных позволяет проследить в режиме on – line обслуживание конкретной заявки, или группы заявок.

Для моделирования потока заявок необходимо одновременное использование двух генераторов: генераторами случайных чисел. Один генератор используется для генерации моментов поступления новых заявок (вызовов); другой генератор используется для определения случайного показателя - продолжительности обслуживания конкретной заявки. При моделировании учитываются:

характеристика потока - интенсивность поступления заявок λ ;

характеристика обслуживания - интенсивность обслуживания заявок μ .

Начальные состояния генераторов устанавливаются в начале новой серии испытаний, и также должны образовывать последовательность случайных чисел. Общее

число генераторов случайных чисел зависит от числа моделируемых потоков заявок [8,18,72,88]. Продолжительность серии испытаний обычно фиксируется на некотором уровне, который должен соответствовать заданному периоду времени последовательной работы.

В настоящее время область использования методов статистического моделирования существенно расширена. Так, помимо использования в качестве вспомогательного средства для оценки достоверности аналитических предположений, методы математического моделирования используются в качестве базового средства для моделирования качества работы сетей и систем связи в условиях быстрого роста трафика на отдельных направлениях или в условиях отказа части оборудования.

1.6. Постановка задачи исследования

Чрезвычайные ситуации сопровождаются резким ростом телекоммуникационного трафика, поступающего в Систему 112. Центры обслуживания вызовов являются основной точкой входа для всех обращений, поэтому необходимо решение, которое обеспечит требуемый функционал при возникновении и развитии чрезвычайной ситуации.

Объединение ресурсов в единую систему экстренных служб для перераспределения поступающего трафика в «Системе 112» является одним из перспективных подходов для устранения негативного влияния ЧС и обеспечения высокой вероятности успешного обслуживания экстренных вызовов операторами ЦОВ.

Актуальной научной задачей является разработка метода повышения пропускной способности системы экстренных служб, позволяющего учесть влияние совокупности факторов, таких как:

- выбор структуры системы экстренных служб;
- общее число центров обслуживания вызовов в системе;
- влияние метода распределения избыточного трафика;
- особенности формирования оперативного резерва.

На этапе ликвидации последствий ЧС для обеспечения оперативной связи в рамках «Системы 112» перспективно использование оборудования профессиональной радиотелефонной связи. Ограниченный ресурс радиоканалов определяет актуальность оценки пропускной способности радиоинтерфейса для обеспечения надежной связи.

1.7. Выводы

1. Организация доступа пользователей к экстренным службам по единому номеру перспективна, и реализуется во многих развитых странах. На начальном этапе развития чрезвычайной ситуации значительно возрастает число обращений к экстренным службам. Необходимо обеспечить их обслуживание силами операторов центров обслуживания экстренных вызовов с минимальными потерями.

2. В диссертационной работе исследовано функционирование системы экстренных служб, объединяющей ресурсы центров обслуживания вызовов, которая рассматривается как совокупность систем массового обслуживания.

3. Предполагается исследовать функционирование системы экстренных служб на основе аналитических выражений, учитывающих особенности методов управления избыточным трафиком, влияние оперативного резерва и возможность выхода из строя отдельных элементов системы.

4. На этапе ликвидации последствий ЧС средства мобильной связи могут быть отключены из соображений безопасности. Перспективно использование средств профессиональной радиотелефонной связи стандарта TETRA в сочетании с возможностями беспилотных летательных аппаратов.

5. Формализованное описание функционирования радиointерфейса системы профессиональной радиотелефонной связи в полудуплексном, дуплексном и мультимедийных режимах выполнено с использованием теории телетрафика и, в частности, подхода, разработанного для описания систем с групповым поступлением заявок на обслуживание.

6. В качестве объективного средства оценки достоверности аналитических расчетов использовано статистическое моделирование.

Раздел 2. Разработка математических моделей функционирования системы обслуживания экстренных вызовов

2.1. Использование метода RDA для описания обслуживания избыточного трафика

Предлагается использовать метод RDA для описания функционирования системы экстренных служб, объединяющей в режиме ЧС несколько ЦОВ. Метод RDA должен в данном случае учитывать:

возможность перенаправления избыточной нагрузки от ЦОВ-ЧС на распределитель вызовов, который является входом к ресурсу объединенного альтернативного направления;

использование для реализации объединенного альтернативного направления части ресурсов ЦОВ, включенных в систему экстренных служб, для повышения числа установленных соединений между пользователями и операторами экстренных служб;

метод RDA дает возможность определения числа операторов в объединенном альтернативном направлении с учетом девиации нагрузки, поступающей на ЦОВ – ЧС [89].

Предлагается также использовать метод RDA для описания функционирования системы радиотелефонной связи, объединяющей в режиме ЧС несколько базовых станций и БПЛА, используемый как альтернативное направление связи.

точка присутствия БПЛА может получать в системах радиосвязи, и, в том числе, в TETRA статус направления связи. На него будет направляться избыточный трафик (вызовы) от ячеек, имеющих непосредственную связь с активными абонентами (абоненты, которые находятся на связи).

стоит задача определить ресурс каналов БПЛА при заданном числе ячеек, которые может контролировать БПЛА.

Как показано на рисунке 2.1, избыточные нагрузки представляют собой потерянный трафик на N_i линейном полнодоступном пучке при поступлении на входе пучок пуассоновского потока с интенсивностью равной A_i , $i=1, \dots, n$.

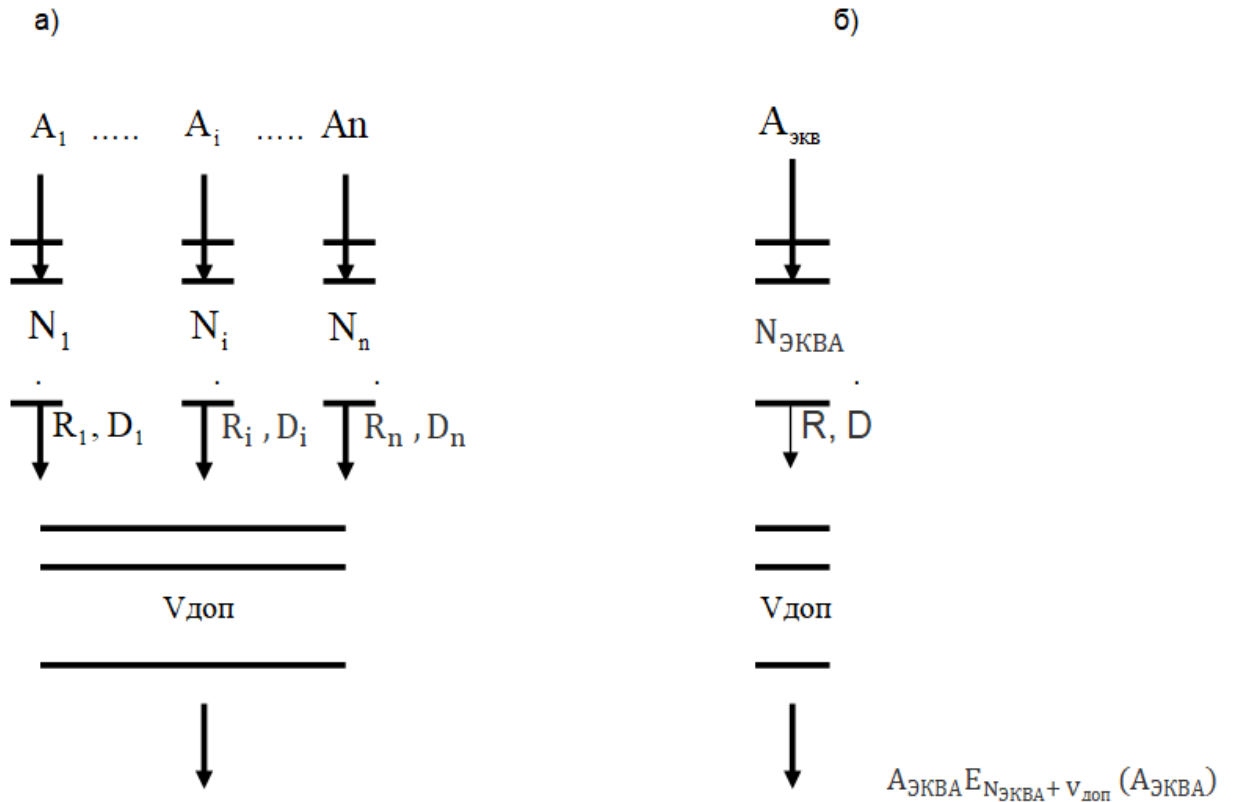


Рисунок.2.1 - Общая схема метода RDA: а) исходная схема полнодоступных пучков;
 б) эквивалентная схема

Каждый полнодоступный пучок состоит из N_i радиоканалов. На вход каждого полнодоступного пучка поступает пуассоновский поток заявок на обслуживание с интенсивностью A_i , $i = 1, \dots, n$. Избыточные заявки от n ячеек поступают на полнодоступный пучок, обслуживающий сумму избыточных нагрузок [89].

Число каналов $V_{\text{доп}}$ в этом пучке каналов определяется при условии, чтобы вероятность потерь была не более допустимой вероятности, то есть выполняется неравенство $p_{\text{д.потерь}} > p_{\text{пот.доступ}}$.

Определим число каналов $V_{\text{доп}}$, используя такой алгоритм расчета [73, 89]:

1. среднее значение избыточной нагрузки на i -ом пучке линий

$$R_i = A_i E_{N_i}(A_i) = A_i \left(\frac{A_i^{N_i}}{N_i!} / \sum_{k=0}^{N_i} \frac{A_i^k}{k!} \right). \quad (2.1)$$

2. рассеяние

$$D_i = \left(\frac{A_i R_i}{N_i + 1 - A_i + R_i} \right) - R_i^2. \quad (2.2)$$

3. параметры суммарной избыточной нагрузки и рассеяния

$$R = \sum_{i=1}^n R_i \text{ и } D = \sum_{i=1}^n D_i \quad (2.3)$$

4. Полученные значения R и D из пункта 3 используются для решения системы уравнения (2.4), из которой определяются неизвестные параметры $A_{\text{ЭКВА}}$ и $N_{\text{ЭКВА}}$ эквивалентного полнодоступного пучка, заменяющего собой n исходных пучков

$$\left. \begin{aligned} R &= A_{\text{ЭКВА}} E_{N_{\text{ЭКВА}}} (A_{\text{ЭКВА}}), \\ D &= R \left\{ \frac{A_{\text{ЭКВА}}}{N_{\text{ЭКВА}} + 1 - A_{\text{ЭКВА}} + R} - R \right\}. \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

5. По известным значениям $A_{\text{ЭКВА}}$ и $N_{\text{ЭКВА}}$, полученным из системы (2.4) определяется искомое число эквивалентных каналов в альтернативном (дополнительном) пучке каналов $V_{\text{доп}}$ как результат решения уравнения

$$B = A_{\text{ЭКВА}} E_{N_{\text{ЭКВА}} + V_{\text{доп}}} (A_{\text{ЭКВА}}) / R, \quad (2.5)$$

где B - задано по условиям задачи и представляет собой вероятность потерь по вызовам в эквивалентном пучке линий;

$E_{N_{\text{ЭКВА}} + V_{\text{доп}}} (A_{\text{ЭКВА}})$ - соответствует первой формуле Эрланга для значений интенсивности нагрузки $A_{\text{ЭКВА}}$ и числа линий $(N_{\text{ЭКВА}} + V_{\text{доп}})$.

Для поиска результатов по методу RDA была разработана программа на языке программирования высокого уровня, листинг которой представлен в Приложении 2. Для решения системы уравнений (2.4) использовался следующий алгоритм последовательного приближения.

Задавались начальные значения для $A_{\text{ЭКВА}} = A_0$ и $N_{\text{ЭКВА}} = N_0 = 1$.

Выполнялось для начальных значений решение системы уравнений, значение $A_{\text{ЭКВА}}$ изменялось на малую величину Δ . Циклически выполнялась операция $A_{\text{ЭКВА}} = A_{\text{ЭКВА}} + \Delta$, и снова решалась система уравнений (2.5). Цель этого этапа - поиск значения $A_{\text{ЭКВА}} = A_{\text{ЭКВА } 1\text{этап}}$ с минимальным расхождением от решения уравнений.

Далее устанавливаются значения $N_{\text{ЭКВА}} = N_{\text{ЭКВА}} + 1$ и $A_{\text{ЭКВА}} = A_0$. Выполняется решение системы уравнений для заданных значений $A_{\text{ЭКВА}}$ и $N_{\text{ЭКВА}}$.

Затем циклически выполнялась операция $A_{\text{ЭКВА}} = A_{\text{ЭКВА}} + \Delta$.

Затем повторно решалась система уравнений (2.4).

Цель этого этапа - поиск такого значения $A_{ЭКВА} = A_{ЭКВ\ 2\ \text{этапа}}$, для которого расхождение при решении уравнений будет наименьшим.

Второй этап выполняется многократно. По результатам каждого обращения к этому этапу производится сравнение величин $A_{ЭКВА\ i\ \text{этапа}}$ и $A_{ЭКВА\ (i+1)\ \text{этапа}}$ для определения – является ли совокупность значений $N_{ЭКВА\ (i+1)}$ и $A_{ЭКВА\ (i+1)}$ решением уравнения (2.4).

2.2. Разработка математической модели функционирования системы экстренных служб

2.2.1. Представление системы экстренных служб в виде совокупности систем массового обслуживания

Предположим, что на территории одного центра обслуживания экстренных вызовов возникает чрезвычайная ситуация, будем в дальнейшем называть его ЦОВ-ЧС. Одним из проявлений ЧС является быстрый рост числа экстренных вызовов, поступающих в ЦОВ-ЧС. Можно уменьшить нагрузку на операторов ЦОВ –ЧС, передав часть вызовов на обслуживание в другие ЦОВ системы взаимопомощи. Предлагаются два варианта решения задачи.

Первый вариант, описанный в подразделе 1.3, предусматривает построение системы экстренных служб, в которой избыточная нагрузка направляется от ЦОВ-ЧС на другие центры.

Второй вариант предполагает наличие единого центра обслуживания вызовов оперативного реагирования (ЦОВ ОР), на который может направляться избыточная нагрузка, возникающая в зонах ЧС [102].

Упростить формализованное описание процессов предоставления услуг на различных участках системы взаимопомощи позволяет использование метода декомпозиции. Этот подход, используемый при разработке математических моделей и исследовании характеристик сложных систем связи в теории телетрафика, предлагает разбивать систему на отдельные модули. Расчет характеристик исследуемой системы осуществляется с помощью соответствующих характеристик отдельных модулей [51,78].

Применительно к совокупности ЦОВ, объединенных в систему взаимопомощи, также можно использовать понятия «макроуровень» и «микроуровень». Понятие «макроуровень» вводится для описания взаимодействия между каждым из центров обслуживания вызовов и ЦОВ-ЧС (центр, в котором возникли ЧС). Характеристики, относящиеся к макроуровню, представляют собой характеристики каждого из ЦОВ с учетом процессов обслуживания в ЦОВ-ЧС.

Характеристики, относящиеся к микроуровню, представляют собой характеристики ЦОВ - ЧС, как отдельного объекта исследований.

Использование такого подхода облегчает ввод и анализ различных обобщений основной модели. Облегчение анализа связано с тем, что алгоритмы оценки характеристик на двух уровнях общей модели можно производить независимо друг от друга, внося необходимые изменения [79].

При разработке модели в первую очередь нужно выбрать форму представления расчетного материала и определить вероятностные характеристики, описывающие принцип функционирования ЦОВ. Можно рассчитать избыточную нагрузку, выходящую без обслуживания из центра, в котором произошли ЧС. Термин «избыточная нагрузка» в теории массового обслуживания соответствует необслуженной нагрузке, поток которой обладает свойствами основного потока, но с другой интенсивностью.

Рассмотрим систему распределения избыточной нагрузки.

Алгоритмы распределения нагрузки подразделяются на динамические и статические. Для реализации динамических алгоритмов распределения нагрузки используется оперативная информация о состоянии системы. В нашей модели эта информация представляет собой данные о загруженности центров, в которые возможен переход вызовов на обслуживание из ЧС-ЦОВ в момент, когда возникает избыточная нагрузка. На основании этой информации может определяться способ распределения избыточной нагрузки в соседние центры ЦОВ. Все центры в системе взаимопомощи (кроме центра в зоне ЧС) называем альтернативными.

Возможно индивидуальное распределение (статическое), в котором уже заранее определен вариант распределения избыточной нагрузки в ЦОВ. Подробно алгоритмы распределения нагрузки рассмотрены в работах [16,27,29,30,43,63,79].

Нагрузка, обслуженная в альтернативных ЦОВ, складывается из нагрузки, возникшей в пределах зоны обслуживания каждого из альтернативных центров, и нагрузки от ЦОВ-ЧС. Для аналитического описания функционирования альтернативных центров ЦОВ нужно использовать сведения об интенсивности поступающих потоков вызовов и продолжительности ЧС. С помощью этих данных можно, например, уточнить количество рабочих мест операторов, которыми следует дополнять альтернативные ЦОВ.

Разработанная модель позволит регулировать и уменьшать перегрузки в центре ЧС-ЦОВ.

С каждым центром ЦОВ можно связать случайный процесс, который задает поток вызовов, возникающий в данном центре, продолжительность нахождения заявки в основном центре ЦОВ-ЧС и вероятность перехода заявки из ЧС-ЦОВ в другие центры.

Для введения различия между потоком заявок, создаваемым на входе каждого центра ЦОВ и потоком избыточных заявок, создаваемым на выходе ЧС-ЦОВ и переходящим на альтернативные центры, будем называть заявки первого потока первичными и заявки второго потока избыточными.

Предположим, что на вход каждого центра поступает поток первичных вызовов, который подчиняется закону Пуассона. Такое предположение соответствует общей традиции, принятой в теории массового обслуживания для описания потоков первичных вызовов [63,79].

Время обслуживания вызовов избыточного и первичного потоков - случайные величины. Процесс поступления этих случайных величин являются Марковским. Функция времени обслуживания имеет экспоненциальное распределение. Если ЦОВ-ЧС отреагировал на начало ЧС, то начинается направление избыточных вызовов на выход ЦОВ-ЧС. Эта операция повторяется в случайные моменты времени, похожа на операцию просеивания потоков, поэтому можно сказать, что поток избыточного трафика является просеянным

Интервал времени T между соседними вызовами потока просеивания представляет собой сумму (k) независимых случайных величин. Каждая из этих случайных величин распределяются по экспоненциальному закону.

С помощью еще одной группы параметров математической модели определяются особенности обслуживания вызовов. Предположим, что с некоторой определенной

вероятностью обслуживания вызов будет обслуживаться в своем центре. При росте этой вероятности до определенного значения, вызов передается на другие центры для обслуживания.

В рассматриваемой системе взаимопомощи предполагается, что время обслуживания вызовов первичного и избыточного потоков имеет показательное распределение с параметром обслуживания μ , одинаковым для обслуживания вызовов первичного и избыточного потоков.

Каждый центр обслуживания (обработки) экстренных вызовов ЦОВ с точки зрения теории массового обслуживания может рассматриваться как СМО, имеющий вид $M/M/V/V$. Первая буква M означает, что поступающие потоки являются пуассоновскими. Вторая M означает, что время обслуживания вызовов (занятия каналов) распределено по экспоненциальному закону. Признак V показывает ограниченное число канальных ресурсов (в нашем случае – число операторов). Последний признак V означает, что отказ в обслуживании наступает, если все V каналов (все операторы) в момент поступления вызова заняты, и вызов направляется в систему IVR.

Допустим, что в зоне обслуживания одного из ЦОВ, обозначенного как ЦОВ-ЧС, наступила чрезвычайная ситуация. Образуется поток экстренных вызовов. Предполагается, что возникающий поток подчиняется закону Пуассона и характеризуется интенсивностью $\lambda_{чс}$ [51] (см. рисунок 1.4.).

Обозначим через W число ЦОВ, на которые возможна передача на обслуживание избыточных вызовов из ЦОВ-ЧС. Общее число ЦОВ в системе взаимопомощи равно $(W+1)$. В рассматриваемой модели на вход каждого из ЦОВ системы взаимопомощи поступают три потока вызовов, представляющие собой пуассоновские потоки.

Первый поток – с интенсивностью λ_j , где $j=1,2,3\dots W$, определяющий моменты поступления экстренных вызовов в j -ый ЦОВ системы, инициируемых в зоне ответственности данного j -ого ЦОВ.

Второй поток с интенсивностью $\lambda_{избытj}$ – это часть потока избыточной нагрузки, возникающей на выходе ЦОВ-ЧС из-за нехватки ресурсов и направляемой в j -ый ЦОВ системы взаимопомощи.

Третий поток с интенсивностью $\lambda_{\text{изб}j-1}^*$ избыточной нагрузки от (j-1)-ого ЦОВ (перегрузка, технический отказ) на другой ЦОВ в цепочке маршрутизации.

Избыточная нагрузка может распределяться по всем W ЦОВ в зависимости от числа работающих операторов в каждом ЦОВ системы. На рисунке 2.2. показаны процессы поступления и обслуживания вызовов в центрах обслуживания вызовов (заявок на обслуживание) с учетом возможности передачи избыточных вызовов за другие ЦОВ. Запишем выражение для общей интенсивности избыточного трафика

$$\lambda_{\text{избыт}} = \lambda_{\text{избыт}(1)} + \dots + \lambda_{\text{избыт}(W)}. \quad (2.6)$$

Обозначим величиной $\lambda_{\text{общ}j}$ общую интенсивность нагрузки, поступающую на j-ой ЦОВ и образованную как сумма:

$$\lambda_{\text{общ}j} = \lambda_j + \lambda_{\text{избыт}(j)} + \lambda_{\text{изб}j-1}^*, \quad (2.7)$$

где $\lambda_{\text{избыт}(j)} = \lambda_{\text{избыт}} * k_j$

$j=1, 2, \dots, W$;

k_j - известная вероятность, с которой общая избыточная нагрузка распределяется между ЦОВ. Должно выполняться условие [51]

$$\sum_{j=1}^W k_j = 1,$$

$\lambda_{\text{избыт}}$ - общая интенсивность избыточной нагрузки, направляемой из зоны ЧС в систему взаимопомощи;

$\lambda_{\text{изб}j-1}^*$ - интенсивность избыточной нагрузки, передаваемой от (j-1)-ого ЦОВ (перегрузка, технический отказ) на j-ый ЦОВ в цепочке маршрутизации.

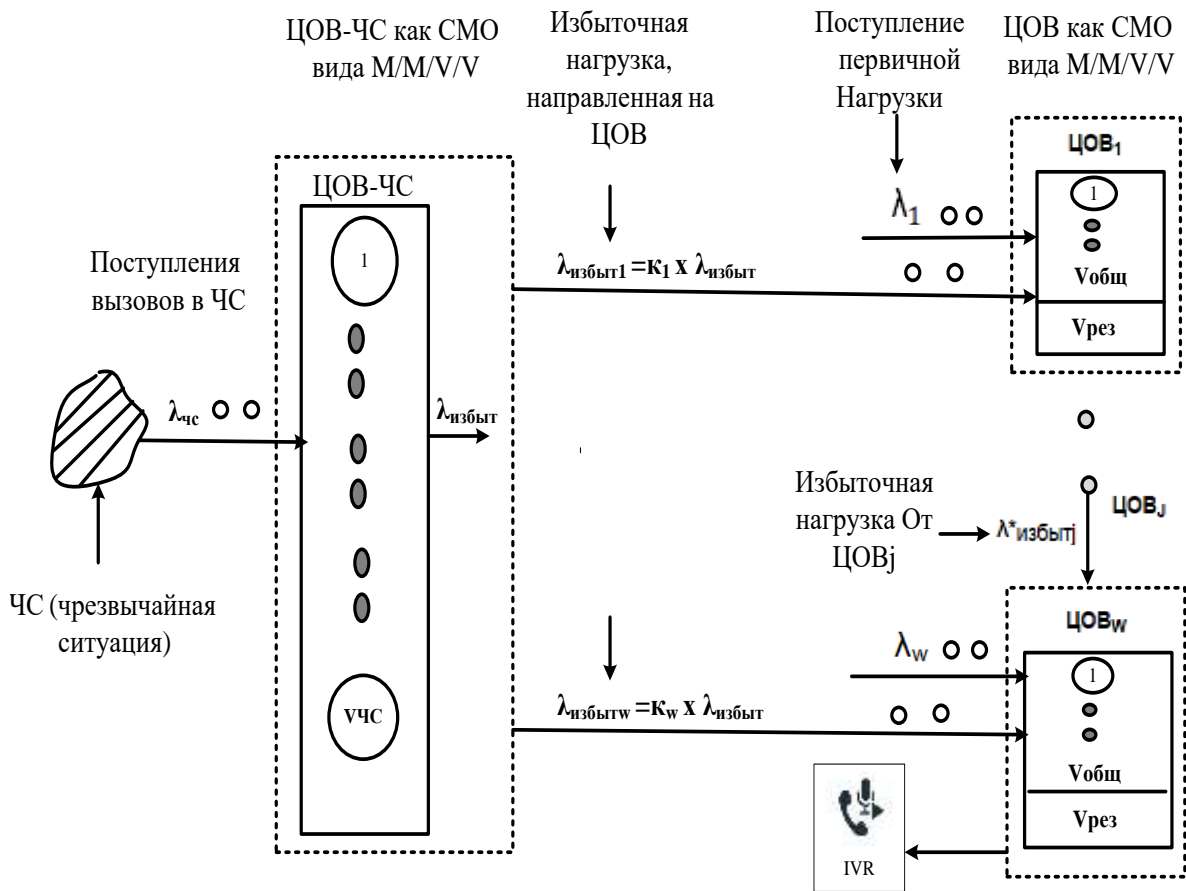


Рисунок 2.2. Математическая модель функционирования системы экстренных служб

2.2.2. Математическая модель функционирования центра обслуживания экстренных вызовов, учитывающая наличие оперативного резерва

Особенностью системы взаимопомощи на рисунке 2.2. является то, что она предусматривает возможность выделения в каждом ЦОВ некоторой группы операторов, образующей оперативный резерв, в общем случае недоступный для трафика ЧС из другой зоны обслуживания.

Используя метод декомпозиции, исследуем влияние оперативного резервирования на функционирование ЦОВ системы при обслуживании трафика экстренных вызовов.

Диаграмма переходов случайного процесса, описывающего динамику изменения состояний модели с резервированием ресурса рабочих мест операторов в каждом из ЦОВ представлена на рисунке 2.3. Аналогичная модель была предложена Степановым С.Н. для описания функционирования систем мобильной связи с учетом эстафетной передачи вызовов («handover») [79].

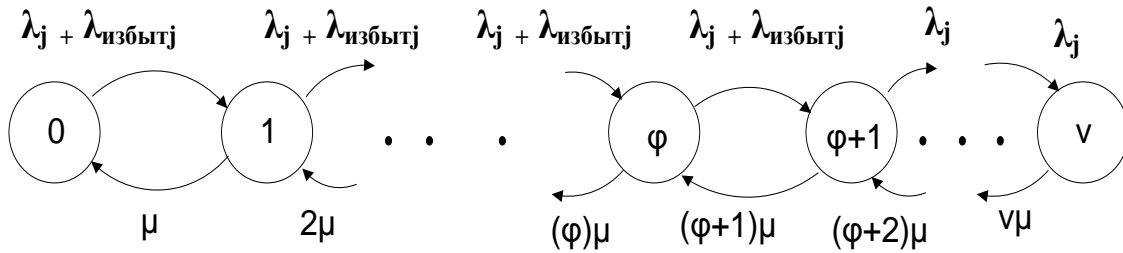


Рисунок 2.3. Диаграмма переходов случайного процесса, описывающего динамику изменения состояний модели с резервированием

Число каналов, общих для двух видов трафика (избыточного из зоны ЧС и трафика данной зоны обслуживания), в каждом j -ом ЦОВ, определяется с помощью первой формулы Эрланга как

$$E(V_j, \lambda_{j\text{общ}}) = \frac{\frac{(\lambda_{j\text{общ}})^{V_j}}{V_j!}}{\sum_{k=0}^{V_j} \frac{(\lambda_{j\text{общ}})^k}{k!}} \quad (2.8)$$

Предлагаемой вариант построения модели предусматривает возможность использования части ресурсов для обслуживания вызовов, поступивших от ЦОВ-ЧС. Обозначим:

величиной φ порог резервирования каналов трафика, используемый для обслуживания вызовов от ЦОВ-ЧС;

величиной $V_{\text{рез}}$ - число резервируемых каналов в j -ом ЦОВ;

величиной V_j - общее число каналов в j -ом ЦОВ.

Вызовы, поступающие на обслуживание в зоне своего центра с интенсивностью λ_j , будут обслужены, если число занятых каналов не больше величин φ . То есть число занятых каналов принимает значения $V=0,1,\dots, \varphi$. Вызовы от ЦОВ-ЧС обслуживаются любым свободным каналом $0,1,\dots, V_j$.

Для определения числа резервируемых каналов используем соотношение

$V_{рез} = V_j - \varphi - 1$, где $\varphi = 0, 1, \dots, (V_j - 1)$.

Если $\varphi = 0$, то $V_{рез} = V_j - 1$, а при $\varphi = (V_j - 1)$, имеет место $V_{рез} = 0$.

Для упрощения модели обозначим, $\lambda_{избыт(j)} = \lambda_{избыт} * k_j$.

Система уравнения равновесия, описывающая модель и связывающая ненормированные вероятности имеет вид

$$\begin{aligned} P(0)(\lambda_j + \lambda_{избыт(j)}) &= P(1)\mu, & i=0; \\ P(i)(\lambda_j + \lambda_{избыт(j)} + i\mu) &= P(i-1)(\lambda_j + \lambda_{избыт(j)}) + P(i+1)(i+1)\mu, & i=1,2,\dots,\varphi; \\ P(i)(\lambda_j + i\mu) &= P(i-1)(\lambda_j + \lambda_{избыт(j)}) + P(i+1)(i+1)\mu, & i=\varphi+1; \\ P(i)(\lambda_j + i\mu) &= P(i-1)\lambda_j + P(i+1)(i+1)\mu, & i=\varphi+2, \varphi+3, \dots, V-1; \\ P(V)V\mu &= P(V-1)\lambda_j. \end{aligned} \quad (2.9)$$

Система уравнений имеет рекурсивные соотношения, которые связывают значения $P(i)$ между собой

$$\begin{aligned} P(i)(\lambda_j + \lambda_{избыт(j)}) &= P(i+1)(i+1)\mu, & i=0,1,\dots,\varphi; \\ P(i)(\lambda_j) &= P(i+1)(i+1)\mu, & i=\varphi+1, \varphi+2, \dots, V-1. \\ P(V)V\mu &= P(V-1)\lambda_j. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Система уравнений (2.9) имеет единственное решение и может быть решена с помощью методов линейной алгебры. Используем для решения метод итерации. Предполагается, что время обслуживания вызовов потока ЧС имеет показательное распределение с параметром μ . Также допустим, что время обслуживания вызовов в j -ом ЦОВ имеет экспоненциальное распределение с параметром μ . Исходя из основного свойства экспоненциального распределения – для любого поступающего вызова на j -ый ЦОВ независимо от того, что поступал ли он в зоне обслуживания данного ЦОВ или является перешедшим на обслуживание в результате ЧС, остаточное время обслуживания будет иметь экспоненциальное распределение с тем же параметром μ .

Обозначим через $P(i)^r$, $i=0,1,\dots,V$ -приближение номер r к решению $P(i)$. Значение приближения номер r можно находить с помощью метода итерации при выполнении следующих итерационных шагов.

Шаг 1 - задаем начальное приближение для всех

$$P(0)^{(0)} = P(1)^{(0)} = \dots = P(v)^{(0)} = 1.$$

Шаг 2. Вычисляем приближение номер $r+1$, после проведения вычисления приближения r и получения его результат.

Шаг 3. Используем для расчета рекуррентные формулы такого вида:

$$P(i)^{(r+1)} = \frac{P(i+1)^{(r)}(i+1)\mu I(0 \leq i \leq V-1) + P(i-1)^{(r)}\lambda_j I(i=V)}{(\lambda_j + \lambda_{избыт(j)})I(0 \leq i \leq \varphi)I + (\lambda_j)I(\varphi < i \leq V-1) + (i\mu)I(i=V)}, \quad i=0,1,\dots, V.$$

Шаг 4. Определяем критерий окончания итерационного цикла.

Выбираем достаточно малую величину порядка $\sigma = 10^{(-8)} - 10^{(-10)}$, и проверяем выполнения соотношение

$$\frac{\sum_{i=0}^V |P(i)^{(r+1)} - P(i)^{(r)}|}{\sum_{i=0}^V P(i)^{(r+1)}} \leq \sigma.$$

Шаг 5. Определяем оценку стационарных вероятностей системы. Значения вероятности $P(i)^{(r)}$ являются последними, при которых выполняется шаг 4.

$$p(i) = \frac{P(i)^{(r+1)}}{\sum_{i=0}^V P(i)^{(r+1)}}.$$

Отказы в обслуживании вызовов (в нашем случае – направление вызова в систему IVR), поступивших из зоны ответственности j -ого ЦОВ, наступают в j -ом ЦОВ только в случае занятости всех доступных каналов трафика, которые представляют собой сумму основных каналов и каналов оперативного резерва, то есть $P_{ivrj} = p(v)$. А вероятность отказа вызовов, поступивших из зоны ЧС, равна $P_{ivrj}^{чс} = \sum_{i=\varphi+1}^V p(i)$.

Для решения задачи оценки числа резервируемых каналов в каждом из ЦОВ при фиксированном значении потерь $P_{допу-цов}$ (допустимая вероятность потерь для вызовов, поступивших из зоны ответственности j -ого ЦОВ) и $P_{допу-избыт}$ (допустимая вероятность потерь для вызовов, поступивших из зоны ЧС) сделаем следующие шаги.

Шаг 1. Объединяем поступающие потоки заявки в ЦОВ в один общий поток интенсивность, которого обозначим через $A = A_j + A_{избыт(j)}$, где $A_j = \lambda_j/\mu$ и $A_{избыт(j)} = \lambda_{избыт(j)}/\mu$

Шаг 2. Используя рекурсивное представление формулы Эрланга, определим число каналов V_0 , при которых выполняется условие

$$E(V_0, A) < P_{допу-цов}.$$

Расчет числа каналов V_0 для каждого ЦОВ производится так:

зададим начальные условия: $V_0=0$, $E(0,1)=1$;

создаем цикл вычисления числа каналов при условии что $E(V_0, A) < P_{\text{допу-цов}}$;

производим расчет по рекурсивной формуле:

$$E(V_0, A) = \frac{A * E(V_0 - 1, A)}{V_0 + A * E(V_0 - 1, A)}.$$

Шаг 3. Используя рекурсию системы (2.9) для каждого $V = V_0 + 1$ в каждом центре находим значение $V_{\text{рез}}$ для каждого ЦОВ, при котором выполняется условие $P_{\text{отк-избыт}} < P_{\text{допу-избыт}}$. В случае невозможности нахождения значения $V_{\text{рез}}$ при таком числе каналов, добавляем единицу к общему числу V , и повторяем данный шаг еще раз.

Шаг 4. Для каждого V и $V_{\text{рез}}$ проверяется выполнение условий

$$P_{\text{иском-цов}}(V, V_{\text{рез}}) < P_{\text{допу-цов}} \quad \text{и} \quad P_{\text{иском-избыт}}(V, V_{\text{рез}}) < P_{\text{допу-избыт}}.$$

Если такие соотношения выполняются, то значения V и $V_{\text{рез}}$ являются требуемыми значениями. А если не выполняются, то цикл переходит к второму шагу заново и так далее до выполнения соотношения и, следовательно, получения искомого значения.

Шаг 5. Определяются значения $V_{\text{рез}}$ для каждого ЦОВ.

Целью исследования является определение величины оперативного резерва для каждого из ЦОВ системы.

В таблице 2.1. и на рисунке 2.4. представлены результаты расчета, выполненные с привлечением программы, разработанной для системы взаимопомощи и приведенной в Приложении 3.

Представленные зависимости получены для j – ого ЦОВ экстренных служб емкостью $V_j = 20$ операторов при фиксированных значениях интенсивности трафика экстренных служб в рассматриваемой j – ой зоне обслуживания (в данном случае $A_j = 10$ Эрл). Интенсивность избыточной нагрузки при расчетах устанавливалась в диапазоне $A_{\text{избыт}(j)} = 3, \dots, 8$ Эрл. Проведенные расчеты показали, что увеличение оперативного резерва рабочих мест $V_{\text{рез}}$ уменьшает возможности обслуживания избыточного трафика из зоны ЧС, а именно растет вероятность направления вызовов из зоны ЧС на систему IVR $P_{\text{ivrjчс}}$. При этом величина вероятности направления на IVR вызовов из j -ой зоны обслуживания P_{ivrj} , может сохраняться на достаточно низком уровне.

Таблица 2.1. Результаты расчета вероятности направления на IVR вызовов из района ЧС P_{ivrj} час, и вероятности направления на IVR вызовов в j -ой зоне обслуживания P_{ivrj} от величины оперативного резерва $V_{jрез}$

Исходные данные: $V_j = 20$, $A_j = 10$ Эрл		
$A_{избыт(j)} = 3$ Эрл		
$V_{jрез}$	P_{ivrj} час	P_{ivrj}
0	0,018109	0,018109
1	0,041967	0,013989
2	0,073889	0,010866
3	0,115988	0,008503
4	0,169828	0,006721
5	0,236077	0,005381
6	0,3142299	0,004377
$A_{избыт(j)} = 5$ Эрл		
0	0,045593	0,045593
1	0,092593	0,030864
2	0,144375	0,021231
3	0,202827	0,014870
4	0,268654	0,010632
5	0,341564	0,007785
$A_{избыт(j)} = 8$ Эрл		
0	0,109212	0,109212
1	0,191307	0,063769
2	0,263291	0,038719
3	0,332291	0,024361
4	0,401238	0,015879
5	0,471038	0,010736

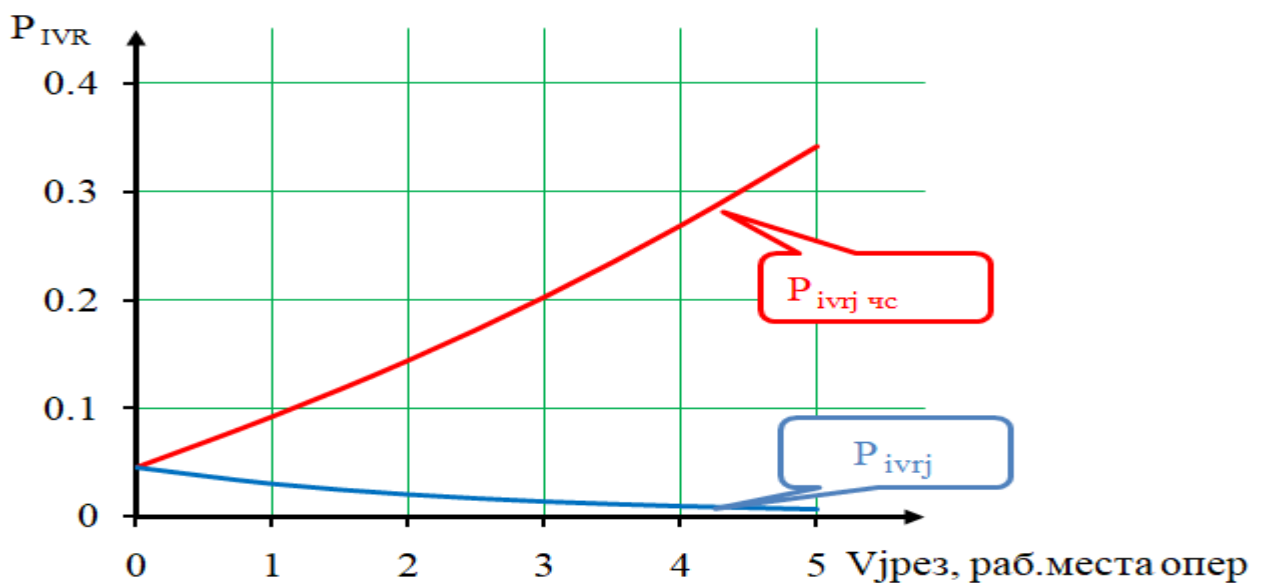


Рисунок 2.4. Зависимости вероятностей P_{ivrj} час и P_{ivrj} от величины оперативного резерва $V_{jрез}$

2.3. Вариант оценки дополнительного ресурса каналов БПЛА в системе TETRA

На рисунке 2.5. представлен перспективный вариант использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в качестве дополнительного ресурса в системах TETRA. Кластер состоит из четырех ячейки сети стандарта TETRA. При занятости всех радиоканалов в конкретной ячейке кластера может быть использован дополнительный ресурс каналов БПЛА [46,108].

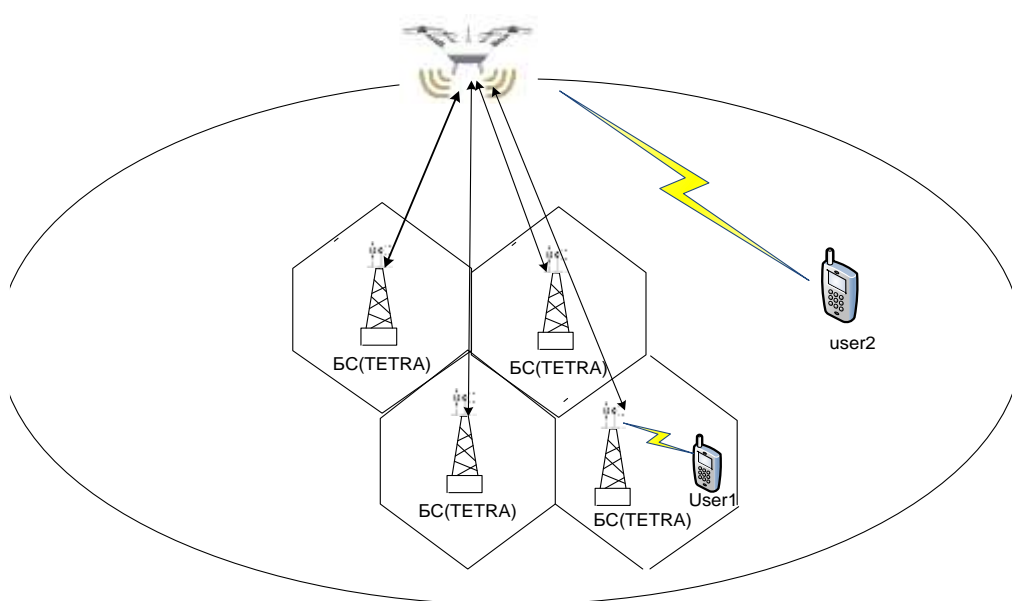


Рисунок 2.5. Использование БПЛА как средства защиты от перегрузок

для описания функционирования радиointерфейса БПЛА использовать систему обслуживания вида $G/M/V$ $V_{\text{доп бпла}}$. На вход системы поступают потоки вызовов, оказавшиеся избыточными для ячеек системы TETRA (см. рис.2.6.). Знак в первой позиции означает, что входящий поток имеет произвольное распределение. Экспоненциальный характер распределения времени обслуживания вызовов отображает знак M во второй позиции. Величина $V_{\text{доп бпла}}$ характеризует количество каналов связи в этом направлении. каждая ячейка системы TETRA - это совокупность нескольких полностью доступных пучков радиоканалов, соответствующих количеству пользователей, распределенных в этой ячейке, и имеет вид вида $M/M/V$. Сумма каналов во всех ячейках V и каналов БПЛА $V_{\text{доп бпла}}$ определяет пропускную способность сети.

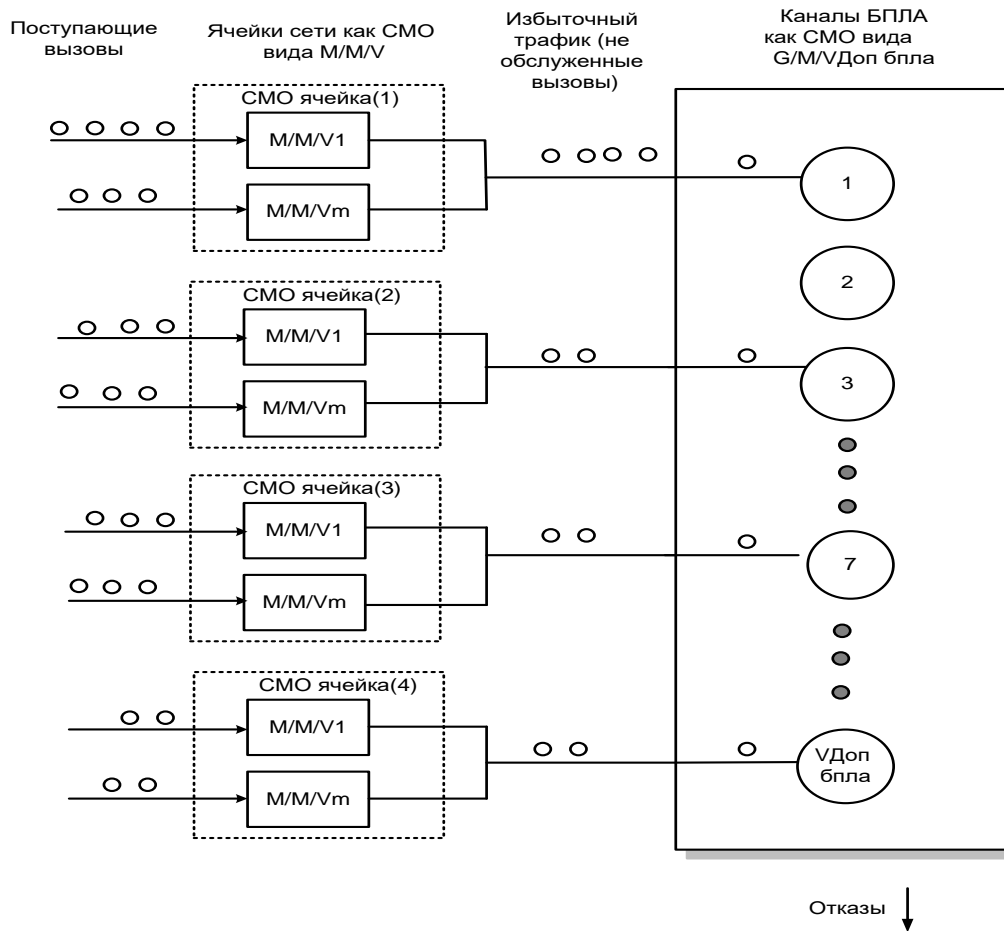


Рисунок 2.6. Математическая модель функционирования системы связи с БПЛА, который объединяет ресурсы ячеек кластера стандарта TETRA

Предполагается, что точка присутствия БПЛА может получить в системах радиосвязи, и, в том числе, в TETRA статус направления связи. На него будет направляться избыточный трафик (вызовы) от ячеек, имеющих непосредственную связь с активными абонентами (абоненты, которые находятся на связи).

Используем общую схему метода RDA, представленную на рисунке 2.1. Каждая ячейка рассматривается как система с полностью доступным пучком линий, состоящим из N_i радиоканалов. Предположим, на пучок каналов в радиointерфейсе каждой ячейки поступает поток заявок с интенсивностью A_i , $i = 1, \dots, n$. Ресурс каналов радиointерфейса БПЛА рассматривается как полностью доступный пучок, обслуживающий избыточный трафик от n ячеек.

Число каналов ($V_{\text{доп бпла}}$) в направлении к БПЛА с учетом девиации нагрузки определим по методу RDA.

Число каналов $V_{\text{доп бпла}}$ определяется при условии, чтобы вероятность потерь была не более допустимой вероятности, то есть выполняется неравенство $P_{\text{д.потерь}} > P_{\text{пот.доступ}}$.

Для определения искомого числа эквивалентных линий в направлении БПЛА $V_{\text{доп бпла}}$ используем уравнение (2.5) преобразуя его относительно величины $V_{\text{допус}}$, то есть относительно допустимой вероятности потерь по вызовам в направлении к БПЛА

$$(V_{\text{Допус}} * R) / A_{\text{ЭКВА}} = (E_{N_{\text{ЭКВА}}} + V_{\text{доп бпла}} (A_{\text{ЭКВА}})). \quad (2.11)$$

Для оценки промежуточной расчетной величины

$$W = (V_{\text{Допус}} * R) / A_{\text{ЭКВА}} \text{ принималось исходное значение } V_{\text{Допус}} = 0,001.$$

2.4. Разработка математической модели функционирования цифровых систем профессиональной радиотелефонной связи

Реализация передачи информации в дуплексном режиме или передача мультимедийного трафика в системах стандарта TETRA требует объединения нескольких информационных каналов в радиоинтерфейсе базовой станции.

Особенностью цифровых транкинговых систем является то, что часть трафика может быть направлена на сети общего пользования, в том числе - на городские телефонные сети. Должна быть учтена также возможность перехода к дуплексной (двухсторонней) связи, в отличие от аналоговых транкинговых систем связи, которые предлагают преимущественное использование полудуплекса. Дуплексный режим связи рекомендован как актуальный вариант для обеспечения связи между транкинговыми системами и городскими телефонными сетями. Дополнительным фактором, который надо учитывать, является влияние мультимедийных услуг [101,49,82,83].

В качестве метода доступа в системе TETRA используется TDMA, благодаря этому методу один канал используется для установления нескольких соединений. Радиоканал связи разделяется на несколько временных интервалов, обозначаемых как TS (timeslot), и являющихся основным ресурсом передачи информации. В стандарте TETRA под радиоканал отводится полоса в 25 КГц, которая делится на 4 временных слотов. Каждая MS в процессе установления соединения занимает один TS. Тайм-слот

является единицей ресурса (то есть один слот - это один канальный ресурс). Приемопередатчик называется основным модулем канального ресурса. Общий ресурс каналов определяется путем умножения числа радиоканалов на коэффициент временного уплотнения системы TETRA. Он является ограниченным.

При проектировании систем радиосвязи стандарта TETRA, предусматриваются разные варианты обслуживания вызовов. Первым вариантом является режим полудуплексной связи, обеспечивающий связь между пользователями путем поочередного использования одного канала. Этот режим популярен, благодаря экономичному использованию канального ресурса.

Появление цифровых транкинговых систем радиосвязи привело к возможности перехода на режим дуплекса, в котором используются два канала для обеспечения связи. В математической модели должно быть учтено влияние третьего варианта обслуживания вызовов, заключающегося во внедрении мультимедиа. Для реализации услуг мультимедиа предусматривается выделение нескольких каналов трафика. С одной стороны – перспективно предлагать передачу трафика мультимедиа в системах TETRA (например, при передаче информации от БПЛА), но объединение нескольких каналов для такой передачи уменьшает для пользователей число доступных каналов. Повышается вероятность отказов в обслуживании вызовов. Степень влияния мультимедиа предстоит оценить.

Актуальной научной задачей является разработка математической модели, учитывающей использование трех вариантов обслуживания вызовов в сетях радиотелефонной связи стандарта TETRA. Предлагается систему TETRA рассматривать как СМО с групповым поступлением заявок, на вход которой поступают потоки вызовов, которые требуют занятия группы каналов для их обслуживания. Исследование и описание системы будем осуществлять с помощью методов теории телетрафика.

Математическая модель, позволяющая описать функционирование СМО при групповом поступлении заявок пуассоновского потока случайного состава, была описана и использована в работах [52,79].

Определим две группы параметров системы - характеристики, описывающие функционирование сети TETRA как радиосистемы, а также вероятностные параметры и характеристики.

К первой подгруппе относятся параметры и характеристики, связанные с особенностями распространения радиоволн, ко второй подгруппе относятся случайные процессы, отражающие особенности поступления и обслуживания вызовов. Перечислим параметры и факторы, влияющие на поступление и обслуживание вызовов в стандарте TETRA - число абонентов в сети, вид обслуживания, запрашиваемый пользователем (в модели - это полудуплекс, дуплекс, мультимедиа), параметры сети. Предполагается, что поток поступающих вызовов является пуассоновским.

Для обеспечения связи в режиме полудуплекса и дуплекса требуются, соответственно, один и два информационных канала в радиointерфейсе. Для реализации передачи трафика мультимедиа выделяется совокупность каналов.

Функция распределения продолжительности обслуживания вызовов носит экспоненциальный характер. Такое предположение часто применяется в теории массового обслуживания и соответствует сложным условиям систем. В качестве базовой дисциплины, используемой в рассматриваемой модели, может использоваться дисциплина обслуживания с отказами (когда в силу нехватки свободных канальных ресурсов сети, обслуживание новых требований невозможно).

При оценке качества обслуживания в системах TETRA рассматриваются два основных показателя – доступность, определяющаяся на уровне радиointерфейса базовой станции, и вероятность отказа (блокировки) из-за нехватки совокупности радиоканалов трафика (блокировка приводит к тому, что пользователи сети не могут занять нужные им каналы для реализации связи).

При анализе работы системы TETRA и расчете характеристик надо учитывать потребность в предоставлении информационных радиоканалов для реализации мультимедиа и степень проникновения таких услуг.

Предположим, что радиointерфейс TETRA является V - канальной полностью доступной системой массового обслуживания, на вход которой поступает групповой поток заявок на обслуживание. Поступление вызовов отдельных групп подчиняются закону Пуассона с интенсивностью λ (соответствует общей традиции, принятой в теории массового обслуживания, описывающей потоки поступающих вызовов) [79]. Поступление в СМО потока групповых заявок является случайным, число заявок в группе случайное. С некоторой известной вероятностью F_s в момент времени t может поступать групповая заявка, которая содержит S заявок на

обслуживание, где $S = 1, 2, \dots, V$. Обозначим величиной F_1 вероятность поступления заявки на полудуплексную связь, когда информационный канал используется поочередно.

Пусть с вероятностью F_2, F_8, F_{16}, F_{24} поступают заявки дуплекса и мультимедиа (на занятие 8, 16, 24 каналов трафика, соответственно).

При этом выполняются условия, что количество заявок в группе не больше, чем число каналов трафика в СМО. Если последнее условие не выполняется, то система приходит в режим отказа обслуживания

$$V \geq s \geq 1, F_s \geq 0, \sum_{s=1}^V F_s = 1.$$

Будем обозначать через $S=0, 1, 2, \dots, V$ множество состояний переходов в системе. Переход из одного состояния в другое описывается в рассматриваемой модели случайным образом как $r(t)=i(t)$, где $i(t)$ определяется как число занятых каналов в момент времени t .

Поскольку все случайные величины обладают экспоненциальным распределением и друг от друга не зависимы, то можно считать процесс $r(t)$ марковским процессом.

Предложим, что функция распределения обслуживания заявок в системы подчиняется экспоненциальному закону с параметром обслуживания μ .

Вероятности состояния системы в стационарном режиме обозначим через p_i .

На рисунке 2.7 представлена математическая модель функционирования радиointерфейса БС сети TETRA.

Система уравнений статистического равновесия, описывающая состояния подобной системы, описана в работах С.Н.Степанова, О.А.Новикова, С.И.Петухова [52, 79]. Она имеет вид:

$$P'_0(t) = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t),$$

$$P'_i(t) = -(\lambda + i\mu)P_i(t) + \lambda \sum_{s=1}^i F_s * P_{i-s}(t) + (i+1)\mu P_{i+1}(t), \quad i < V, \quad (2.12)$$

$$P'_V(t) = -V\mu P_V(t) + \lambda \sum_{k=1}^V P_{V-k}(t) \sum_{s=k}^i F_s,$$

где $P_0(t)$, $P_i(t)$ и $P_V(t)$ – вероятности состояний системы, когда заняты один, i или V каналов соответственно;

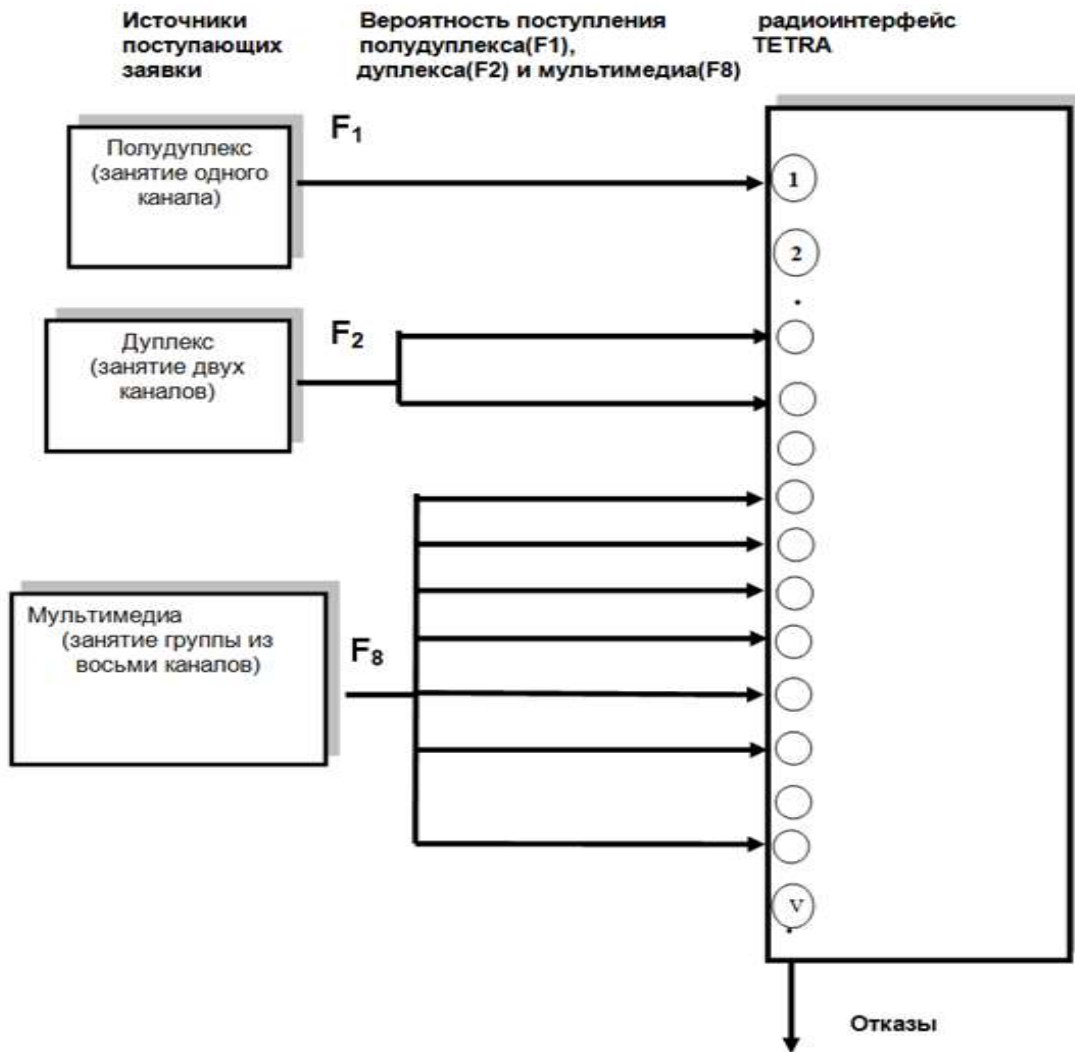


Рисунок 2.9. Математическая модель функционирования радиointерфейса базовой станции сети TETRA (полудуплекс, дуплекс, мультимедиа)

В стационарном режиме, то есть при $t \rightarrow \infty$, система уравнений равновесия будет иметь решение в виде системы алгебраических уравнений

$$p_1 = \frac{\lambda}{\mu} * p_0 ;$$

$$p_{i+1} = \frac{\lambda + i\mu}{(i+1)\mu} * p_i - \frac{\lambda}{(i+1)\mu} \sum_{s=1}^i F_s * P_{i-s} \quad \text{при } i < v, \quad (2.13)$$

.....

$$p_v = \frac{\lambda}{v\mu} \sum_{k=1}^v P_{v-k} \sum_{s=k}^i F_s ,$$

где i - число занятых каналов в системы, $i=0,1 \dots v$;

F_s - вероятность поступления в группе s заявок;

λ, μ – параметры поступления и обслуживания групп вызовов при случайном составе заявок в группе.

Значение вероятности состояния p_0 определяется из нормирующего условия:

$$\sum_{i=1}^V P_i = 1$$

Для вычисления значения вероятности отказа системы сделаем допущения:

рассматривается среднее число заявок в каждый момент времени в установившемся режиме, оно определяется как сумма произведения числа канального ресурса на вероятность пребывания заявок в этом канале

$$v_m = \sum_{i=1}^V i * p_i;$$

за единицу времени обслуживается в среднем заявок

$$S_{\text{ОБС}} = \mu * \sum_{k=1}^V i * p_k .$$

Среднее число поступающих заявок в систему за единицу времени определяется как:

$$S_{\text{пост}} = \lambda * \sum_{s=1}^{\infty} s * F_s .$$

Общая вероятность отказов обслуживании $P_{\text{отк}}$ определяется из выражения:

$$p_{\text{отк}} = 1 - \left(\frac{S_{\text{ОБС}}}{S_{\text{пост}}} \right) = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^V i * p_i}{\alpha_{\text{груп}} \sum_{s=1}^{\infty} s * F_s} \right) \quad (2.14)$$

Для упрощения системы (2.11) обозначим величиной $\alpha_{\text{груп}} = \lambda/\mu$ - интенсивность нагрузки, поступающей на пучок каналов V .

Тогда получим

$$p_1 = \alpha_{\text{груп}} * p_0 ;$$

$$p_{i+1} = \left(\frac{\alpha_{\text{груп}} + i}{i+1} \right) * p_i - \left(\frac{\alpha_{\text{груп}}}{i+1} \right) \sum_{s=1}^i F_s * p_{i-s}, \quad i < V; \quad (2.15)$$

.....

$$p_V = \frac{\alpha_{\text{груп}}}{V} \sum_{k=1}^V P_{V-k} \sum_{s=k}^i F_s .$$

нормирующее условие для определения P_0 запишем как $\sum_{i=0}^V p_i = 1$.

Рассмотрим характеристики, соответствующие предлагаемой модели.

В соответствии принятой моделью будем учитывать, что существуют три потока вызовов с разными интенсивностями:

интенсивность полудуплекса $\lambda_{\text{пол-дуп}}$;

интенсивность дуплекса $\lambda_{\text{дуп}}$;

интенсивность мультимедиа $\lambda_{\text{мульт}}$.

Плотность группового поступления λ может быть вычислена как сумма интенсивности всех потоков групповых заявок и равна:

$$\lambda = \lambda_{\text{пол-дуп}} + \lambda_{\text{дуп}} + \lambda_{\text{мульт}}.$$

Величина $F_{\text{пол-дуп}}$ (некоторая вероятность, с которой активный абонент требует один канал для обслуживания) определяется как $F_{\text{пол-дуп}} = \frac{\lambda_{\text{пол-дуп}}}{\lambda}$.

Величина $F_{\text{дуп}}$ (некоторая вероятность, с которой активный абонент требует два канала для обслуживания) определяется как $F_{\text{дуп}} = \frac{\lambda_{\text{дуп}}}{\lambda}$.

Величина $F_{\text{мульт}}$ (некоторая вероятность, с которой активный абонент требует группу каналов для обслуживания) определяется как $F_{\text{мульт}} = \frac{\lambda_{\text{мульт}}}{\lambda}$.

Интенсивность обслуживания вызова полудуплекса составляет

$\mu_{\text{пол-дуп}} = 1/t_{\text{пол-дуп}}$, где $t_{\text{пол-дуп}}$ - продолжительность занятия одного канала для обслуживания вызова.

Интенсивность обслуживания вызова дуплекса составляет

$\mu_{\text{дуп}} = \frac{1}{t_{\text{дуп}}}$, где $t_{\text{дуп}}$ - продолжительность занятия двух каналов для обслуживания вызова полудуплекса. Аналогично для мультимедиа $\mu_{\text{мульт}} = 1/t_{\text{мульт}}$.

В рассматриваемой модели используется усредненное значение

$$\mu_{\text{усред}} = 1/(F_{\text{пол-дуп}} * t_{\text{пол-дуп}} + F_{\text{дуп}} * t_{\text{дуп}} + F_{\text{мульт}} * t_{\text{мульт}}). \quad (2.16)$$

Вероятность отказа в полудуплексном режиме соответствует занятости всех радиоканалов

$$P_{\text{отк(пол-дупл)}} = p_v = \frac{\lambda}{v\mu} \sum_{k=1}^v P_{v-k} \sum_{s=k}^i F_s, \quad (2.17)$$

Величиной $p_{\text{отк(дупл)}}$ обозначим вероятность отказа вызова в дуплексном режиме, она равна:

$$P_{\text{отк(дупл)}} = p_v + p_{v-1}. \quad (2.18)$$

Обозначим величиной r ($r > 1$) число каналов трафика для обслуживания вызовов мультимедиа (для нашей случая предположим $r = 4, 8, 16$).

$$P_{\text{отк(мульт)}} r > 1 = \sum_{j=0}^r P_{v-j}. \quad (2.19)$$

Среднее значение вероятности отказа в системы вычисляется по формуле:

$$P_{\text{отк(сред)}} = F_1 * P_{\text{отк(пол-дупл)}} + F_2 * P_{\text{отк(дупл)}} + F_7 * P_{\text{отк(мульти)}} \quad (2.20)$$

Формула $P_{\text{отк(сред)}}$ эквивалентна формуле $P_{\text{отк}}$.

Рассмотрим вариант использования радиointерфейса с выделением одного, двух или восьми каналов трафика. Справедливы соотношения

$$F_1 > F_2 > F_8, F_1 + F_2 + F_8 = 1 \text{ и } F_i = 0 \text{ при условии } i \neq 1, i \neq 2, i \neq 8.$$

Для рассматриваемой ситуации система уравнений равновесия (2.13) приобретает следующий вид:

$$\begin{aligned} P_1 &= \alpha_{\text{груп}} P_0 ; \\ P_2 &= \left\{ \frac{(\alpha_{\text{груп}} + 1)}{2} \right\} P_1 - \left\{ \frac{\alpha_{\text{груп}}}{i+1} [F_1 P_0] \right\}, \\ P_3 &= \left\{ \frac{(\alpha_{\text{груп}} + 2)}{3} \right\} * P_2 - \left\{ \frac{\alpha_{\text{груп}}}{3} [F_1 P_1 + F_2 P_0] \right\}, \\ P_{i+1} &= \left\{ \frac{(\alpha_{\text{груп}} + i)}{i+1} \right\} * P_i - \left\{ \frac{\alpha_{\text{груп}}}{i+1} [F_1 P_{i-1} + F_2 P_{i-2}] \right\}, \quad 3 \leq i \leq 7, \\ P_9 &= \left\{ \frac{(\alpha_{\text{груп}} + i)}{i+1} \right\} * P_i - \left\{ \frac{\alpha_{\text{груп}}}{i+1} [F_1 P_7 + F_2 P_6 + F_8 P_0] \right\}, \\ P_{i+1} &= \left\{ \frac{(\alpha_{\text{груп}} + i)}{i+1} \right\} * P_i - \left\{ \frac{\alpha_{\text{груп}}}{i+1} [F_1 P_{i-1} + F_2 P_{i-2} + F_8 P_{i-8}] \right\}, \quad 8 \leq i < V, \\ &\dots\dots\dots \\ P_V &= \left(\frac{\alpha_{\text{груп}}}{V} \right) \{ P_{V-1} + F_2 [P_{V-2}] + F_8 \sum_{s=2}^8 P_s \}. \end{aligned} \quad (2.21)$$

Расчет вероятностей отказав обслуживании вызова в полудуплексном и дуплексном режимах производился по формулам (2.15, 2.16).

Для оценки вероятности отказа мультимедийного вызова, формула (2.19) приобретает такой вид:

$$P_{\text{отк(мульти)}}_{r=8} = \sum_{j=0}^8 P_{V-j} . \quad (2.22)$$

Общая вероятность отказа в обслуживании, определяется по формуле (2.14) после ряда преобразования:

$$P_{\text{отк}} = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^V i * P_i}{\alpha_{\text{груп}} (F_1 + 2F_2 + 8F_8)} \right) . \quad (2.23)$$

Частным случаем канальных ресурсов в системе является выделение для каждого режима определенного числа каналов. Выделяется пучок радиоканалов емкостью ($V_{\text{полу-дуп}}$) для обслуживания вызовов потока в режиме полудуплекса, пучок радиоканалов емкостью ($V_{\text{дуп}}$) для обслуживания вызовов потока в режиме дуплекса и

радиоканалов емкостью ($V_{\text{мульти}}$) для обслуживания вызовов потока для передачи мультимедиа. Справедливо равенство

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{полу-дуп}} + V_{\text{дуп}} + V_{\text{мульти}} . \quad (2.24)$$

Для оценки качества обслуживания в пучках дуплекса и мультимедиа используется система уравнений (2.13), а для полудуплекса – программа расчета по первой формуле Эрланга.

Предположим, что имеется общий ресурс радиоканалов трафика с емкостью $V_{\text{общ}}$. Выделяется пучок радиоканалов для обслуживания мультимедиа емкостью $V_{\text{мульти}}$. Справедливо равенство $V = V_{\text{общ}} - V_{\text{мульти}}$, где V – остаток каналов для обслуживания вызовов дуплекса и полудуплекса

При выделении каналов для мультимедиа, вероятность потерь по вызовам для полудуплекса и дуплекса может рассчитываться по формулам (2.17, 2.18).

Для рассматриваемого случая справедливы соотношения

$$F_{\text{пол-дуп}} > F_{\text{дуп}}, F_{\text{пол-дуп}} + F_{\text{дуп}} = 1, F_s = 0 \text{ при условии } s \neq 1, s \neq 2,$$

для упрощения обозначим $F_{\text{пол-дуп}} = F_1$ и $F_{\text{дуп}} = F_2$.

Система уравнений для рассматриваемого случая преобразуется и принимает вид:

$$P_1 = \alpha_{\text{груп}} P_0 ;$$

$$P_2 = \left\{ \frac{(\alpha_{\text{груп}} + 1)}{2} \right\} P_1 - \left\{ \frac{\alpha_{\text{груп}}}{i+1} [F_1 P_0] \right\}; \quad (2.25)$$

$$P_3 = \left\{ \frac{(\alpha_{\text{груп}} + 2)}{3} \right\} * P_2 - \left\{ \frac{\alpha}{i+1} [F_1 P_1 + F_2 P_0] \right\} ;$$

$$P_{i+1} = \left\{ \frac{(\alpha_{\text{груп}} + i)}{i+1} \right\} * P_i - \left\{ \frac{\alpha_{\text{груп}}}{i+1} [F_1 P_{i-1} + F_2 P_{i-2}] \right\}, \quad 3 \leq i < V ;$$

$$\dots \dots \dots$$

$$P_V = \left(\frac{\alpha_{\text{груп}}}{V} \right) \{ P_{V-1} + F_2 P_{V-2} \} .$$

Решение систем (2.15) и (2.21) было получено путем разработки программы. Для системы уравнения (2.21) получены решения системы и вероятности всех состояний системы, по формулам (2.17) и (2.18) вычислялись вероятности отказа в обслуживании для полудуплекса и дуплекса.

Был принят следующий алгоритм расчета.

Шаг 1. Задаем начальное случайное значение для P_0 , относительно этого значения проводится расчет для получения остальных вероятностей в системе, начиная от P_1 и заканчивая P_V .

Шаг 2. Для вычисления значения других вероятностей использовались формулы системы (2.15) или (2.22) в зависимости от решаемой задачи.

Шаг 3. Проводится проверка на выполнение нормирующее условия. Если условие выполняется, то расчет окончен и решение системы получено. Если не выполняется нормирующее условие, то изменяется начальное значение P_0 . Изменение P_0 осуществляется в пределах малой величины. Цикл вычисления повторяется и оканчивается только тогда, когда условия выполняются.

2.5. Выводы

1. Для исследования системы экстренных служб используется метод декомпозиции теории телетрафика, предполагающий разбиение системы на отдельные элементы. Расчет характеристик исследуемой системы осуществляется на основе соответствующих характеристик ее элементов - центров обслуживания вызовов.

2. Метод RDA позволяет оценить характеристики потока избыточного трафика на выходе ЦОВ-ЧС, и сравнивать варианты его распределения между ЦОВ, объединенных в систему экстренных служб.

3. Разработанные математические модели функционирования центров обслуживания вызовов, объединяемых в систему экстренных служб, и написанные программы для решения систем уравнений на ЭВМ, позволили:

дать сравнительную оценку эффективности различных вариантов построения системы экстренных служб;

оценить влияние методов распределения избыточного трафика;

оценить влияние оперативного резерва, выделяемого в центрах обслуживания вызовов, на качество функционирования системы в целом и в зоне ответственности конкретного ЦОВ.

4. Радиоинтерфейс цифровой системы TETRA рассматривается как СМО, на входы которой поступает групповой поток со случайным составом заявок. Разработанная математическая модель позволяет оценить влияние режимов передачи информации (полудуплекс, дуплекс, мультимедиа) на пропускную способность радиоинтерфейса базовой станции.

Раздел 3. Исследование подходов к эффективному использованию ресурсов системы обслуживания экстренных вызовов

Целью дальнейших исследований является выявление наиболее перспективного и эффективного варианта организации обслуживания избыточного трафика, который позволит обеспечить хорошее качество обслуживания вызовов и уменьшить влияние перегрузок в режиме ЧС. Актуальной научной задачей является определение величины оперативного резерва для сохранения достаточно высокого качества обслуживания жителей населенных пунктов вне зоны ЧС.

По результатам обращений граждан необходимо организовать ликвидацию последствий ЧС силами специальных экстренных служб, обеспечивая между ними взаимодействие при помощи средств профессиональной радиотелефонной связи. Перспективно применение абонентских устройств, базовых станций и ретрансляторов (в том числе на базе беспилотных летательных аппаратов) цифрового стандарта TETRA, которые позволяют передавать трафик в режиме полудуплекса, дуплекса, обеспечивая также мультимедийную связь на значительных расстояниях.

Актуальной научной задачей является оценка показателей качества связи в системе связи стандарта TETRA с учетом совокупности факторов, таких как: число доступных каналов радиointерфейса; доля вызовов с разным режимом обслуживания в общем потоке трафика.

3.1. Исследование возможностей оперативного управления трафиком в системе экстренных служб

Перспективный вариант организации взаимопомощи может предусматривать комбинацию методов управления трафиком, описанных в разделе 1. Пример совместного использования методов ORR и COR представлен на рисунке 1.4 стр.22. Рассматриваемый вариант организации взаимопомощи с использованием методов оперативного управления ORR и COR отличается тем, что позволяет регулировать избыточный трафик, направляя его в операторские службы ЦОВ системы с учетом совокупности факторов. А именно, распределитель избыточной нагрузки может

распределять вызовы псевдослучайным образом с учетом емкости ЦОВ, на которые может направляться избыточный трафик. Формирование объединенного ресурса операторов предполагает возможность перенаправления избыточных вызовов от одного ЦОВ к другому по цепочке маршрутизации [103].

В последнем ЦОВ цепочки взаимопомощи предусмотрено направление необслуженных избыточных вызовов на Интерактивное Голосовое Меню (IVR). Голосовые сообщения IVR должны быть разработаны совместно с психологами для снижения панического момента. В частности, возможно получение абонентами рекомендации об использовании номеров прямой связи с такими службами как пожарные, полиция, скорая помощь и служба газа. Это помогает снизить нагрузку на Систему «112», перенося предварительную обработку части трафика на уровень ДДС.

Достоинствами данного варианта являются:

простота реализации, а также возможность существования связей между ЦОВ системы на постоянной основе (не только в режиме ЧС);

возможность предварительной оценки работы системы с учетом емкости операторских систем ЦОВ и предполагаемого роста трафика в режиме ЧС.

Имеются недостатки, вызванные тем, что для повышения эффективности взаимопомощи следует выполнять ряд требований:

поскольку чрезвычайная ситуация возможна в зоне обслуживания любой ЕДДС, должны быть составлены подробные матрицы маршрутизации;

пропускную способность транспортного уровня следует определять с запасом, коррелированным с ожидаемой величиной Ачс и матрицей маршрутизации.

При формировании цепочки маршрутизации необходимо учитывать особенности организации взаимопомощи, а именно – последовательный характер передачи избыточных вызовов между ЦОВ цепочки. Требуется уменьшить количество внутренних пересылок вызовов в системе, а также минимизировать вероятность передачи экстренных вызовов на IVR для уменьшения потока повторных вызовов.

На основе разработанной программы, представленной в Приложении 3, проводился расчет для следующих вариантов:

цепочка взаимопомощи объединяет несколько ЦОВ одинаковой емкости (понятие «емкость» в данном случае характеризует V_j - число операторов в операторской системе конкретного ЦОВ);

формирование цепочки взаимопомощи выполняется в порядке убывания емкости V_j , то есть в начало цепочки включаются ЦОВ большей емкости;

формирование цепочки взаимопомощи выполняется в порядке возрастания емкости V_j , то есть в начало цепочки включаются ЦОВ меньшей емкости.

Для проведения сравнительного анализа был выполнен расчет для варианта, представленного на рисунке 3.1, исключающего пересылку избыточного трафика между ЦОВ системы, а также для варианта, предусматривающего формирование цепочки взаимопомощи между ЦОВ, представленного на рисунке 1.4 стр.22. Предполагалось, что все ЦОВ имеют одинаковую емкость. Результаты расчетов представлены в таблице 3.1.

Сравнивая полученные результаты, можно сделать предварительный вывод – объединение в цепочку взаимопомощи одинаковых по емкости операторских систем ЦОВ не дает положительного эффекта. Например, при избыточном трафике в зоне ЧС $A_{\text{ЧС}} = 60$ Эрл и среднем значении трафика ЧС в зоне обслуживания j -го ЦОВ $A_j = 10$ Эрл получаем в отсутствии цепочки взаимопомощи $P_{\text{ivr}_j} = 0.002171$, и при наличии цепочки взаимопомощи $P_{\text{ivr посл}} = 0.002197$. Аналогично – по остальным рассмотренным значениям.

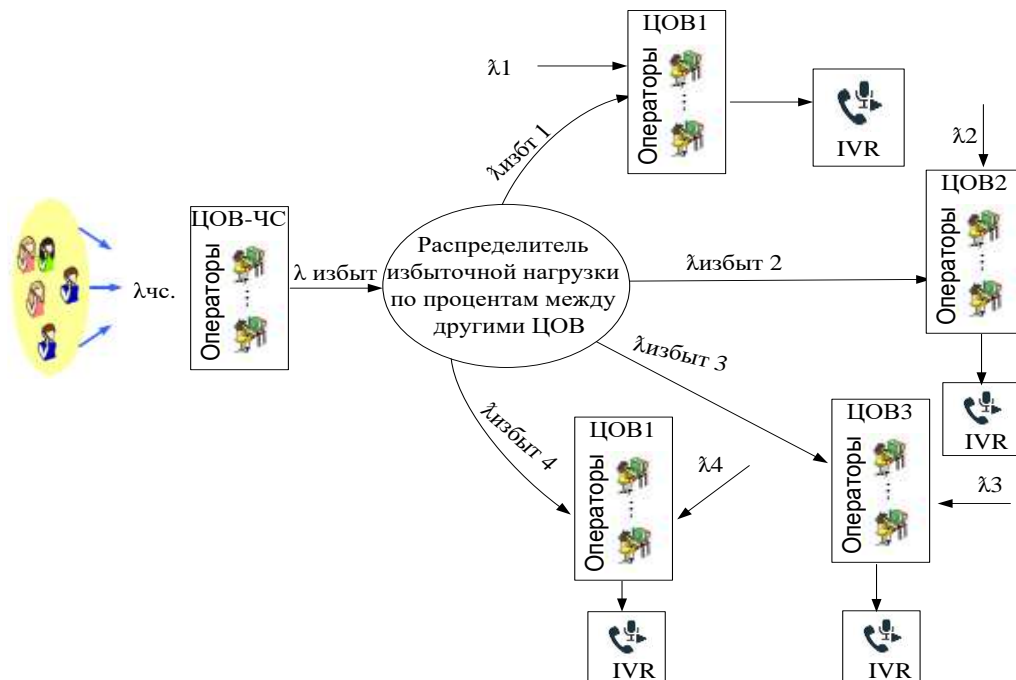


Рисунок 3.1. Вариант организации распределенной системы взаимопомощи для обслуживания экстренных вызовов

Таблица 3.1. Результаты расчета вероятности того, что экстренные вызовы из зоны ЧС будут направлены на систему IVR конкретного ЦОВ P_{ivrj} (вариант отсутствия взаимопомощи) и вероятности того, что экстренные вызовы будут направлены на обслуживание в IVR последнего в цепочке ЦОВ $P_{ivr посл}$. Все ЦОВ системы имеют одинаковую емкость $V_j = 30$, $V_{ЦОВ-ЧС} = 30$, $W = 4$

Отсутствие взаимопомощи				Наличие цепочки взаимопомощи			
$A_j = 10$ Эрл		$A_j = 18$ Эрл		$A_j = 10$ Эрл		$A_j = 18$ Эрл	
А _{чс} , Эрл	P_{ivrj}	А _{чс} , Эрл	P_{ivrj}	А _{чс} , Эрл	$P_{ivr посл}$	А _{чс} , Эрл	$P_{ivr посл}$
50	0.002998	50	0,0325208	50	0.000300	50	0,034452
60	0.002171	60	0,0625965	60	0.002197	60	0,070586
70	0.009227	70	0,1010161	70	0.009686	70	0,122166
80	0.025999	80	0,1437527	80	0.029523	80	0,184581
90	0.054198	90	0,1874600	90	0.068852	90	0,250797
100	0.091576	100	0,2300102	100	0.129663	100	0,314860

Результаты расчетов системы взаимопомощи, объединяющей центры обслуживания экстренных вызовов разной емкости, представлены в таблицах 3.2-3.4. Введены и использованы следующие обозначения [102,103]:

$P_{передачи ЦОВ1 \rightarrow 2}$ – вероятность передачи избыточных вызовов из ЦОВ1 в ЦОВ2;

$P_{ivr \downarrow посл}$ – вероятность направления экстренных вызовов на обслуживание в IVR последнего в цепочке ЦОВ, если цепочка выстраивается в порядке убывания емкости операторских систем;

$P_{ivr \uparrow посл}$ – вероятность направления экстренных вызовов на обслуживание в IVR последнего в цепочке ЦОВ, если цепочка выстраивается в порядке возрастания емкости операторских систем.

Для сравнения выполнен расчет системы, представленной на рисунке 3.1., в которой распределение избыточного трафика производится между ЦОВ j пропорционально их емкости (взаимопомощи между ЦОВ нет). Введены и использованы следующие обозначения:

P_{ivrj} – вероятность направления экстренных вызовов на обслуживание в интерактивное голосовое меню j -ого ЦОВ системы;

$P_{ivr\text{ ср}}$ – средняя по системе вероятность направления экстренных вызовов на обслуживание в IVR одного из ЦОВ системы (отсутствие цепочки взаимопомощи), которая определяется как

$$P_{ivr\text{ ср}} = \sum_{j=1}^W k_j * P_{ivrj}, \quad (3.1)$$

k_j – доля избыточных вызовов, направляемых от ЦОВ-ЧС к ЦОВ $_j$

$$k_j = V_j / \sum_{j=1}^W V_j.$$

Представим полученные в таблицах 3.2 - 3.4 результаты на рисунке 3.2.

Таблица 3.2. Результаты расчета $P_{ivr\downarrow}$ посл (цепочка маршрутизации сформирована в порядке убывания емкости операторских служб) [103]

Исходные данные: $V_{чс} = 30$; $W = 4$; $V_1 = 40$; $V_2 = 36$; $V_3 = 30$; $V_4 = 24$				
А _{чс} , Эрл	Рпередачи ЦОВ1→2	Рпередачи ЦОВ2→3	Рпередачи ЦОВ3→4	$P_{ivr\downarrow}$ посл
$A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = 10$ Эрл				
50	$4,4059 * E^{-07}$	$5.8180 * E^{-06}$	0.000200	0.004093
60	$1.673 * E^{-05}$	0.000109	0.001413	0.012637
70	0.000258	0.000983	0.006159	0.029920
80	0.001955	0.005068	0.018548	0.058406
$A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = 15$ Эрл				
50	0.000115	0.000746	0.008061	0.048922
60	0.00104	0.00398	0.021847	0.081847
70	0.005332	0.013939	0.046755	0.124151
80	0.017393	0.035660	0.084553	0.174896
$A_1 = 24$ Эрл; $A_2 = 21.6$ Эрл; $A_3 = 18$ Эрл; $A_4 = 14.4$ Эрл				
50	0,017263	0,021742	0,029679	0,041609
60	0,039361	0,048571	0,060061	0,075697
70	0,071482	0,089546	0,104827	0,122999
80	0,112250	0,141642	0,161631	0,181313

Таблица 3.3. Результаты расчета $P_{ivr\uparrow}$ посл (цепочка маршрутизации сформирована в порядке возрастания емкости операторских служб) [103]

Исходные данные: $W = 4$; $V_{чс} = 30$; $V_1 = 24$; $V_2 = 30$; $V_3 = 36$; $V_4 = 40$				
А _{чс} , Эрл	Рпередачи ЦОВ1→2	Рпередачи ЦОВ2→3	Рпередачи ЦОВ3→4	$P_{ivr\uparrow}$ посл
$A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = 10$ Эрл				
50	0.004091	0.000204	$5.825 * E^{-06}$	$4,406 * E^{-07}$

60	0.012567	0.001490	0.000109	$1.674 \cdot E^{-05}$
70	0.029240	0.006900	0.001026	0.000260
80	0.054841	0.021994	0.005670	0.002045
$A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = 15$ Эрл				
50	0.048316	0.008857	0.000769	0.000116
60	0.078903	0.025427	0.004353	0.001064
70	0,114952	0,056032	0,0165255	0.005803
80	0,153683	0,099985	0,0446540	0.0211796
$A_1 = 14,4$ Эрл; $A_2 = 18$ Эрл; $A_3 = 21,6$ Эрл; $A_4 = 24$ Эрл				
50	0,039570	0,029948	0,021984	0,018005
60	0,067923	0,0596643	0,0491394	0,043315
70	0,102610	0,100820	0,0902685	0,083940
80	0,140807	0,149797	0,1421396	0,137266

Таблица 3.4. Результаты расчета вероятности того, что экстренные вызовы из зоны ЧС будут направлены на IVR разных ЦОВ P_{ivrj} и среднего значения $P_{ivr\text{ ср}}$

Исходные данные: $V_{\text{ЧС}} = 30$; $W = 4$; $V_1 = 24$; $V_2 = 30$; $V_3 = 36$; $V_4 = 40$					
Ачс, Эрл	P_{ivr1}	P_{ivr2}	P_{ivr3}	P_{ivr4}	$P_{ivr\text{ ср}}$
$A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = 10$ Эрл					
50	0.004091	0.000200	$5.8179 \cdot E^{-06}$	$4,4059 \cdot E^{-07}$	0.000803
60	0.012567	0.001412	0.000108	$1.673 \cdot E^{-05}$	0.002681
70	0.029240	0.006121	0.000981	0.000257	0.007161
80	0.054841	0.018029	0.004991	0.001955	0.016272
$A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = 15$ Эрл					
50	0.048316	0.008043	0.000746	0.000115	0.011018
60	0.078902	0.021569	0.003956	0.001040	0.020959
70	0,114952	0,044801	0,013588	0.005332	0,036964
80	0,153683	0,0767039	0,033148	0.0173932	0,060604
$A_1 = 14,4$ Эрл; $A_2 = 18$ Эрл; $A_3 = 21,6$ Эрл; $A_4 = 24$ Эрл					
50	0,039570	0,028433	0,020951	0,017265	0,024980
60	0,067923	0,054331	0,044516	0,039361	0,049516
70	0,102610	0,0881263	0,077321	0,071482	0,082687
80	0,140807	0,126665	0,116021	0,112250	0,121270

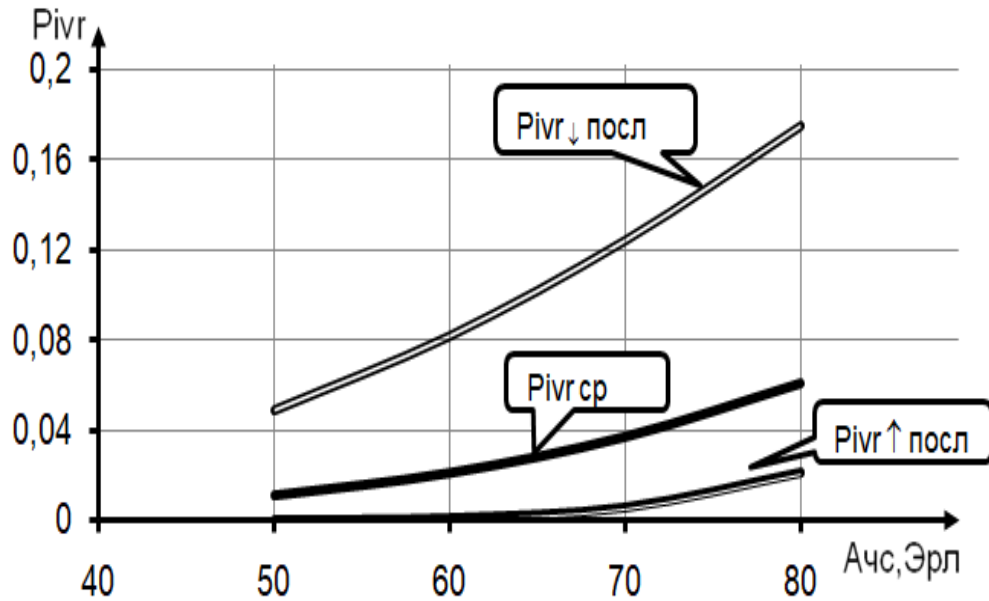


Рисунок 3.2. Зависимости вероятности направления экстренных вызовов на IVR от величины $A_{чс}$ при $A_j = 15$ Эрл

Анализируя полученные зависимости можно сделать выводы:

при включении ЦОВ разной емкости в систему взаимопомощи существенное значение имеет последовательность размещения ЦОВ в цепочке маршрутизации:

при размещении ЦОВ в порядке убывания емкости операторских подсистем вероятность направления экстренных вызовов на IVR будет наибольшей по сравнению с другими вариантами. Причем именно последние в цепочке ЦОВ малой емкости будут наиболее негативно влиять на величину $P_{ivr \downarrow}$ посл;

при размещении ЦОВ в порядке возрастания емкости операторских подсистем вероятность направления экстренных вызовов на IVR существенно снижается по сравнению с другими вариантами, но имеет место быстрый рост $P_{ivr \uparrow}$ посл при увеличении $A_{чс}$;

при развертывании ЦОВ с учетом ожидаемого среднего уровня интенсивности экстренного трафика, присущего конкретной зоне обслуживания A_j , выбор емкости ЦОВ V_j может производиться с учетом средней загрузки операторов. Расчеты, проведенные для значений $A_j \approx 0,6 V_j$, показали, что перспективно использование более простого в реализации варианта – без дополнительной маршрутизации избыточного трафика между ЦОВ, ограничившись направлением избыточного трафика из зоны ЧС, распределяемого пропорционально емкости операторских систем V_j .

3.2. Оценка потенциальной устойчивости системы экстренных служб к перегрузкам с учетом возможности исключения ЦОВ из цепочки маршрутизации

Метод избыточного перенаправления трафика (ORR) в системе экстренных вызовов предусматривает возможность перераспределения трафика при выходе из строя или недоступности конкретного ЦОВ системы. Это событие можно прогнозировать по величине времени наработки до отказа. Если такое событие наступит, то перераспределение трафика выполняется на некоторое продолжительное время. Из общей цепочки маршрутизации системы взаимопомощи могут исключаться несколько ЦОВ одновременно, при этом пропускная способность системы будет снижаться.

На рисунке 3.3. представлен пример реализации перенаправления вызовов, если первоначально избыточные вызовы от ЦОВ-ЧС распределялись между четырьмя ЦОВ($W=4$), а затем – между тремя ЦОВ ($W=3$) [51]. А именно, в рассматриваемом случае избыточный трафик от ЦОВ-ЧС, который ранее направлялся к ЦОВ2, будет перенаправлен и распределен между ЦОВ1, ЦОВ3 и ЦОВ4.

Введем понятие «коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам» h , определяя его по формуле

$$h = A_{\text{ЧС доп}} / A_j. \quad (3.2)$$

В таблицах 3.5 и 3.6 представлены результаты расчета коэффициента потенциальной устойчивости к перегрузкам h в зависимости от числа ЦОВ системы экстренных вызовов, которые будут недоступны для избыточного трафика

$$\omega = 0, \dots, (W - 1).$$

Расчет выполнялся для $W = 4$, при фиксированном числе операторов в каждом центре V_j и выполнении условия $P_{\text{ЦОВ}} \text{ системы} \leq 0,001$ и $P_{\text{ЦОВ}} \text{ системы} \leq 0,01$, соответственно.

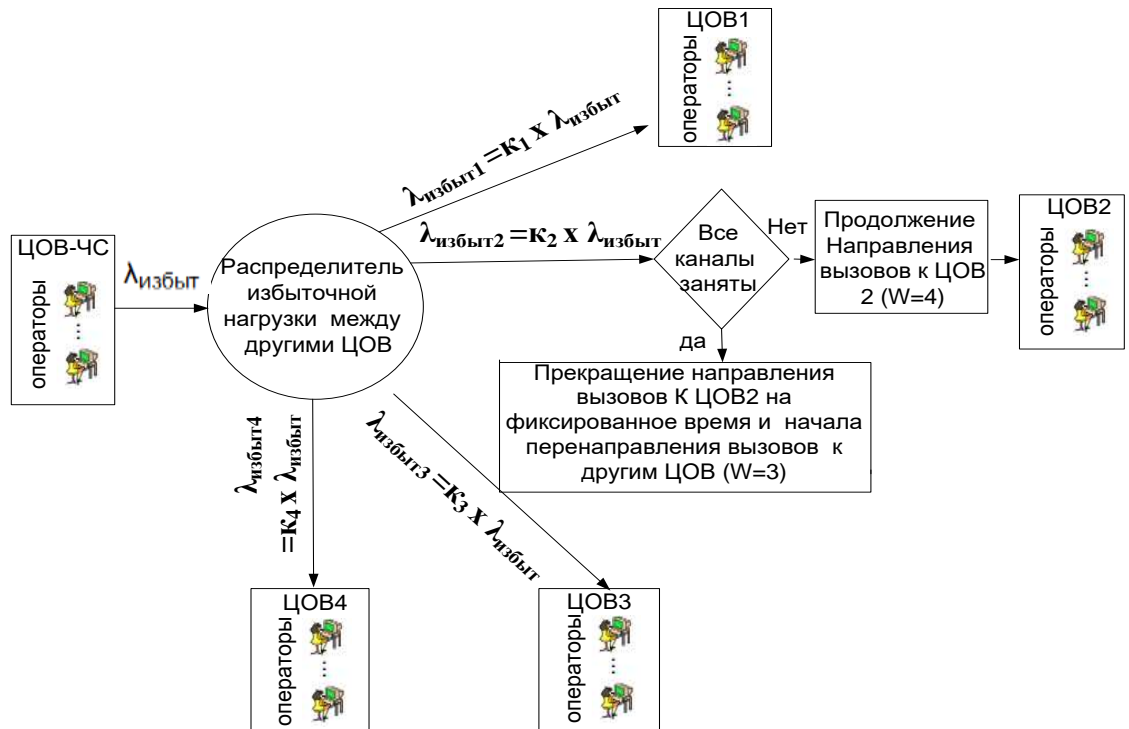


Рисунок 3.3. Пример реализации перенаправления вызовов

Таблица 3.5. Результаты расчета коэффициента потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h в зависимости от числа ЦОВ системы экстренных вызовов, которые будут недоступны для избыточного трафика ω , при $A_j = 10$ Эрл, если $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,001$

Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h			
	$\omega = 0$	$\omega = 1$	$\omega = 2$	$\omega = 3$
24	3,09	2,83	2,54	2,19
30	5,57	4,87	4,15	3,37
36	8,04	6,88	5,71	4,48
40	9,71	8,24	6,76	5,22

Таблица 3.6. Результаты расчета коэффициента потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h в зависимости от числа ЦОВ системы экстренных вызовов, которые будут недоступны для избыточного трафика ω , при $A_j = 10$ Эрл, если $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,01$

Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h			
	$\omega = 0$	$\omega = 1$	$\omega = 2$	$\omega = 3$
20	2,63	2,39	2,13	1,81
24	4,42	3,86	3,28	2,65
30	7,06	6,00	4,94	3,81
36	9,75	8,18	6,59	4,96
40	11,55	9,63	7,70	5,72

Зависимости коэффициента h от показателя ω представлены на рисунке 3.4.

Случаю доступности ресурсов всех четырех ЦОВ соответствуют значения, полученные для $\omega = 0$. При выходе из строя или временной недоступности одного из четырех ЦОВ, когда $\omega = 1$, при числе операторов в каждом ЦОВ $V_j = 40$, получаем снижение потенциальной устойчивости в ЦОВ ЧС на 17%. При выходе из строя или временной недоступности двух из четырех ЦОВ, когда $\omega = 2$, получаем снижение потенциальной устойчивости в ЦОВ ЧС на 30%, а при $\omega = 3$ - снижение на 50%.

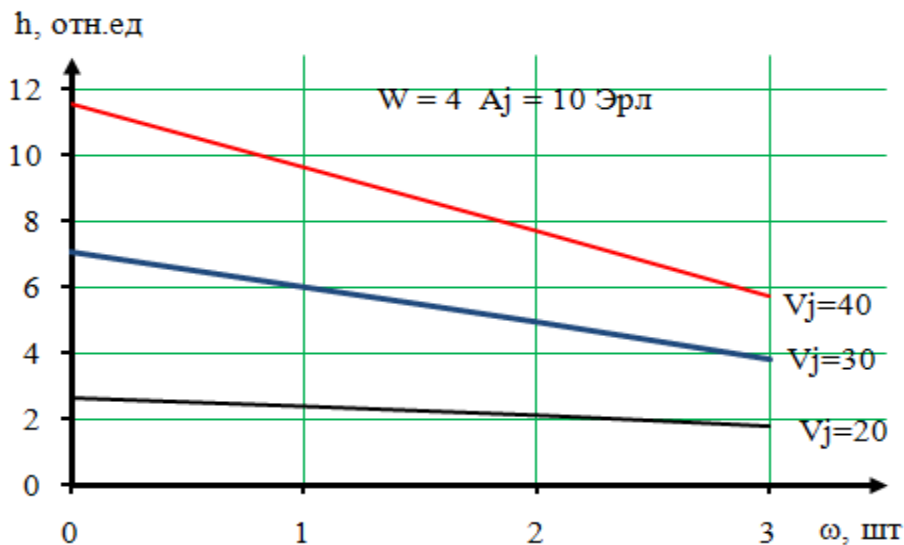


Рисунок 3.4. Зависимость коэффициента потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h от количества ЦОВ в системе, недоступных для избыточного трафика ω , при $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,01$

Таким образом, увеличение числа ЦОВ системы, недоступных для избыточного трафика ЦОВ ЧС, существенно снижает коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h .

Как следует из зависимостей на рисунке 3.4. крупные центры обслуживания вызовов в большей степени подвержены снижению потенциальной устойчивости при уменьшении числа доступных ЦОВ, хотя и обладают большей устойчивостью к перегрузкам в ЧС.

3.3. Сравнительный анализ и исследование перспективных вариантов организации обслуживания вызовов в системе экстренных служб

3.3.1. Исследование варианта объединения ресурсов нескольких центров обслуживания экстренных вызовов

Использование методов оперативного управления потоками трафика, возможности которых описаны в разделе 2, позволяет производить распределение избыточного для ЦОВ-ЧС трафика между остальными ЦОВ системы с учетом такой совокупности факторов как:

число рабочих мест операторов в каждом из ЦОВ системы;

общее число центров обслуживания вызовов, на которые маршрутизируется избыточный трафик от ЦОВ-ЧС;

необходимость перераспределения трафика при отказе или перегрузке конкретного ЦОВ системы.

Рассмотрим вариант организации распределенной системы взаимопомощи между ЕДДС. В качестве примера на рисунке 3.1 показана функциональная схема связи ЦОВ-ЧС с четырьмя ЦОВ в системе ($W = 4$).

В таблице 3.7. представлены результаты расчета допустимой интенсивности нагрузки $A_{\text{ЧС доп}}$, проведенные с применением метода RDA для следующих значений:

число ЦОВ, доступных для трафика ЦОВ-ЧС, менялось от $W = 1$ до $W = 6$;

допустимая вероятность потерь по вызовам в системе устанавливалась

$P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,01$;

число рабочих мест операторов во всех ЦОВ системы принималось одинаковым V_j , что позволяет принять равенство $P_{\text{ЦОВ системы}} = P_{\text{ЦОВ } j}$.

Можно сделать предварительный вывод о том, что величина $A_{\text{ЧС доп}}$ прямо пропорционально зависит как от числа операторов в ЦОВ, так и от числа ЦОВ, используемых для повышения пропускной способности в режиме ЧС.

Результаты расчета коэффициента h представлены в таблице 3.8.

Аналогичные расчеты величины $A_{\text{ЧС доп}}$ и коэффициента потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h в зависимости от числа операторов в ЦОВ V_j , выполненные для $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,001$, представлены в таблицах 3.9 и 3.10.

Проанализируем полученные результаты, представив их графически на рисунке 3.5. Можно сделать предварительные выводы:

степень влияния величины W на коэффициент h сильно зависит от числа операторов в центрах обслуживания экстренных вызовов V_j . Например, при $V_j = 24$ увеличение W от 1 до 6, мало влияет на коэффициент h . При $V_j = 40$ $A_j = 10$ Эрл и $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,001$ увеличение W от 1 до 6 обеспечивает рост коэффициента h в 2,4 раза;

существенное влияние на коэффициент h оказывает соотношение между V_j и ожидаемым средним значением интенсивности трафика A_j . Например, при объединении в систему взаимопомощи шести ЦОВ различных ЕДДС ($W = 5$) емкостью $V_j = 40$ при $A_j = 10$ Эрл получаем коэффициент $h = 11,16$, а при $A_j = 20$ Эрл получаем $h = 3,03$.

Таблица 3.7. Результаты расчета допустимой интенсивности нагрузки $A_{\text{ЧС доп}}$, при которой будут выполнены условия $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,01$

При $A_j = 10$ Эрл $V_{\text{чс}} = V_j$					
Число операторов V_j	$A_{\text{ЧС доп}}$, Эрл	Число операторов V_j	$A_{\text{ЧС доп}}$, Эрл	Число операторов V_j	$A_{\text{ЧС доп}}$, Эрл
W = 1		W = 2		W = 3	
20	18,12	20	21.27	20	23.91
24	26.48	24	32.83	24	38.59
30	38.14	30	49.39	30	60.099
36	49.59	36	65.94	36	81.77
40	57.20	40	77.02	40	96,33
W = 4		W = 5		W = 6	
20	26,32	20	28.62	20	30.85
24	44,16	24	49.63	24	55.05
30	70,64	30	81.1	30	91.52
36	97,45	36	113.05	36	128.63

40	115,5	40	134,59	40	153,66
При $A_j = 15$ Эрл $V_{чс} = V_j$					
Число операторов V_j	АЧС доп, Эрл	Число операторов V_j	АЧС доп, Эрл	Число операторов V_j	АЧС доп, Эрл
W = 1		W = 2		W = 3	
24	16,38	24	17,8	24	18,79
30	31,95	30	38,52	30	44,42
36	43,94	36	55,51	36	66,46
40	51,72	40	66,72	40	81,11
W = 4		W = 5		W = 6	
24	19,60	24	20,3	24	20,93
30	50,09	30	55,64	30	61,12
36	77,20	36	87,85	36	98,46
40	95,32	40	109,45	40	123,54
При $A_j = 20$ Эрл $V_{чс} = V_j$					
Число операторов V_j	АЧС доп, Эрл	Число операторов V_j	АЧС доп, Эрл	Число операторов V_j	АЧС доп, Эрл
W = 1		W = 2		W = 3	
30	21,31	30	22,94	30	24,09
36	37,63	36	44,52	36	50,67
40	45,87	40	56,13	40	65,67
W = 4		W = 5		W = 6	
30	25,02	30	25,82	30	26,54
36	56,57	36	62,32	36	68
40	74,98	40	84,17	40	93,3

Таблица 3.8. Результаты расчета коэффициента потенциальной устойчивости ЦОВ-ЧС к перегрузкам h , если выполняется условие $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,01$

При $A_j = 10$ Эрл $V_{чс} = V_j$					
Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h	Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h	Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h
W = 1		W = 2		W = 3	
20	1,81	20	2,13	20	2,39
24	2,65	24	3,28	24	3,86
30	3,81	30	4,94	30	6,00
36	4,96	36	6,59	36	8,18
40	5,72	40	7,70	40	9,63
W = 4		W = 5		W = 6	
20	2,63	20	2,86	20	3,08
24	4,42	24	4,96	24	5,5
30	7,06	30	8,11	30	9,15
36	9,75	36	11,3	36	12,86

40	11,55	40	13,46	40	15,36
При $A_j = 15$ Эрл $V_{чс} = V_j$					
Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h	Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h	Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h
W = 1		W = 2		W = 3	
24	1,09	24	1,18	24	1,25
30	2,13	30	2,57	30	2,96
36	2,93	36	3,7	36	4,43
40	3,45	40	4,45	40	5,4
W = 4		W = 5		W = 6	
24	1,3	24	1,35	24	1,39
30	3,34	30	3,7	30	4,07
36	5,14	36	5,85	36	6,56
40	6,35	40	7,29	40	8,23
При $A_j = 20$ Эрл $V_{чс} = V_j$					
Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h	Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h	Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h
W = 1		W = 2		W = 3	
30	1,06	30	1,14	30	1,2
36	1,88	36	2,22	36	2,53
40	2,29	40	2,8	40	
W = 4		W = 5		W = 6	
30	1,25	30	1,29	30	1,32
36	2,82	36	3,11	36	3,4
40	3,75	40	4,2	40	4,66

Таблица 3.9. Результаты расчета допустимой интенсивности нагрузки $A_{чс доп}$, при которой будут выполнены условия $P_{ЦОВ системы} \leq 0,001$

При $A_j = 10$ Эрл					
Число операторов V_j	$A_{чс доп}$, Эрл	Число операторов V_j	$A_{чс доп}$, Эрл	Число операторов V_j	$A_{чс доп}$, Эрл
W = 1		W = 2		W = 3	
24	21,9	24	25,4	24	28,31
30	33,73	30	41,55	30	48,74
36	44,86	36	57,18	36	68,89
40	52,21	40	67,63	40	82,46
W = 4		W = 5		W = 6	
24	30,98	24	33,52	24	35,98

30	55,701	30	62,56	30	69,38
36	80,41	36	91,84	36	103,23
40	97,1	40	111,67	40	126,2
При $A_j = 15$ Эрл					
Число операторов V_j	АЧС доп, Эрл	Число операторов V_j	АЧС доп, Эрл	Число операторов V_j	АЧС доп, Эрл
W = 1		W = 2		W = 3	
30	25,89	30	29,04	30	31,55
36	38,71	36	46,34	36	53,24
40	46,41	40	57,08	40	67,05
W = 4		W = 5		W = 6	
30	33,78	30	35,86	30	37,85
36	59,89	36	66,41	36	72,86
40	76,78	40	86,4	40	95,97
При $A_j = 20$ Эрл					
Число операторов V_j	АЧС доп, Эрл	Число операторов V_j	АЧС доп, Эрл	Число операторов V_j	АЧС доп, Эрл
W = 1		W = 2		W = 3	
36	30,01	36	32,95	36	35,2
40	39,69	40	45,72	40	50,95
W = 4		W = 5		W = 6	
36	37,14	36	38,92	36	40,59
40	55,87	40	60,63	40	65,3

Таблица 3.10. Результаты расчета коэффициента потенциальной устойчивости ЦОВ-ЧС к перегрузкам h , если выполняется условие $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,001$

При $A_j = 10$ Эрл					
Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h	Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h	Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h
W = 1		W = 2		W = 3	
24	2,19	24	2,54	24	2,83
30	3,37	30	4,15	30	4,87
36	4,48	36	5,71	36	6,88
40	5,22	40	6,76	40	8,24
W = 4		W = 5		W = 6	
24	3,09	24	3,35	24	3,59
30	5,57	30	6,25	30	6,93
36	8,04	36	9,18	36	10,32
40	9,71	40	11,16	40	12,62
При $A_j = 15$ Эрл					

Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h	Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h	Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h
W = 1		W = 2		W = 3	
30	1,72	30	1,93	30	2,1
36	2,58	36	3,09	36	3,55
40	3,09	40	3,8	40	4,47
W = 4		W = 5		W = 6	
30	2,25	30	2,39	30	2,52
36	3,99	36	4,42	36	4,85
40	5,11	40	5,76	40	
При $A_j = 20$ Эрл					
Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h	Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h	Число операторов V_j	Коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h
W = 1		W = 2		W = 3	
36	1,5	36	1,64	36	1,76
40	1,98	40	2,28	40	2,54
W = 4		W = 5		W = 6	
36	1,85	36	1,94	36	2,03
40	2,79	40	3,03	40	3,26

3.3.2. Анализ особенностей использования дополнительного ресурса центра оперативного реагирования для обслуживания экстренных вызовов в ЧС

Научный интерес являет исследование перспектив организации и использования ЦОВ оперативного реагирования (ЦОВ ОР) в качестве дополнительного ресурса для обслуживания избыточных нагрузок, поступающих от других ЦОВ. Образование ЦОВ ОР может быть рассмотрено как средство увеличения пропускной способности сети.

Центры обслуживания вызовов обслуживают вызовы от пользователей, находящихся на территории «своей» зоны (района) обслуживания. Число операторов в ЦОВ задается на этапе проектирования [51]. При возникновении ЧС в конкретном районе резко возрастает объем трафика. ЦОВ оперативного реагирования представляет собой интегрированный участок сети, доступный нескольким ЦОВ, для каждого из которых предусматривается возможность перенаправления избыточного трафика в ЦОВ ОР.

В современных транспортных сетях используются волоконно-оптические кольца для объединения нескольких систем связи (например, систем коммутации). Такое соединение с использованием кольцевой топологии сохраняет жесткую схему взаимного подключения систем коммутации. Значительная часть трафика идет по кольцу транзитом [51].

Разработаем формализованный подход к описанию обслуживания вызовов, учитывающий особенности реализации ЦОВ оперативного реагирования, соединенного с другими ЦОВ на базе сети кольцевой структуры.

Допустим, как показано на рисунке 3.5, избыточный трафик поступает только от одного ЦОВ - (ЦОВ-ЧС). В этом случае в соответствии с алгоритмом вычисления по методу RDA, описанном ранее, число n будет равно единице. Действуя по шагам алгоритма вычисления, можем найти число операторов в центре оперативного реагирования V_{op} . С точки зрения теории массового обслуживания ЦОВ ОР может рассматриваться как полностью доступный пучок каналов связи. Следовательно, как СМО вида $M/M/V_{op}/V_{op}$, на вход которой поступают потоки вызовов, оказавшихся избыточными для основных ЦОВ [51].

Каждый ЦОВ сети также рассматривается как СМО вида $M/M/V_m/V_m$, где m - номер ЦОВ в системе ($m=1,2\dots W$), $(W+1)$ - число ЦОВ в системе (с учетом ЦО ОР).

На вход ЦОВ поступает пуассоновский поток с интенсивностью λ_m (см. рис 3.6).

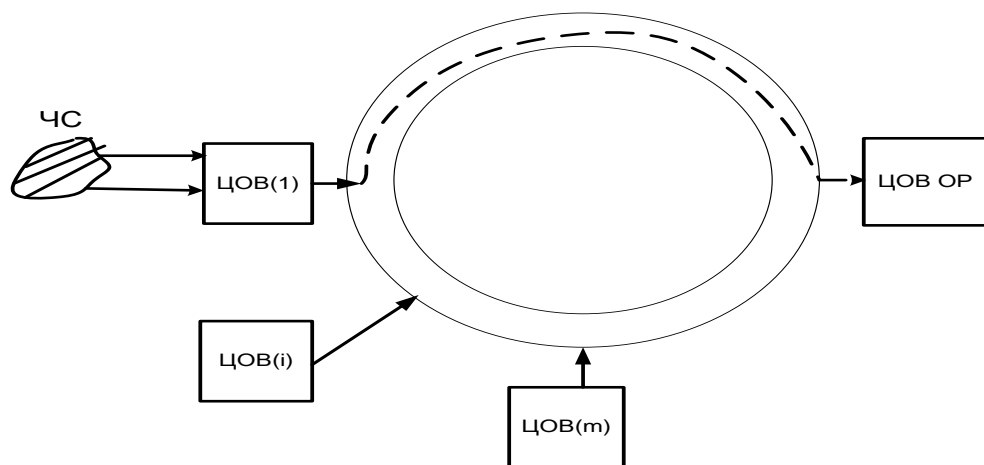


Рисунок 3.5 – Вариант использования волоконно-оптических колец для подключения нескольких ЦОВ к ЦОВ оперативного реагирования

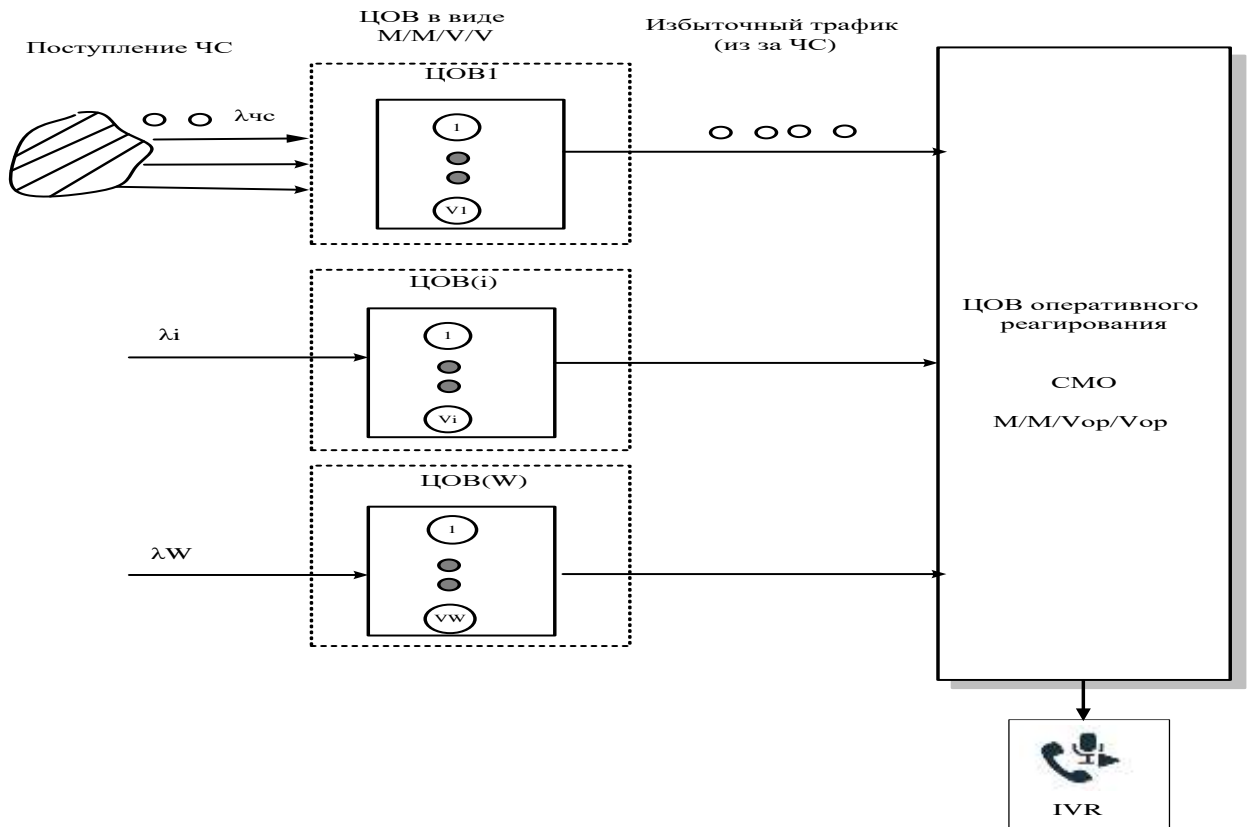


Рисунок 3.6. Математическая модель функционирования ЦОВ оперативного реагирования, объединяющего ЦОВ системы

На рисунке 3.7 представлен вариант повышения пропускной способности системы экстренных вызовов, предусматривающий организацию выделенного ЦОВ оперативного реагирования (ЦОВ ОР), на который могут направляться избыточные вызовы от центров обслуживания вызовов различных ЕДДС в режиме ЧС. Перспективность и возможность использования ЦОВ ОР отражены в ряде документов МСЭ-Т и правительства РФ. Целью организации ЦОВ ОР является прием с минимальными отказами экстренных вызовов, и предварительная обработка поступающей информации в случае возникновения ЧС в одном или в нескольких районах. То есть речь идет об организации взаимодействия ЕДДС разных районов (верхний уровень управления) [13,14, 40,102].

Обозначим общее число ЦОВ в системе Q , $s = 1, 2, \dots, Q$. Добавляется выделенный ЦОВ ОР, который рассматривается как дополнительный ресурс. Для проведения расчетов использовался метод RDA и математическая модель системы обслуживания экстренных вызовов, описанные в разделе 2. Расчет проводился с привлечением

специально разработанной программы расчетов, листинг которой представлен в Приложении 4.

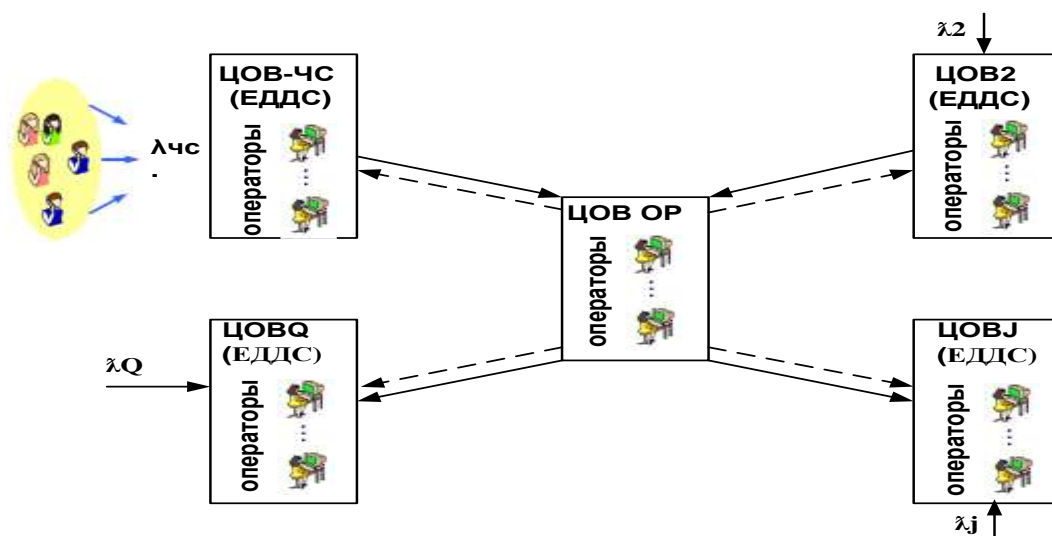


Рисунок 3.7. Вариант реализации ЦОВ оперативного реагирования
(сплошные линии – пути следования заявок на обслуживание, пунктирные линии – пути возвращения оформленных электронных заявок)

В таблице 3.11 представлены результаты расчета необходимого числа рабочих мест операторов $V_{\text{необхЦОВ ОР}}$, полученные для заданных требований по потерям вызовов, а именно для $P_{\text{ЦОВ ОР}} \leq 0,001$ и $P_{\text{ЦОВ ОР}} \leq 0,01$, где $P_{\text{ЦОВ ОР}}$ - допустимая вероятность потерь по вызовам в ЦОВ оперативного реагирования. Предполагалось, что среднестатистический уровень трафика в районах находится на уровне 10 Эрл. Фактически, рассмотрен случай восьмикратного роста трафика роста в районе ЧС.

Таблица 3.11. Результаты расчета необходимого числа рабочих мест операторов в ЦОВ ОР ($V_{\text{необхЦОВ ОР}}$) при возникновении ЧС в одном районе [51]

Число каналов в ЦОВ (V_j) = 20						
Поступающая нагрузка в ЦОВ-ЧС, Ачс, Эрл	Суммарная избыточная нагрузка, R	Суммарное рассеяние избыточной нагрузки, D	Аэкв	Нэкв	$V_{\text{необхЦОВ ОР}}$ $P_{\text{ЦОВ ОР}} \leq 0,001$	$V_{\text{необхЦОВ ОР}}$ $P_{\text{ЦОВ ОР}} \leq 0,01$
20	3,178	5.114	20	20	18	14
30	11,402	12,363	30	20	29	24
40	20,852	15.488	40	20	41	35

50	30,605	16,927	50	20	53	46
60	40,467	17.708	60	20	64	56
80	60,320	18.505	80	20	87	78

В таблице 3.12. представлены результаты расчета необходимого числа рабочих мест операторов $V_{\text{необх ЦОВ ОР}}$, полученные для $P_{\text{ЦОВ ОР}} \leq 0,01$ в условиях, когда в двух районах имеет место резкий рост трафика экстренных служб.

Таблица 3.12. Результаты расчета необходимого числа рабочих мест операторов в ЦОВ ОР при возникновении ЧС в двух районах

Число каналов в ЦОВ (V_j) = $V_{\text{чс}} = 20$					
Поступающа я нагрузка в ЦОВ-ЧС, А _{чс} , Эрл	Суммарная избыточна я нагрузка, R	Суммарное рассеяние избыточной нагрузки, D	Аэкв	Нэкв	$V_{\text{необхЦОВ ОР}}$ $P_{\text{ЦОВ ОР}} \leq 0,01$
20+20	6.356	10.228	28.76	25	19
30+30	22.801	24.725	52.59	31	39
40+40	41.704	30.975	76.89	36	60

Анализируя полученные результаты можно сделать предварительный вывод, что организация ЦОВ оперативного реагирования позволяет эффективно обслуживать избыточный трафик от нескольких ЦОВ-ЧС. Например, при четырех кратном росте трафика в каждом из двух районов ЧС потребуется задействовать в ЦОВ ОР существенно меньшее число рабочих мест при прочих равных условиях (до 60 рабочих мест вместо 78 при восьми кратном росте трафика в единственном районе ЧС).

Перечислим отрицательные моменты организации ЦОВ ОР:

нерациональное использование ресурсов ЦОВ ОР (только во время ЧС);

пропускная способность всей системы может увеличиваться только экстенсивно, за счет организации дополнительных рабочих мест в ЦОВ ОР.

В тоже время положительными моментами являются:

возможность оперативной взаимопомощи нескольким ЦОВ одновременно;

возможность учесть географический фактор, включая в ЦОВ ОР центры обслуживания вызовов регионов и населенных пунктов, значительно удаленных друг от друга, что снижает риск критических перегрузок при одновременном возникновении нескольких ЧС.

Как показано на рисунке 3.8. ЦОВ ОР помимо избыточного трафика от ЦОВ-ЧС может обслуживать трафик экстренных вызовов своего района с интенсивностью λ_i , возможно использование ресурсов ЦОВ ОР по аутсорсингу в отсутствие ЧС.

При возникновении ЧС в одном или нескольких районах, на него будет поступать дополнительный трафик, избыточный для этих районов. В таблице 3.13. представлены результаты расчета необходимого числа рабочих мест операторов $V_{\text{необхЦОВ ОР}}$, полученные для заданных требований по потерям вызовов, а именно для $P_{\text{ЦОВ ОР}} \leq 0,001$ и $P_{\text{ЦОВ ОР}} \leq 0,01$.

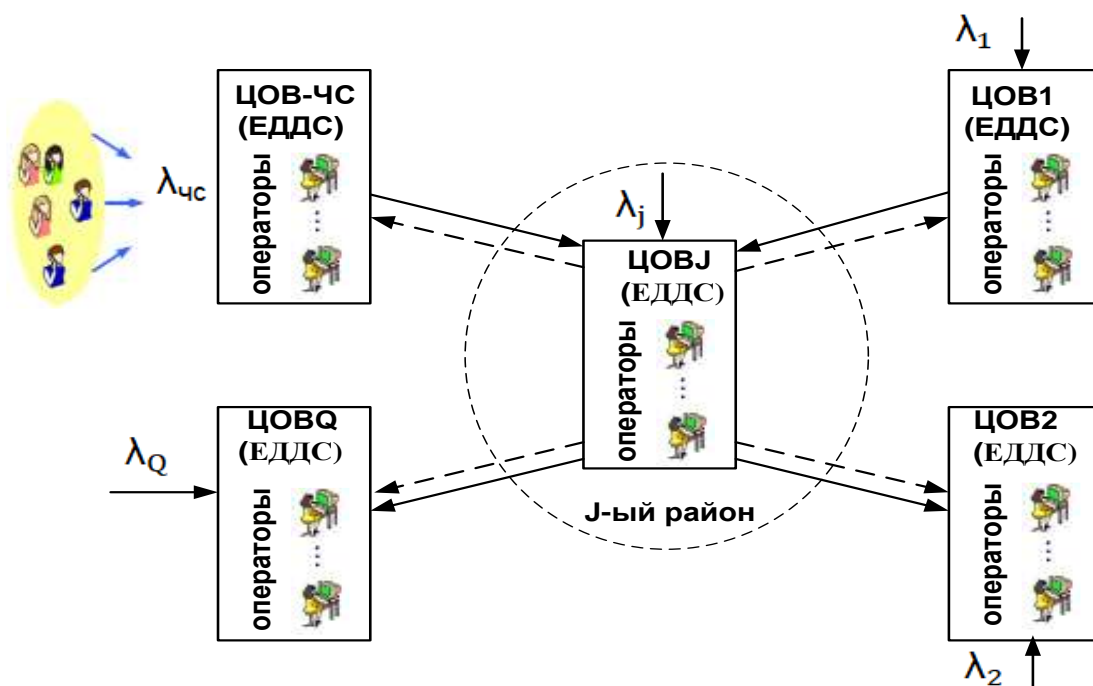


Рисунок 3.8. Вариант реализации ЦОВ оперативного реагирования на основе ЦОВ j-ого района

Таблица 3.13. Результаты расчета необходимого числа рабочих мест операторов в ЦОВ ОР при возникновении ЧС в одном районе и реализации ЦОВ ОР на базе ЦОВ j-ого района

Число каналов в ЦОВ (V_j) = 20 $A_j=10$ Эрл						
Поступающая нагрузка в ЦОВ-ЧС, $A_{чс}$. Эрл	$V_{\text{необх}}$					
	$P_{\text{ЦОВ ОР}} \leq 0,001$			$P_{\text{ЦОВ ОР}} \leq 0,01$		
	$V_{\text{необхЦОВ ОР}}$	$V_{\text{дополн}}$	Ротк	$V_{\text{необхЦОВ ОР}}$	$V_{\text{дополн}}$	Ротк
20	26	6	0.000613	22	2	0.007351

30	37	17	0.000622	32	12	0.007327
40	48	28	0.000985	43	23	0.007341
50	60	40	0.000913	54	34	0.007470
60	72	52	0.000818	64	44	0.009632
70	83	63	0.000991	75	55	0.009172
80	95	75	0.000831	86	66	0.008671

На рисунке 3.9. представлена зависимость числа рабочих мест в ЦОВ ОР, которые необходимо выделить дополнительно $V_{\text{доп}}$, от поступающего трафика, выраженного через интенсивность нагрузки АЧС. А также представлена зависимость $V_{\text{необх}}$ ЦОВ ОР от величины Ачс, полученная для первого варианта организации ЦОВ ОР. Обе эти зависимости имеют линейный характер, что отражает экстенсивный характер увеличения пропускной способности системы в целом [102,103].

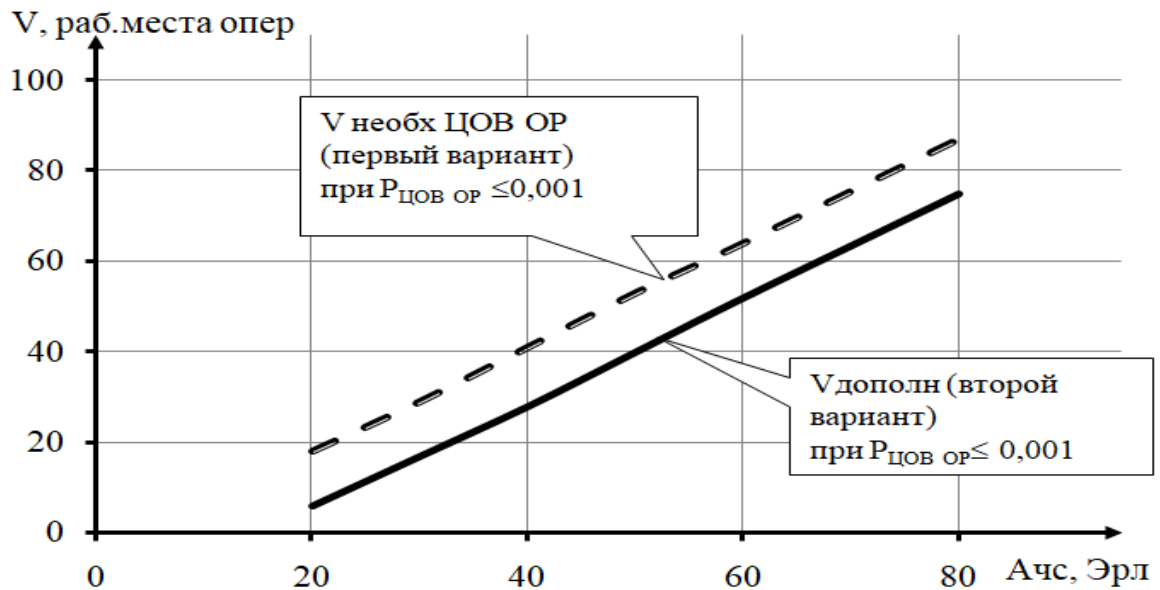


Рисунок 3.9. Зависимости $V_{\text{необхЦОВ ОР}}$ (первый вариант) и $V_{\text{дополн}}$ (второй вариант) от интенсивности нагрузки Ачс при $P_{\text{ЦОВ ОР}} \leq 0,001$

3.4. Исследование влияния оперативного резерва в ЕДДС на пропускную способность системы экстренных вызовов

Центры обслуживания экстренных вызовов являются неотъемлемой частью ЕДДС и ДДС «Системы 112». При объединении в систему нескольких ЦОВ, входящих в состав ЕДДС, встает вопрос об организации оперативного резерва в каждом из ЦОВ для

сохранения высокого качества обслуживания жителей тех районов обслуживания, в которые направляется избыточный трафик от ЦОВ-ЧС. Должно выполняться требование – недопустимо существенное ухудшение качества обслуживания в j -ом районе обслуживания, если ресурс (или часть ресурса) рабочих мест операторов в ЦОВ j -ого района становится доступен для избыточного трафика от ЦОВ-ЧС.

Практически речь идет о том, что некоторый ресурс рабочих мест операторов в ЦОВ j -ого района (оперативный ресурс) будет доступен только для жителей j -ого района (обслуживание «внутренних» вызовов). На общие нужды в систему взаимопомощи будет передаваться только часть рабочих мест операторов в ЦОВ j -ого района. Причем они могут передаваться на постоянной основе (будут обслуживать только «внешние» экстренные вызовы), или могут использоваться как для «внешних вызовов», так и для «внутренних вызовов» j -ого района.

Для исследования влияния величины оперативного ресурса на пропускную способность системы экстренных служб в режиме ЧС используем математическую модель, представленную в главе 2. Расчеты проводились двумя методами – с использованием предварительного предположения по величине P_0 и без такого предположения. Проведенные расчеты показали практически идентичные результаты, но оказались менее затратными по времени моделирования показали себя расчеты с использованием предварительного предположения по величине P_0 . Программа проведения расчетов представлена в Приложении 4.

При проведении расчетов предполагалось, что чрезвычайная ситуация может произойти в зоне ответственности одной ЕДДС (см. рисунок 3.1.).

Рассматривался вариант, когда в систему экстренных служб включены четыре ЦОВ. Избыточный трафик от ЦОВ-ЧС может направляться к трем остальным ЦОВ системы ($W=3$). Требуется сохранить достаточно высокое качество обслуживания экстренных вызовов в зоне ответственности тех ЕДДС, где нет ЧС, но куда перенаправляется избыточный трафик из зоны ЧС. Для этого предлагается выделять часть ресурса операторских систем для внутренних нужд, предоставляя в качестве общего ресурса ЧС только часть имеющихся средств. В таблице 3.14. число мест операторов, выделяемых для оперативного резерва, обозначено через $V_{jрез}$, и изменялось от 0 до 6 (до 30% имеющегося ресурса).

Как показано на рисунке 3.10. зависимости $P_{ivr\text{ посл}}$ (вероятности направления на IVR вызовов из района ЧС) и P_{ivrj} (вероятности направления на IVR вызовов в j -ой зоне обслуживания) от величины оперативного резерва имеют разнонаправленный характер, а именно – увеличение $V_{\text{рез}}$ снижает эффективность работы всей системы (доля отказов по избыточному трафику ЧС возрастает), но сохраняется высокий уровень обслуживания экстренных вызовов в зонах вне зоны ЧС.

Таблица 3.14. Результаты расчета вероятности направления на IVR вызовов из района ЧС $P_{ivr\text{ посл}}$, и вероятности направления на IVR вызовов в j -ой зоне обслуживания P_{ivrj} от величины оперативного резерва $V_{\text{рез}}$

Исходные данные: $V_j = V_{\text{чс}} = 20$, $j = 1 \dots W$ $A_j = 10$ Эрл $W = 3$		
Ачс = 20 Эрл		
$V_{\text{рез}}$	$P_{ivr\text{ посл}}$	P_{ivrj}
0	0.00487	0.00487
1	0.01322	0.00440
2	0.02712	0.00399
3	0.04933	0,00361
4	0.08302	0,00328
5	0.13138	0,00299
6	0.19684	0,00274
Ачс = 40 Эрл		
0	0,08475	0,08475
1	0,15540	0,05180
2	0,22194	0,03264
3	0,28893	0,02118
4	0,35821	0,01418
5	0,43009	0,00980

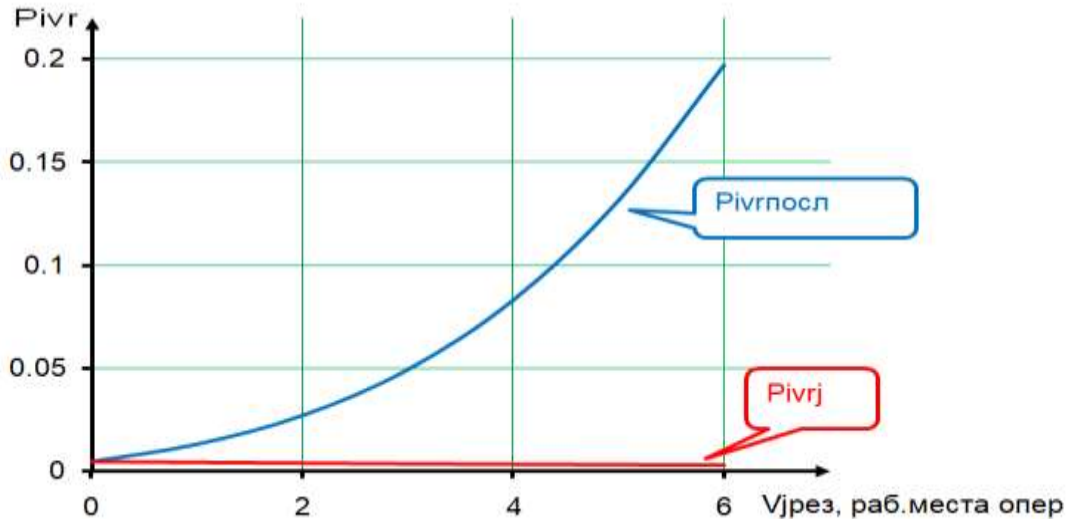


Рисунок 3.10. Зависимости вероятностей $P_{ivr посл}$ и $P_{ivr j}$ от величины оперативного резерва $V_{jрез}$

Зафиксируем требования по качеству обслуживания экстренных вызовов в системе взаимопомощи на достаточно высоком уровне. А именно, зададим требование по вероятности отказов для вызовов из зоны ЧС на уровне $P_{ivr посл} \leq 0,01$. В таблице 3.15 представлены результаты расчета максимально допустимой величины оперативного резерва $V_{jрез макс}$. Часть трафика ЧС обслуживается в ЦОВ-ЧС, и некоторая его часть с интенсивностью $A_{избыт}$ - направляется в другие ЦОВ системы взаимопомощи. Если не будет выполняться условие $V_{jрез} \leq V_{jрез макс}$, то, соответственно, не будет выполняться поставленное требование $P_{ivr посл} \leq 0,01$. Величина $A_{чс доп}$ - это допустимая нагрузка на ЦОВ-ЧС, превышение которой не позволяет выполнить требование $P_{ivr посл} \leq 0,01$.

Анализируя данные таблицы 3.15 можно сделать вывод, что выделение большого оперативного резерва в ЦОВ системы ограничивает эффект от взаимопомощи в режиме ЧС. Например, если в ЦОВ емкостью $V_j = 30$ для оперативного резерва будут оставлены $V_{jрез} = 10$ рабочих мест операторов при $A_j = 10$ Эрл, то в j -ом районе будет реализовано практически безотказное обслуживание экстренных вызовов, а для вызовов из зоны ЧС требование $P_{ivr посл} \leq 0,01$ будет выполняться только, если $A_{чс}$ не превышает 29,38 Эрл. В противном случае происходит резкое повышение величины $P_{ivr посл}$.

Таблица 3.15. Результаты расчета вероятностей $P_{ivt\text{ посл}}$ и P_{ivtj} при $W = 3$ от величины оперативного резерва $V_{jрез\text{ мах}}$, если задано требование $P_{ivt\text{ посл}} \leq 0,01$ и при $A_j=10$ Эрл

$V_{чс} = V_j$ $A_j=10$ Эрл $W=3$				
V_j	$V_{jрез\text{ мах}}$	$A_{чс\text{ доп}}$, Эрл	$P_{ivt\text{ посл}}$	P_{ivtj}
20	1	18,14	0.009934	0.003311
24	4	24,18	0.009990	0.002145
30	10	29,38	0.009967	$4.9 \cdot E^{-7}$
36	16	34,71	0.009968	$3.5 \cdot E^{-10}$

3.5. Исследование варианта организации взаимопомощи путем объединения возможностей центров обслуживания экстренных вызовов в единый ресурс

Современные инфокоммуникационные технологии позволяют расширить возможности систем и сетей связи. В частности, рассмотрим перспективный вариант организации взаимопомощи путем объединения возможностей центров обслуживания экстренных вызовов в единый ресурс. Для реализации такого варианта в ЦОВ-ЧС должна быть реализована программным путем возможность псевдослучайного распределения экстренных вызовов по центрам обслуживания вызовов системы взаимопомощи с учетом доступного ресурса операторов. Практически речь идет о реализации распределенного центра реагирования, ресурсы которого распределены по отдельным центрам обслуживания вызовов разных ЕДСС. Для описания его функционирования воспользуемся результатами расчетов по методу RDA, представленными в таблице 3.1, а также результатами оценки влияния оперативного резерва.

Представим в таблице 3.16 вариант распределения ресурсов по отдельным ЦОВ системы, преобразовав данные таблицы 3.1. Расчет необходимого совокупного ресурса рабочих мест операторов в системе был выполнен для двух вариантов заданных требований ($P_{системы}$ - допустимая вероятность потерь по вызовам в системе) $P_{системы} \leq 0,001$ и $P_{системы} \leq 0,01$ и определялось $V_{необх}$ (число операторов, необходимых для обслуживания избыточного трафика в системе). Далее выполнялось определение числа операторов, включаемых в систему взаимопомощи на каждом из ЦОВ.

В данном случае

$$V_{\text{необх}} = V_1^{\text{пом}} + V_2^{\text{пом}} + V_3^{\text{пом}}. \quad (3.3)$$

где $V_{\text{необх}}$ – общее число операторов необходимых для обслуживания избыточного трафика

Соответственно, оперативный резерв в каждом из ЦОВ системы составляет

$$V_{\text{гор}} = V_j - V_j^{\text{пом}}, \quad (3.4)$$

где $V_j^{\text{пом}}$ - число операторов, включаемых в систему взаимопомощи на каждом из ЦОВ для обслуживания только избыточного трафика

Предполагалось, что среднестатистический уровень трафика района находится на уровне 10 Эрл. Фактически, рассмотрен случай пятикратного роста трафика в районе ЧС до величины $A_{\text{ЧС}} = 50$ Эрл. Расчет показал полученный результат можно сделать вывод, что система будет обеспечивать качество обслуживания $P_{\text{системы}} \leq 0,01$ при пятикратном росте трафика, если в качестве оперативного резерва в каждом ЦОВ будут выделены по 4-5 рабочих мест операторов [102].

Таблица 3.16. Результаты расчета необходимого числа рабочих мест операторов в системе взаимопомощи при возникновении ЧС в одном районе. Число каналов в ЦОВ-ЧС $V_{\text{цов-чс}} = 20$, $V_1 = V_2 = V_3 = 20$

Поступающая нагрузка в ЦОВ-ЧС, $A_{\text{ЧС}}$, Эрл	$P_{\text{системы}} \leq 0,001$				$P_{\text{системы}} \leq 0,01$			
	$V_{\text{необх}}$	$V_1^{\text{пом}}$	$V_2^{\text{пом}}$	$V_3^{\text{пом}}$	$V_{\text{необх}}$	$V_1^{\text{пом}}$	$V_2^{\text{пом}}$	$V_3^{\text{пом}}$
20	18	6	6	6	14	5	5	4
30	29	9	10	10	24	8	8	8
40	41	14	14	14	35	12	12	11
50	53	18	18	17	46	16	15	15

Реализация представленного варианта организации взаимопомощи предполагает наличие двух режимов работы системы.

1. При отсутствии ЧС центры обслуживания вызовов в составе ЕДДС, объединенные в систему, работают независимо друг от друга.

2. Когда зафиксирован режим ЧС, избыточный трафик направляется от ЦОВ-ЧС к другим ЦОВ системы, будучи распределен псевдослучайным образом с учетом доступной операторской емкости в каждом ЦОВ.

Отметим специальные требования:

необходимо достаточно быстрое определение начала ЧС, позволяющее перейти ко второму режиму функционирования. В ЦОВ-ЧС в этот момент времени и далее должна быть информация о доступных и свободных операторах в других ЦОВ, включенных в систему взаимопомощи;

поскольку неизвестно, в каком именно районе произойдет ЧС, такая информация должна быть в каждом ЦОВ системы;

необходимо также обеспечивать защиту от возможных коллизий одновременного занятия одних и тех же ресурсов, возникновение которых возможно при значительном удалении ЦОВ друг от друга.

3.6. Анализ результатов аналитических расчетов и оценки качества обслуживания вызовов в подсистеме профессиональной радиотелефонной связи

3.6.1. оценки качества обслуживания вызовов в радиointерфейсе системы TETRA

Подсистема профессиональной радиотелефонной связи предназначена организации оперативного взаимодействия экстренных служб при устранении последствий ЧС. Актуальность ее использования определяется следующей совокупностью факторов:

на начальном этапе развития чрезвычайной ситуации именно профессиональная радиотелефонная связь является альтернативой для фиксированной и мобильной связи общего пользования (доступ к мобильной связи может быть специально ограничен из-за угрозы терактов).

при ликвидации последствий ЧС средства профессиональной радиотелефонной связи обеспечат скоординированную работу экстренных служб и подразделений МЧС.

Для проведения аналитических расчетов характеристик обслуживания вызовов в радиointерфейсе базовой станции стандарта TETRA была разработана программа, представленная в Приложении 5. Математическая модель описана в разделе 2 и отличается тем, что учитывает групповой характер поступления и обслуживания вызовов. Программа разработана на языке программирования C#, который оптимизирован для решения аналогичных систем уравнений. Программа предусматривает два этапа расчета. Первый этап отображает решение системы

уравнений при любом случайным первоначальном значении величины p_0 с учетом нормирующего условия.

Целью этого этапа является определение значения p_0 и величины δ . При большом значении нормирующего условия на окне ввода значения p_0 уменьшаем значение p_0 на несколько отрицательных порядков 10^{-m} , где $m=1,2,\dots,20,\dots,k$. Если значение нормирующего условия оказалось меньше единицы, то поступаем наоборот - увеличиваем значение p_0 . Этот этап завершается, когда значение нормирующего условия меньше 2 и больше 1. Величина p_0 , удовлетворяющая условию завершения первого этапа является начальным значением для точного поиска решения системы уравнений. На его основании выбирается значение δ .

Второй этап программы выполняется при вводе начального значения $p_{0нач}$ и величины δ , которые были определены в результате выполнения первого этапа. А также ввода значений $F1$, $F2$, $\alpha_{групп}$ и V . При этом решается система уравнений и проверяется нормирующее условие. Было установлено, что значение нормирующего условия находится в пределах $[0.999999999-1.000000001]$.

Результаты расчетов системы уравнений и вероятностей отказов для конкретного примера представлены в таблице 3.17. и на рисунках 3.11. - 3.14.

При проведении расчетов предлагалось, что на радиointерфейс поступают два потока вызовов. Режимы работы - полудуплекс (его доля составляет $F1$) и дуплекс (его доля составляет $F2$) с суммарной интенсивностью $\alpha_{групп}$. Должно выполняться условие $F1 + F2=1$.

Число информационных каналов принималось

$$V = 8 \cdot 4 = 32 \text{ канала,}$$

где 8 – число радиоканалов и 4 – коэффициент временного уплотнения.

Установлено, что если поступают только вызовы в режиме полудуплекса, и величина $F1 = 1$, результаты расчета совпадают с результатами расчетов по первой формуле Эрланга (см. результаты расчета для $\alpha_{групп} = 24$ Эрл и $\alpha_{групп} = 28$ Эрл). Что подтверждает корректность работы программы.

Анализируя полученные зависимости можно сделать выводы:

использование дуплексной связи, не характерной для ранних версий систем профессиональной радиотелефонной связи, значительно увеличивает вероятность отказов в обслуживании из-за занятости всех каналов в момент поступления вызова;

в режиме ЧС возможен резкий рост интенсивности служебного трафика, что также отрицательно сказывается на характеристиках работы системы связи.

Например, если доля дуплексной связи составляет $F2 = 0,2$ и $\alpha_{\text{групп}} = 20$ Эрл, то средневзвешенная вероятность отказа в обслуживании составит $\text{Роткз} = 0,030798$. Если в режиме ЧС (ликвидация последствий) интенсивность нагрузки возрастет до $\alpha_{\text{групп}} = 28$ Эрл, то средневзвешенная вероятность отказа в обслуживании возрастет до $\text{Роткз} = 0,169748$ и будет в значительной мере определяться присутствием вызовов дуплексной связи с вероятностью отказов $\text{Ротк д} = 0,279359$. Если перевести оконечные устройства всех пользователей в полудуплексный режим, то при $\alpha_{\text{групп}} = 28$ Эрл получим снижение Роткз до величины $\text{Роткз} = \text{Роткпд} = 0,066498$. Можно рекомендовать переход к полудуплексной связи во время ликвидации последствий ЧС для всех пользователей. Возможно также частичное или полное отключение пользователей с дуплексной связью в системе TETRA, если речь идет о коммерческом использовании ресурсов этой системы.

В последнем случае (при отключении коммерческих пользователей) интенсивность нагрузки снизится до $\alpha_{\text{групп}} = 24$ Эрл, что при $F2 = 0$ и $V = 32$ обеспечит $\text{Роткз} = 0,022095$.

Таблица 3.17. Результаты решения системы уравнений для базовой станции стандарта TETRA.C вероятностью $F1$ поступающие заявки обслуживаются в режиме полудуплекса и требуется один канал для обслуживания; с вероятностью $F2$ поступающие заявки обслуживаются в режиме дуплекса и требуются два канала для обслуживания

F1	F2	$\alpha_{\text{групп}} = 20$ Эрл, $V = 32$			$\alpha_{\text{групп}} = 24$ Эрл, $V = 32$			$\alpha_{\text{групп}} = 28$ Эрл, $V = 32$		
		Роткпд	Ротк д	Роткз	Роткпд	Ротк д	Роткз	Роткпд	Ротк д	Роткз
0,9	0,1	0,01113	0,02679	0,01269	0,04625	0,10149	0,05177	0,10501	0,21403	0,11591
0,8	0,2	0,02452	0,05592	0,03080	0,07501	0,15741	0,09149	0,14235	0,27936	0,16975
0,7	0,3	0,04266	0,09331	0,05786	0,10515	0,21299	0,13752	0,17768	0,33670	0,22480
0,6	0,4	0,06391	0,01352	0,09241	0,13472	0,26511	0,18687	0,20812	0,38641	0,27944
0,5	0,5	0,08670	0,17823	0,13247	0,16279	0,31256	0,23764	0,23633	0,42945	0,33289

0,4	0,6	0,10987	0,22042	0,17620	0,18897	0,35523	0,28873	0,26179	0,46687	0,38484
0,3	0,7	0,13265	0,26052	0,22216	0,21323	0,39339	0,33944	0,28482	0,49960	0,43517

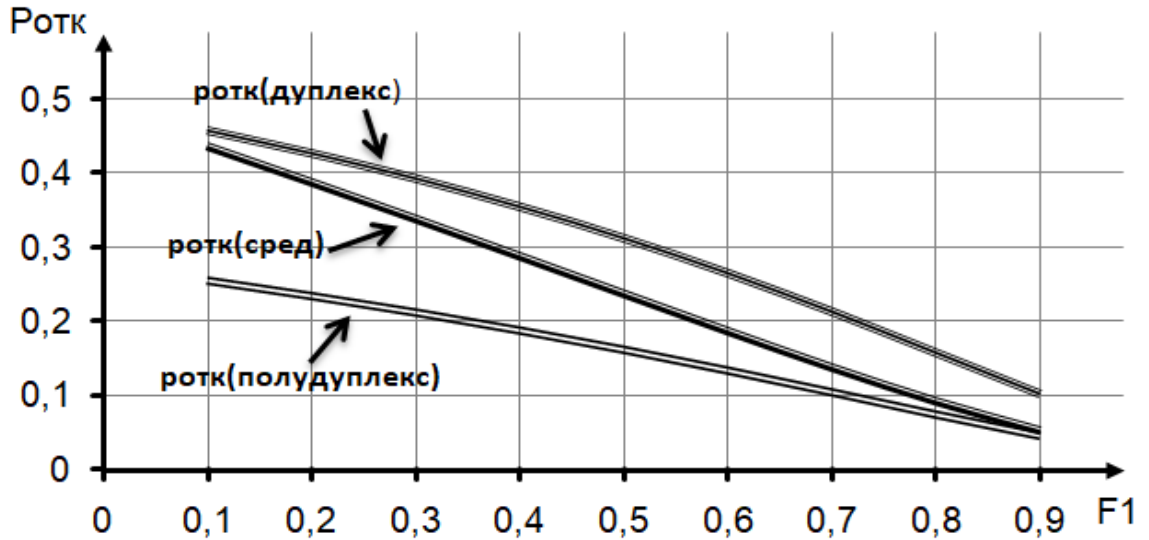


Рисунок 3.11. Зависимость вероятности отказов в предоставлении связи $R_{отк}$ при полудуплексной, дуплексной связи и усредненной вероятности отказов в радиointерфейсе от вероятности поступления вызовов в режиме полудуплекса $F1$ при $V = 32$ и $\alpha_{групп} = 24$ Эрл

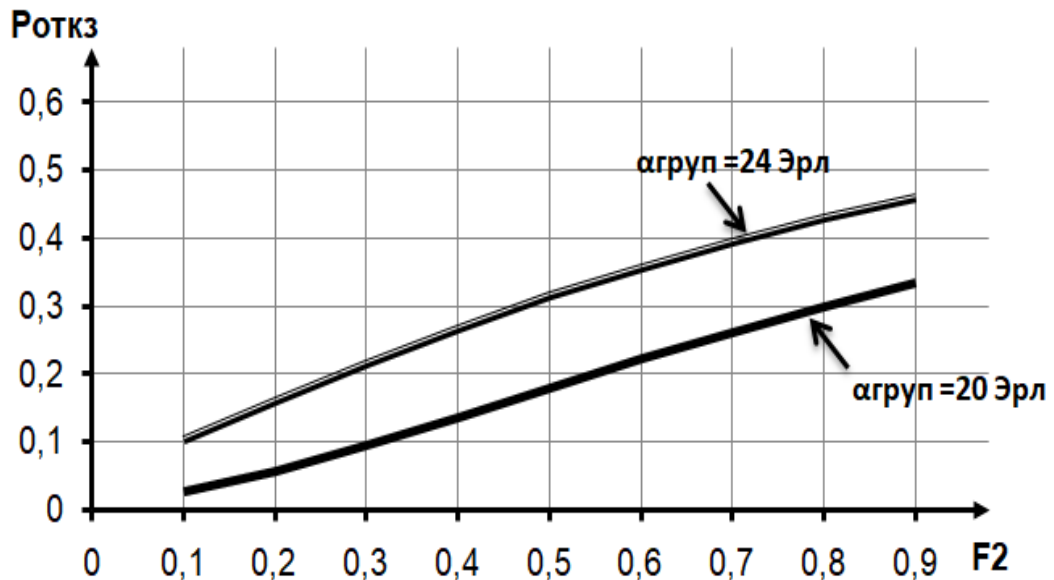


Рисунок 3.12. Зависимость вероятности отказов в предоставлении связи $R_{откз}$ при дуплексной связи от вероятности поступления вызовов в режиме дуплекса $F2$ при $V = 32$

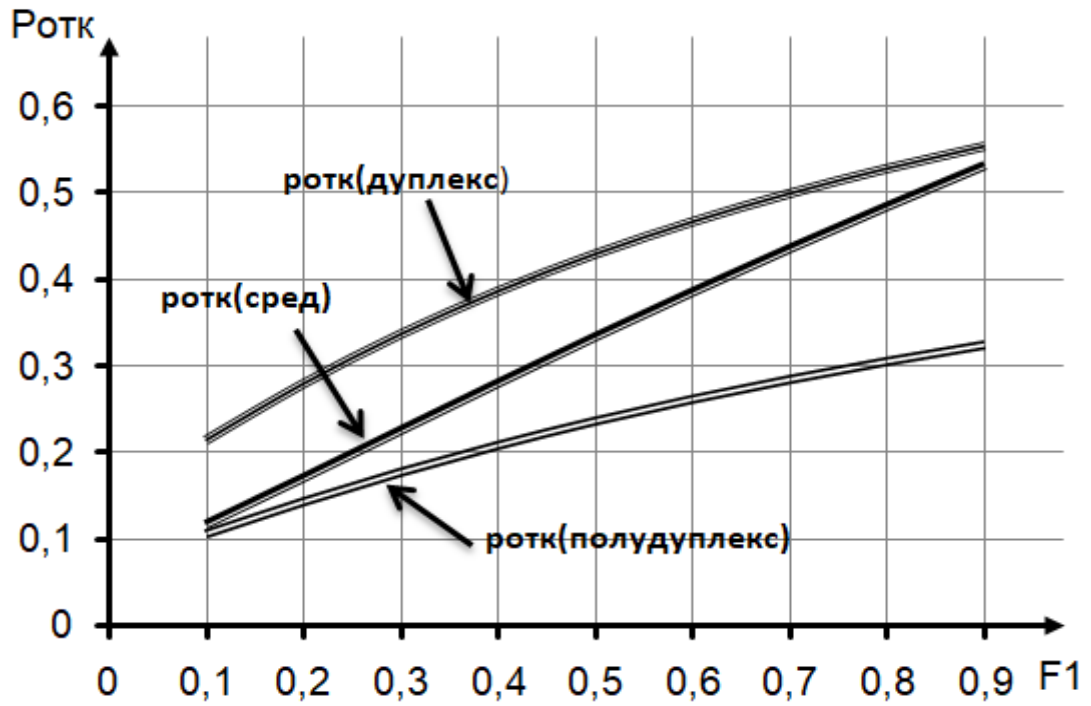


Рисунок 3.13. Зависимость вероятности отказов в предоставлении связи $Rotk$ при дуплексной связи от величины $F2$ при $V = 32$ и $\alpha_{групп} = 28$ Эрл

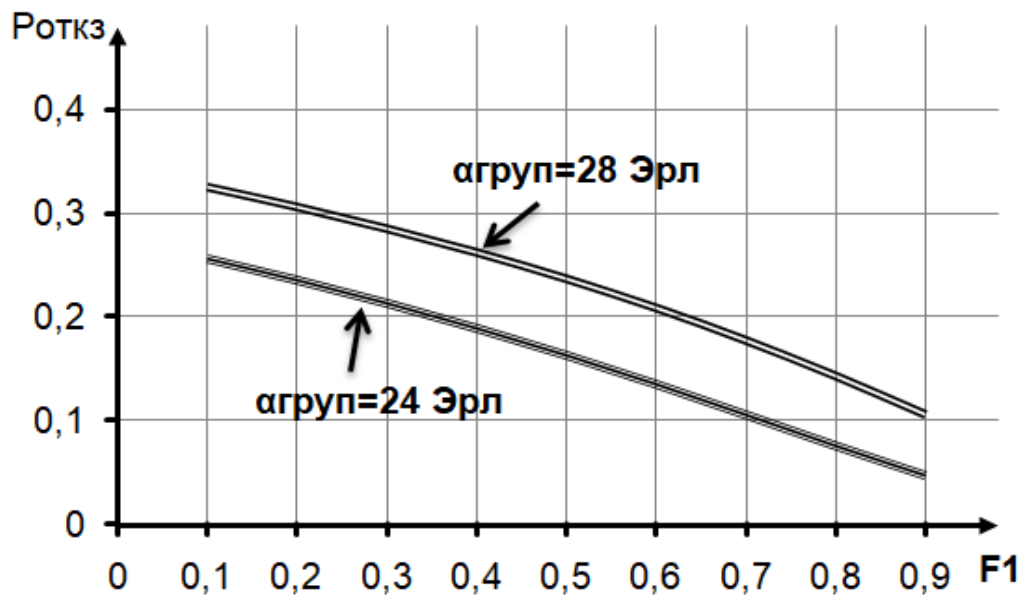


Рисунок 3.14. Зависимость вероятности отказов в предоставлении связи $Rotk$ от вероятности поступления вызовов в режиме полудуплекса $F1$ при $V = 32$

3.6.2. Оценка возможности использования БПЛА в качестве средства повышения пропускной способности системы TETRA

Варианты использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в «Системе 112» разнообразны. При необходимости они позволяют обеспечить мобильную связь в аварийных ситуациях там, где ее нет в данный момент, или в том случае, когда возникает какая-то чрезвычайная ситуация (ЧС). Использование БПЛА позволяет восстановить связь за считанные минуты.

Дальность связи определяется мощностью передатчиков БС и определяет радиус ячеек. Конфигурация ячеек (секторизованные, несекторизованные) выбирается в соответствии с данными по интенсивности пользовательской нагрузки и по числу радиоканалов в радиointерфейсе базовой станции.

Перспективны различные варианты использования БПЛА в сети TETRA. На рисунке 3.15. представлены варианты использования БПЛА [46,108].

В первом случае – это средство получения оперативной информации путем передачи фотографий и видео, то есть использования части радиоресурса для передачи мультимедийного трафика.

Во втором случае - это средство снижения перегрузок при возникновении чрезвычайных ситуаций, когда поступающая нагрузка будет превышать максимальный ресурс сети. Ресурс БПЛА представляет собой дополнительный ресурс для обеспечения связи всех абонентов в ячейках кластера при занятости всех радиоканалов в конкретной ячейке.

В третьем случае предлагается использование одного или нескольких БПЛА для повышения пропускной способности радиointерфейсов базовых станций. Каждый БПЛА охватывает определенную зону покрытия, в которой расположены несколько ячеек.

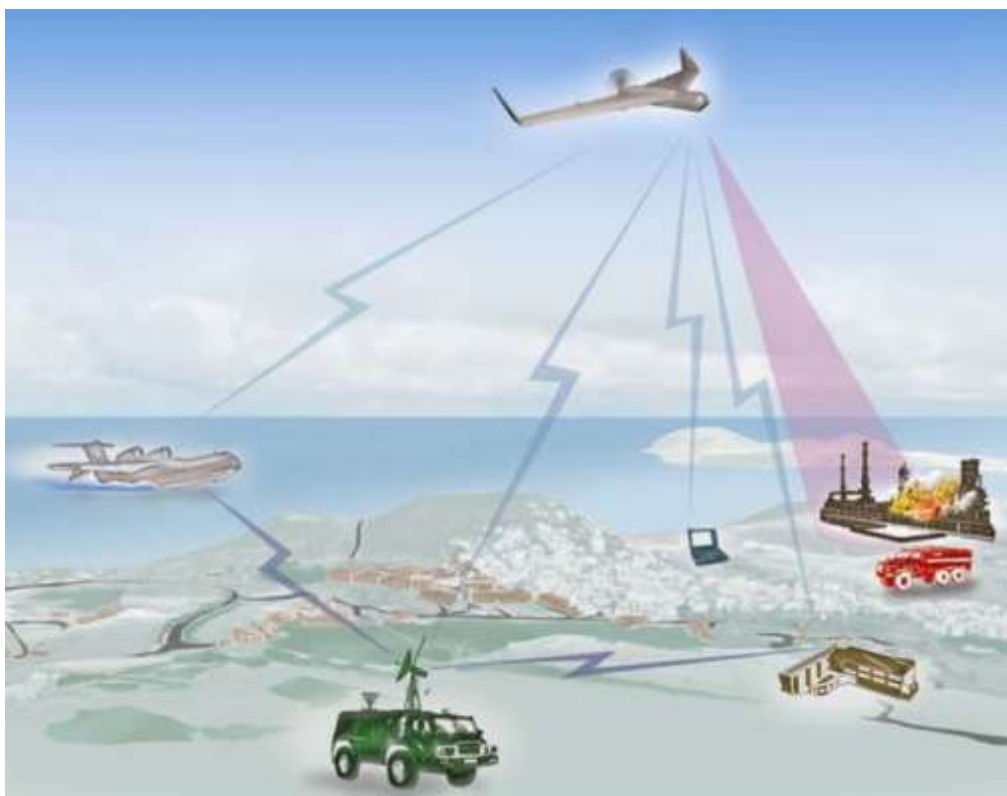


Рисунок 3.15. Варианты использования БПЛА

Рассмотрим возможный вариант системы, когда имеются 4 ячейки в одном кластере, как показано на рисунке 2.5 на стр. 49. В пределах кластера частоты повторяться не могут. Общий ресурс информационных каналов, доступных пользователям в одной ячейке кластера составляет

$$V_{\text{яч}} = (V_{\text{сум}} - V_{\text{вр}}) / L, \quad (3.5)$$

где $V_{\text{сум}}$ - общий ресурс информационных каналов, определяемый как

$$V_{\text{сум}} = 4 \times V_{\text{рк}}, \quad (3.6)$$

где 4 - коэффициент уплотнения в системе TETRA;

$V_{\text{рк}}$ - число радиоканалов;

$V_{\text{вр}}$ - выделенный ресурс для выхода на БПЛА;

L - Число ячеек в кластере.

Рассмотрим результаты расчета варианта использования БПЛА, объединяющего радиointерфейс кластера из четырех ячеек сети стандарта TETRA (см. табл. 3.18). Расчет выполнен при допустимых потерях в пучке обходного направления БПЛА $P_{\text{БПЛА}} = 0,001$. Число радиоканалов в каждой ячейке равно 12. Интенсивность нагрузки A_i на

радиоинтерфейс составляет 8 Эрл. Интенсивность нагрузки A_1 первой ячейки меняется от 8 Эрл до 24 Эрл.

Таблица 3.18 - Результаты расчета числа каналов $V_{\text{БПЛА}}$ в направлении БПЛА

$P_{\text{БПЛА}} = 0,001; V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = 12$				
$A_1, \text{ Эрл}$	$A_2, \text{ Эрл}$	$A_3, \text{ Эрл}$	$A_4, \text{ Эрл}$	$V_{\text{БПЛА}}$
8	8	8	8	13
16	8	8	8	21
24	8	8	8	31

Стандарт TETRA обеспечивает четырех кратное уплотнение несущих частот. В каждой ячейке идет работа на двух несущих частотах. В качестве общего ресурса следует обеспечить работу в БПЛА на 8 несущих частотах. Это позволит выдержать трехкратную перегрузку радиоинтерфейса первой ячейки. Общее число задействованных несущих частот составит $(2 \times 4 + 8) = 16$.

Таким образом, использование БПЛА помогает решать актуальные задачи ретрансляция радиосигналов с целью расширения возможностей наземных систем радиосвязи и управления трафиком при появлении перегрузок в сети, а также решает проблемы повышения надежности при выходе из строя части сети.

С точки зрения конкретной реализации использование БПЛА - перспективный вариант, поскольку увеличивается зона действия. Этим достоинством БПЛА похоже на как называемые зонтичные соты, которые были предположены как вариант уменьшения эстафетных передач в сотовых сетях связи. Второе достоинство заключается в том, что всегда имеет место неравномерная загрузка ячеек. Таким образом, ячейки, испытывающие перегрузки, можем разгрузить. Следовательно - обеспечить нормальную работу в сети. БПЛА будет использоваться для обслуживания вызовов, которые оказались избыточными для направлений прямого выбора (направление от абонента в ячейку, в зоне которой он находится).

Таким образом, БПЛА можно рассматривать как СМО, функционирование которой похоже на дополнительный ресурс обходного направления связи, позволяющего повысить пропускную способность, если одна из ячеек перегружена. Точка присутствия БПЛА может получить в системах радиосвязи, и в TETRA, статус направления связи. На него может направляться избыточный трафик (вызовы) от ячеек, имеющих непосредственную связь с активными абонентами (абоненты, которые находятся на связи).

3.6.3. оценки показателей качества обслуживания вызовов в базовой станции стандарта TETRA с учетом влияния мультимедийного трафика

Рассмотрим вариант использования радиointерфейса базовой станции стандарта TETRA, когда добавляется мультимедийный трафик. Результаты расчета вероятности отказа вызова в режиме полудуплекса $P_{отк1}$ и вероятности отказа в обслуживании мультимедийного вызова $P_{отк8}$ были получены с помощью программы, представленной в Приложении 5. При проведении расчета были выбраны значения $F1$ и $F8$ таким образом, чтобы результаты вероятностей отказов для дуплекса и мультимедиа были не больше, чем допустимая вероятность для систем мобильной связи, то есть не более 5%. В таблице 3.19 показаны Результаты расчетов.

Таблица 3.19. Результаты решения системы уравнений для БС системы TETRA емкостью $V=64$, при поступлении в группе: одной заявки с вероятностью $F1$ (режим полудуплекса); заявки мультимедиа с вероятностью $F8$, требуются восемь каналов; $F1 + F8 = 1$.

$\alpha_{групп} = 20 \text{ Эрл}, V = 64$				$\alpha_{групп} = 24 \text{ Эрл}, V = 64$			
F1	F8	$P_{отк1}$	$P_{отк8}$	F1	F8	$P_{отк1}$	$P_{отк8}$
0,87	0,13	0,002736	0,039679	0,91	0,09	0,002668	0,040351
0,9	0,01	0,0008301	0,014471	0,92	0,08	0,001666	0,027277
0,93	0,07	0,000142	0,003187	0,93	0,07	0,000958	0,017181
0,95	0,05	0,000025	0,000707	0,94	0,06	0,000496	0,009878
0,97	0,03	0,000001	0,000071	0,95	0,05	0,000223	0,005036
0,99	0,01	0,000000	0,000001	0,96	0,04	0,000082	0,002176
$\alpha_{групп} = 28 \text{ Эрл}, V = 64$				$\alpha_{групп} = 32 \text{ Эрл}, V = 64$			
0,94	0,06	0,002339	0,037925	0,96	0,04	0,002333	0,040128
0,95	0,05	0,001221	0,022279	0,97	0,03	0,000979	0,020077
0,96	0,04	0,000538	0,001382	0,98	0,02	0,000289	0,007587
0,98	0,02	0,000041	0,001382	0,99	0,01	0,000042	0,001655
$\alpha_{групп} = 36 \text{ Эрл}, V = 64$				$\alpha_{групп} = 40 \text{ Эрл}, V = 64$			
0,99	0,01	0,000042	0,001655	0,99	0,01	0,001498	0,034846

Рассмотрим также вариант, когда совместно используются режимы дуплекса (характеризуется вероятностью отказа Ротк2) и мультимедиа Ротк8 (см. таблицу 3.20 и рисунки 3.16 и 3.17). В таблице 3.21 представлены результаты расчетов для системы TETRA, в которой задействованы 24, 16 или 8 радиоканалов. С учетом четырехкратного временного уплотнения получаем, соответственно $V = 96$, $V = 64$ и $V = 32$.

Таблица 3.20. Результаты решения системы уравнений для БС системы TETRA при поступлении разного количества заявок в группе: в режиме дуплекса и мультимедиа

$\alpha_{\text{групп}} = 16$ Эрл, $V = 64$				$\alpha_{\text{групп}} = 20$ Эрл, $V = 64$			
F2	F8	Ротк2	Ротк8	F2	F8	Ротк2	Ротк8
0,91	0,09	0,006907	0,048485	0,98	0,02	0,005887	0,048339
0,92	0,08	0,005238	0,038648	0,99	0,01	0,003500	0,032713
0,93	0,07	0,003839	0,029957	$\alpha_{\text{групп}} = 24$ Эрл, $V = 64$			
0,95	0,05	0,001795	0,016061	F2	F8	Ротк2	Ротк8
0,97	0,03	0,000632	0,006868	0,99	0,01	0,026420	0,166814
0,99	0,01	0,000132	0,001906				
$\alpha_{\text{групп}} = 16$ Эрл, $V = 96$				$\alpha_{\text{групп}} = 20$ Эрл, $V = 96$			
F2	F8	Ротк2	Ротк8	F2	F8	Ротк2	Ротк8
0,65	0,35	0,008396	0,046285	0,78	0,22	0,007913	0,045037
0,7	0,3	0,004015	0,023976	0,8	0,2	0,005365	0,031976
0,75	0,25	0,001537	0,010102	0,85	0,15	0,001512	0,010366
0,8	0,2	0,000430	0,003184	0,9	0,1	0,000222	0,001856
0,85	0,15	0,000075	0,00065	0,95	0,05	0,000009	0,000101
$\alpha_{\text{групп}} = 24$ Эрл, $V = 96$				$\alpha_{\text{групп}} = 28$ Эрл, $V = 96$			
F2	F8	Ротк2	Ротк8	F2	F8	Ротк2	Ротк8
0,86	0,14	0,008491	0,049401	0,93	0,07	0,005954	0,037957
0,87	0,13	0,006645	0,039929	0,94	0,06	0,004063	0,027376
0,9	0,1	0,002693	0,018133	0,95	0,05	0,002605	0,018706
0,93	0,07	0,000764	0,005988	0,96	0,04	0,001546	0,011963
0,95	0,05	0,000239	0,002158	0,97	0,03	0,000828	0,007007
0,97	0,03	0,000048	0,000533	0,98	0,2	0,000384	0,003644
$\alpha_{\text{групп}} = 32$ Эрл, $V = 96$							

F2	F8	Ротк2	Ротк8	F2	F8	Ротк2	Ротк8
0,96	0,04	0,009545	0,059639	0,98	0,02	0,003700	0,027632
0,97	0,03	0,006239	0,041978	0,99	0,01	0,001916	0,015884

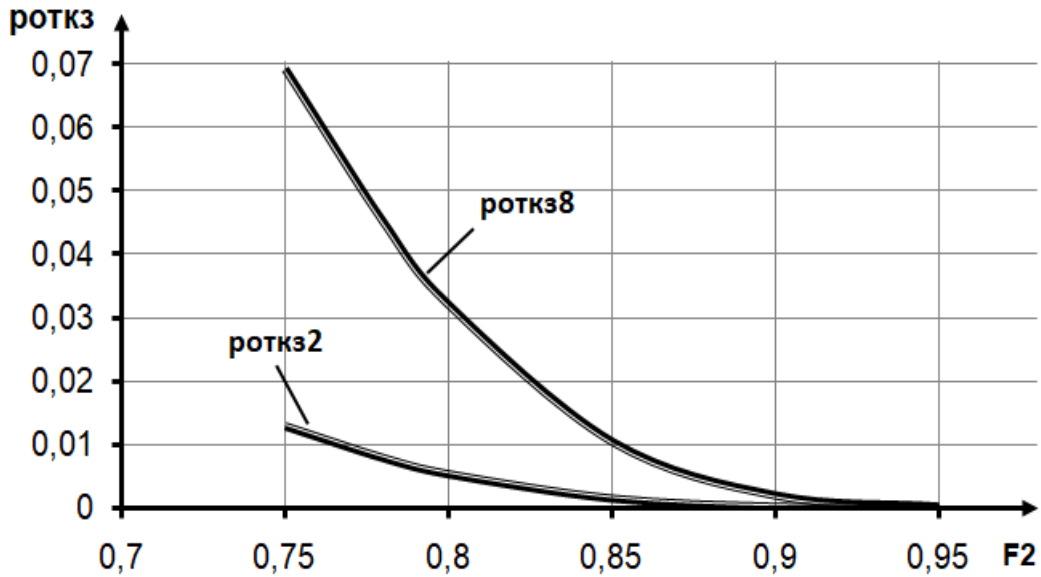


Рисунок 3.16. Зависимость вероятности отказов при дуплексной связи и мультимедиа от доли дуплексного трафика F2

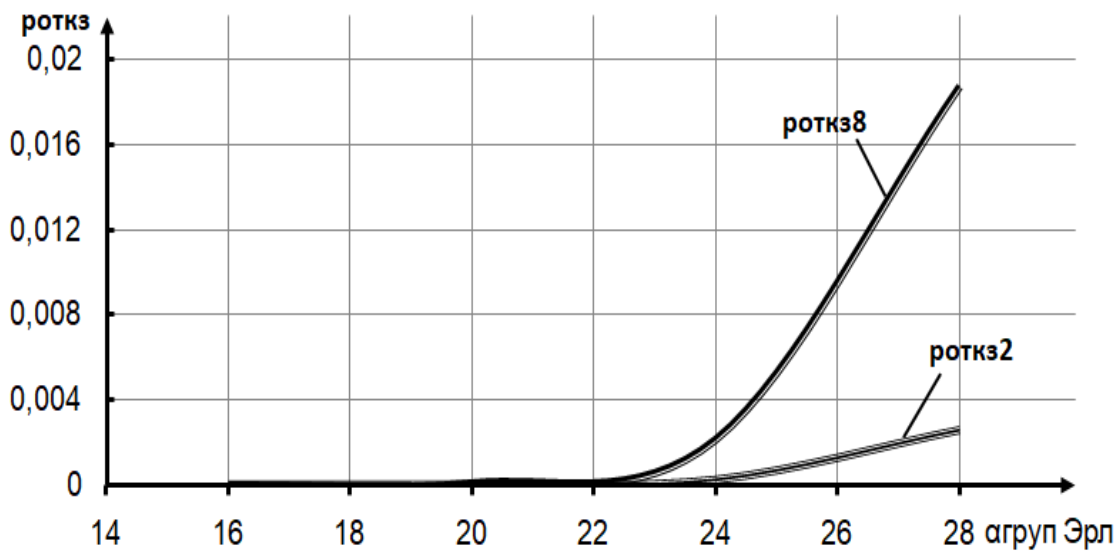


Рисунок 3.17. Зависимость вероятности отказов при полудуплексной связи и мультимедиа от интенсивности нагрузки при $V=96$, $F2=0,95$ и $F8=0,05$

Таблица 3.21. Результаты решения системы уравнений для БС системы TETRA при $F1 = 0,2$; $F2 = 0,6$; $F8 = 0,2$

$\alpha_{\text{групп}} = 20$ Эрл, $V = 96$					
F1	F2	F8	Ротк1	Ротк2	Ротк8
0,2	0,6	0,2	0,001348	0,002901	0,0182300
$\alpha_{\text{групп}} = 24$ Эрл, $V = 96$					
0,2	0,6	0,2	0,007439	0,015605	0,0823136
$\alpha_{\text{групп}} = 28$ Эрл, $V = 96$					
0,2	0,6	0,2	0,021861	0,044807	0,203409
$\alpha_{\text{групп}} = 20$ Эрл, $V = 64$					
0,2	0,6	0,2	0,041093	0,083453	0,353331
$\alpha_{\text{групп}} = 24$ Эрл, $V = 64$					
0,2	0,6	0,2	0,078176	0,154043	0,544836
$\alpha_{\text{групп}} = 28$ Эрл, $V = 64$					
0,2	0,6	0,2	0,118342	0,226895	0,689839
$\alpha_{\text{групп}} = 20$ Эрл, $V = 32$					
0,2	0,6	0,2	0,241019	0,432383	0,9308723

Расчет показал, что системы профессиональной радиотелефонной связи очень чувствительны к мультимедийному трафику. Его наличие допустимо только в крупных системах с числом радиоканалов более 24 радиоканалов, то есть с учетом временного уплотнения при $V \geq 96$ каналов трафика.

3.7. Выводы

1. Для маршрутизации избыточного трафика в системе экстренных служб могут использоваться различные методы его распределения и перенаправления. Как показали аналитические расчеты, при включении в систему взаимопомощи ЦОВ разной емкости существенное значение имеет последовательность расположения ЦОВ в цепочке маршрутизации. При расположении ЦОВ в порядке возрастания емкости операторских подсистем вероятность направления экстренных вызовов на IVR существенно снижается по сравнению с другими вариантами, но такая система взаимопомощи неустойчива к росту интенсивности трафика в ЧС.

2. Оценка потенциальной устойчивости системы к перегрузкам учитывала возможность исключения ЦОВ из цепочки маршрутизации. Крупные центры

обслуживания вызовов в большей степени подвержены снижению потенциальной устойчивости при уменьшении числа доступных ЦОВ, хотя и обладают большей устойчивостью к перегрузкам в ЧС.

3. перспективно использование более простого в реализации варианта – без дополнительной маршрутизации избыточного трафика между ЦОВ, ограничившись распределением избыточного трафика из зоны ЧС пропорционально емкости операторских систем V_j . Помимо простоты реализации такой вариант позволяет учесть такой фактор, как объединение в систему взаимопомощи центры обслуживания вызовов разной емкости (возможный вариант в Республике Йемен); возможность оперативного перераспределения потоков трафика при перегрузке или выходе из строя отдельных центров обслуживания экстренных вызовов.

4. Исследовано функционирование системы взаимопомощи с учетом влияния оперативного резерва, выделяемого в ЦОВ различных зон обслуживания с целью поддержания высокого качества обслуживания в конкретной зоне.

5. Организация центра оперативного реагирования ЦОВ ОР для обслуживания экстренных вызовов позволяет снизить риск критических перегрузок при одновременном возникновении нескольких ЧС. Однако пропускная способность всей системы может увеличиваться только экстенсивно, то есть за счет организации дополнительных рабочих мест в ЦОВ ОР. Возможно нерациональное использование ресурсов ЦОВ ОР.

6. При ликвидации последствий ЧС силами специальных экстренных служб взаимодействие между ними может обеспечиваться при помощи средств профессиональной радиотелефонной связи. Перспективно использование беспилотных летательных аппаратов БПЛА как эффективного средства получения объективной информации и как дополнительного ресурса связи.

7. Проведенные расчеты вероятности отказов в обслуживании из-за занятости всех каналов радиointерфейса в системе TETRA показали, что системы профессиональной радиотелефонной связи чувствительны к мультимедийному трафику. Его наличие допустимо в крупных системах с числом радиоканалов более 24 радиоканалов.

Раздел 4. Разработка метода повышения пропускной способности системы экстренных служб

4.1. Разработка рекомендаций по организации функционирования системы экстренных вызовов с учетом выделения оперативного резерва

Зададим требование к обслуживанию экстренных вызовов, поступающих от пользователей j -ой зоны обслуживания $P_{\text{ЦОВ}j} \leq 0,01$. Для вызовов из зоны ЧС зададим требование $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,01$. Целью расчета является уточнение величины допустимой интенсивности избыточного трафика $A_{\text{избыт доп}}$, а также допустимой величины интенсивности трафика в ЦОВ-ЧС $A_{\text{ЧС доп}}$. Результаты расчета представлены в таблице 4.1 и на рисунке 4.1.

Таблица 4.1. Результаты расчета допустимой избыточной нагрузки $A_{\text{ЧС доп}}$ в зависимости от количества оперативного резерва $V_{j\text{рез}}$ при исходных данных: $V_j = V_{\text{ЧС}} = 30$, $W = 3$ и $A_j = 10$ Эрл; $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,01$ и $P_{\text{ЦОВ}j} \leq 0,01$

$V_j=30 \quad W=3$				
$V_{j\text{рез}}$	$A_{\text{ЧС доп}}$	$A_{\text{избыт доп}}$	$P_{\text{ЦОВ системы}}$	$P_{\text{ЦОВ}j}$
0	60.01	30,90	0.00996	0.0099711
1	55.78	26,79	0.00997	0.0019932
2	52.69	24,07	0.00997	0.0004840
3	49.91	21,15	0.01000	0.0001250
4	47.18	18,57	0.00997	3.33*E-5
5	44.45	16,02	0.00999	9.18*E-6
6	41.71	13,51	0.00997	2.59*E-6
7	38.88	10,98	0.00996	7.52*E-7
8	35.97	8,49	0.00995	2.25*E-7
9	32.89	6,03	0.00997	6.91*E-8
10	29,38	3,57	0.00998	2.21*E-8

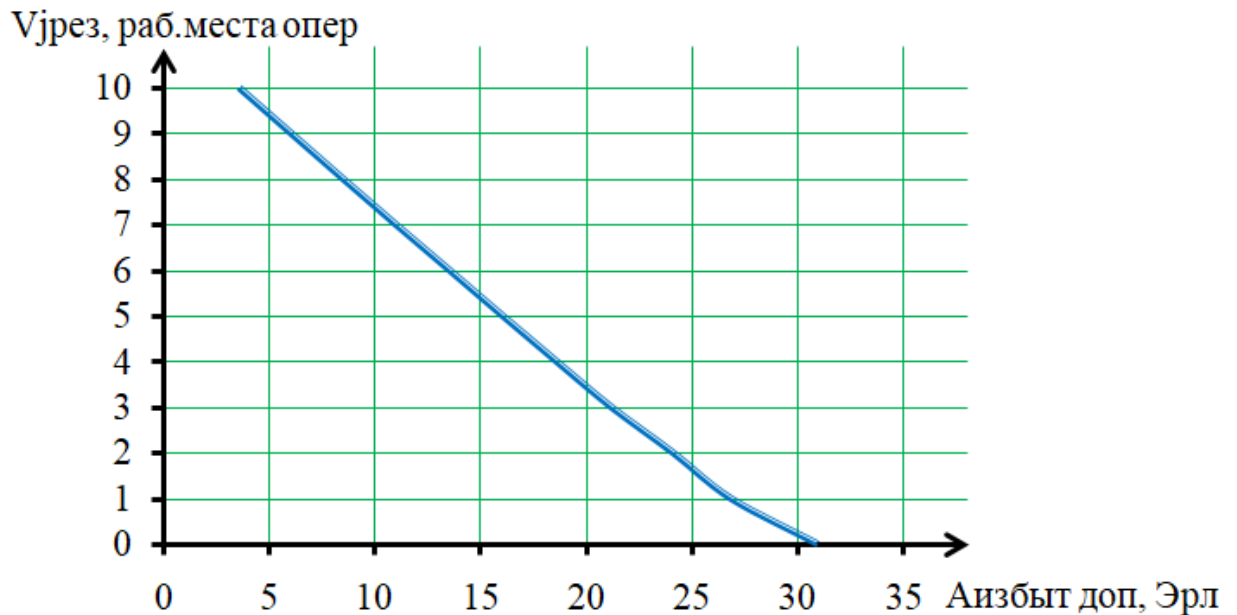


Рисунок 4.1. Зависимость количества оперативного резерва от допустимой избыточной нагрузки при $V_j = 30$, $W = 3$, $A_j = 10$ Эрл $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,001$ $P_{\text{ЦОВ } j} \leq 0,001$

Анализ полученной зависимости показывает, что при соблюдении поставленных требований по величинам $P_{\text{ЦОВ } j}$ и $P_{\text{ЦОВ системы}}$ величина $A_{\text{ЧС доп}}$ и величина оперативного резерва $V_{\text{рез}}$ взаимосвязаны.

Для данного варианта можно рекомендовать ограничить $V_{\text{рез}}$ величиной $V_{\text{рез}} = 4$. Если выбрать оперативный резерв величиной $V_{\text{рез}} = 5$ и более, то получаем практически безотказное обслуживание экстренных вызовов в j -ом районе (ЦОВ $_j$ не догружен), а коэффициент потенциальной устойчивости ЦОВ-ЧС к перегрузкам h не поднимется выше значения $h = 4.72$ при $V_{\text{рез}} = 4$. Следует отметить, что включение в систему 26 операторов ЦОВ j -ой зоны обслуживания из тридцати, означает, что все тридцать операторов центра будут также доступны жителям j -ой зоны обслуживания, и, кроме того, 26 операторов будут включены в систему при ЧС.

Часть имеющегося ресурса операторов на ЦОВ экстренных служб должна оставаться в оперативном резерве. Может также использоваться величина $V_j^{\text{пом}}$, характеризующая число рабочих мест в ЦОВ $_j$, включаемых в систему экстренных служб за вычетом оперативного резерва.

4.2. Разработка методики объединения ресурсов центров обслуживания вызовов в систему экстренных служб

Разрабатываемая методика должна учитывать данные статистики по росту числа экстренных вызовов в режиме ЧС для уточнения необходимого коэффициента потенциальной устойчивости ЦОВ-ЧС к перегрузкам h , определения емкости и числа центров обслуживания экстренных вызовов, включаемых в систему взаимопомощи.

Для сравнения вариантов объединения ресурсов ЦОВ в систему взаимопомощи делается предположение об использовании дисциплины обслуживания вызовов с отказами (на практике речь идет о направлении необслуженных операторами вызовов на интерактивное голосовое меню).

Предположим, что по данным статистики ожидается пятикратный рост трафика в режиме ЧС относительно среднего значения $A_j = 10$ Эрл, то есть можно принять $h = 5$. В наличии имеются несколько ЦОВ, емкость которых V_j может регулироваться. Зададим величину $P_{\text{ЦОВ системы}}$.

Тогда в соответствии с результатами ранее проведенных расчетов (см. табл. 3.7 на стр.66 и табл. 3.9 на стр. 68) для выполнения условия $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,01$ в систему взаимопомощи следует включить минимум три ЦОВ емкостью $V_j = 36$ операторов, один из которых может находиться в зоне ЧС ($W = 2$).

Зависимость коэффициента h от величины V_j носит линейный характер (см. рисунок 4.2). Используя метод линейной аппроксимации, можем записать при $A_j = 10$ Эрл и $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,001$ получаем, что

для определения величины h можно использовать следующее выражение

$$h = a \cdot V_j + b, \quad (4.1)$$

где при $W = 2$ получаем значения $a = 0,26375$ и $b = -3,79$;

при $W = 4$ получаем значения $a = 0,41375$ и $b = -6,84$;

при $W = 6$ получаем значения $a = 0,564375$ и $b = -9,955$.

Используя метод линейной аппроксимации, при $A_j = 10$ Эрл и $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,01$ получаем, что для определения величины h можем использовать формулу (3.2),

где при $W = 2$ получаем значения $a = 0,2785$ и $b = -3,44$;

при $W = 4$ получаем значения $a = 0,446$ и $b = -6,29$;

при $W = 6$ получаем значения $a = 0,614$ и $b = -9,92$.

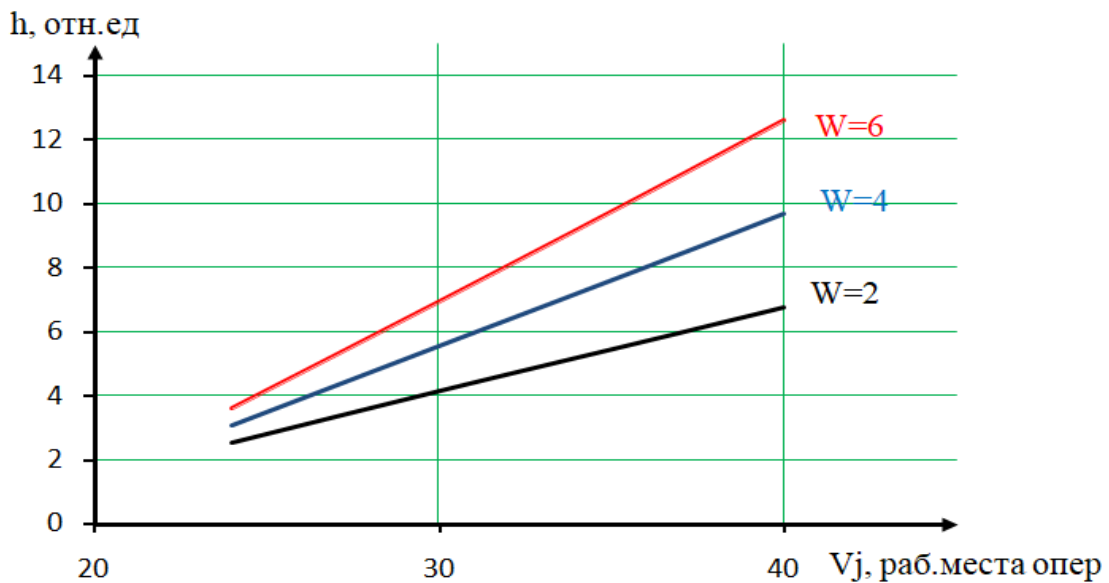


Рисунок 4.2. Зависимость коэффициента устойчивости к перегрузкам h от числа операторов в j -ом центре обслуживания экстренных вызовов при $A_j = 10$ Эрл и

$$P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,001$$

Для выполнения более жесткого условия $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,001$ в систему взаимопомощи следует включить минимум пять ЦОВ емкостью $V_j = 30$ операторов, один из которых может находиться в зоне ЧС ($W = 4$).

Возможен обратный подход – по известному числу ЦОВ, ресурс которых объединяется в систему взаимопомощи, и заданному коэффициенту устойчивости к перегрузкам h можно производить оценку необходимого числа рабочих мест V_j .

Например, выполнение условия $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,01$ при $A_j = 10$ Эрл может быть достигнуто объединением четырех ЦОВ ($W = 3$) емкостью $V_j = 30$, что обеспечит устойчивость $h = 6,0$. Выбор $V_j = 40$ обеспечит устойчивость на уровне $h = 9,63$.

В систему взаимопомощи экстренных служб могут включаться (для снижения затрат) ЦОВ коммерческого назначения, имеющие достаточно высокий технический уровень. Как показывает опыт работы ЦОВ различных операторов связи, превышение значения использования рабочего места оператора $U > 0,6$ повышает текучесть кадров, и затраты на переподготовку персонала. Проведем расчеты $A_{\text{ЧС доп}}$, исходя из того, что величина A_j зафиксирована на уровне $A_j = U \cdot V_j = 0,6 \cdot V_j$.

Результаты расчета коэффициента потенциальной устойчивости ЦОВ ЧС к перегрузкам h при $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,01$ представлены в таблице 4.2.

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод:

степень влияния величины W в системе взаимопомощи на коэффициент h снижается при выполнении требования $A_j = 0,6 \cdot V_j$. Например, при $V_j = 40$ увеличение W с единицы до четырех обеспечивает рост коэффициента h в 1,4 раза. При наличии четырех объединяемых ЦОВ ($W = 3$) выбор $V_j = 30$ обеспечивает устойчивость $h = 1,89$.

Таблица 4.2. Результаты расчета допустимой интенсивности нагрузки $A_{\text{ЧС доп}}$, при которой будут выполнены условия $P_{\text{ЦОВ системы}} \leq 0,01$ при $A_j = 0,6 \cdot V_j$. Эрл

Число операторов V_j	A_j	$A_{\text{ЧС доп}}$, Эрл	Коэффициент h	Число операторов V_j	A_j	$A_{\text{ЧС доп}}$, Эрл	
$W = 1$				$W = 2$			
24	14.4	18.85	1.31	24	14.4	21.01	1.46
30	18	27.24	1.51	30	18	31.02	1.72
36	21.6	35.24	1.63	36	21.6	40.67	1.88
40	24	40.54	1.69	40	24	47.09	1.96
$W = 3$				$W = 4$			
24	14.4	22.66	1.57	24	14.4	24.07	1.67
30	18	34.13	1.89	30	18	36.96	2.05
36	21.6	45.33	2.10	36	21.6	49.7	2.3
40	24	52.84	2.2	40	24	58.28	2.43

Таким образом, с одной стороны, устойчивость системы к ЧС при соблюдении требования $A_j = U \cdot V_j = 0,6 \cdot V_j$ существенно ниже, чем при ранее рассмотренном варианте, когда ресурсы ЦОВ используются только для обслуживания экстренных вызовов. Но следует учитывать влияние такого фактора как неготовность к режиму ЧС. Низкий уровень трафика в отсутствие ЧС вызывает желание сэкономить на трудовых ресурсах. Поэтому в режиме ЧС реальное число операторов может быть существенно ниже заявленного в проектной и эксплуатационной документации.

С другой стороны, актуален и возможен вариант быстрого перехода операторов ЦОВ от сиюминутных, традиционно решаемых задач на задачи приема вызовов ЧС. Поэтому при оценке устойчивости системы экстренных служб к перегрузкам и выборе варианта объединения ресурсов ЦОВ следует исходить из оценок функционирования системы экстренных служб для варианта, когда ресурсы ЦОВ используются только для обслуживания экстренных вызовов, учитывая необходимость и возможность быстрой мобилизации ресурса операторских систем в режиме ЧС.

Таким образом, по результатам проведенных аналитических расчетов разработана методика, позволяющая по известному числу ЦОВ, ресурс которых объединяется в систему взаимопомощи, и заданному коэффициенту устойчивости к перегрузкам h производить оценку необходимого числа рабочих мест V_j в центрах обслуживания экстренных вызовов.

4.3. Разработка метода объединения и эффективного использования ресурсов системы экстренных служб

Разрабатываемый метод должен учитывать следующие факторы:

наличие материально - технического ресурса для организации взаимодействия (взаимопомощи) центров обслуживания экстренных вызовов.

необходимость «привязки к местности» с целью определения числа ЦОВ экстренных служб в системе;

наличие данных статистики по экстренным службам данного региона или территориального образования, характеризующих трафик экстренных служб (в том числе, предполагаемый уровень трафика в режиме ЧС).

Определим этапы и основной функционал метода объединения и эффективного использования ресурсов системы экстренных служб.

1 этап предусматривает анализ перечисленных выше факторов для оценки перспективности объединения ресурсов центров обслуживания экстренных вызовов в распределенную систему взаимопомощи, и уточнения их количества. А также для определения возможности и необходимости организации выделенного центра оперативного реагирования. Следует учитывать возможность включения в систему экстренных служб ряда ЦОВ сторонних операторов связи (возможный вариант в Республике Йемен).

2 этап предполагает предварительный выбор варианта или вариантов организации взаимопомощи (в том числе - с привлечением методов управления трафиком ORR и COR). Наиболее перспективным представляется следующий вариант. Часть нагрузки обслуживается в ЦОВ ЭС-ЧС, в зоне обслуживания которого, зафиксирована ЧС. Избыточный трафик от него при помощи распределителя направляется на центры обслуживания вызовов системы взаимопомощи, объем такого трафика устанавливается пропорционально реальной емкости этих ЦОВ ЭС.

В простоте его реализации имеется ряд преимуществ:

в работе распределителя можно учитывать такой фактор, как объединение в систему взаимопомощи центров обслуживания вызовов разной емкости (возможный вариант в Республике Йемен);

возможно оперативное перераспределение потоков трафика при перегрузке или выходе из строя отдельных центров обслуживания экстренных вызовов;

взаимопомощь может быть реализована на постоянной основе.

На 3 этапе необходимо провести анализ данных статистики по росту числа экстренных вызовов в режиме ЧС, уточнив требования к величине h - коэффициенту потенциальной устойчивости ЦОВ-ЧС к перегрузкам. Далее на основе методики, изложенной в подразделе 4.2. с учетом величины h должно выполняться определение емкости операторских служб и числа центров обслуживания экстренных вызовов, включаемых в систему взаимопомощи.

4 этап предусматривает выбор конкретного варианта оперативного резервирования ресурсов операторских систем для поддержания приемлемого уровня обслуживания экстренных вызовов в зонах ответственности ЕДДС, входящих в систему взаимопомощи, но не охваченных ЧС.

5 этап предполагает выбор варианта построения системы обслуживания экстренных вызовов с учетом результатов расчета показателей работы системы при соблюдении общего требования минимизации расходов и эффективного использования ресурсов (в том числе, с привлечением ресурсов ЦОВ коммерческого использования).

6 этап должен предусматривать организацию и эффективное использование ресурсов системы профессиональной радиотелефонной связи, которая позволит в режиме ЧС обеспечивать альтернативную мобильную связь между службами и подразделениями, задействованными в ликвидации ЧС. Для уточнения соотношения между интенсивностью трафика, количеством радиоканалов, режимом работы (полудуплекс, дуплекс, мультимедиа) и вероятностью отказов в обслуживании предлагается использовать разработанную математическую модель функционирования системы и результаты аналитических расчетов. Из-за высокой чувствительности к мультимедийному трафику, его наличие допустимо в крупных системах с числом радиоканалов более 24 радиоканалов.

4.4. Результаты моделирования системы обслуживания экстренных вызовов

4.4.1. Описание принципов моделирования и оценки достоверности полученных результатов

На рисунке 4.3. показан перспективный вариант организации взаимопомощи, для которого наряду с аналитическими расчетами выполнялось моделирование. Предполагается, что избыточный трафик из зоны ЧС через распределитель направляется в ЦОВ системы взаимопомощи с учетом их потенциальной пропускной способности и возможности выделения оперативного резерва в операторской подсистеме [101,103].

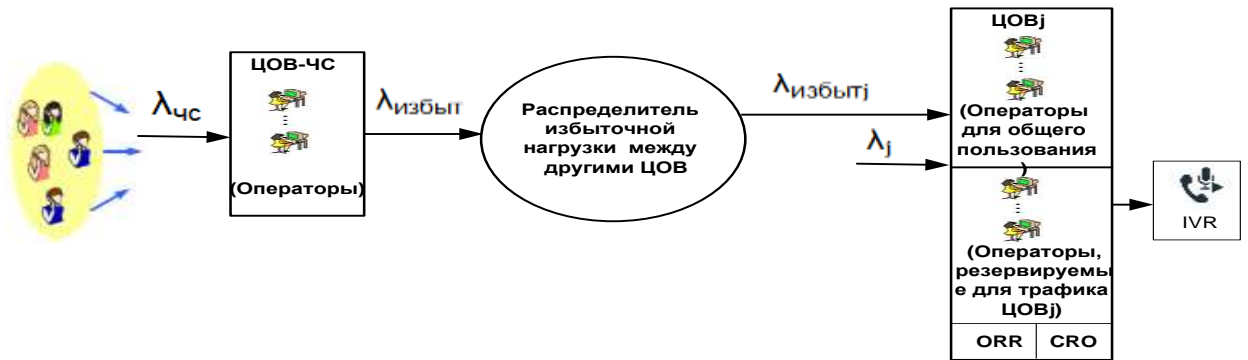


Рисунок 4.3. Вариант организации распределенной системы экстренных служб

с помощью моделирования получается приближенная оценка характеристик качества обслуживания, но за счет использования специальных методов моделирования достигается требуемая достоверность, которая обычно оценивается по критерию Стьюдента [18]. Предположим, проводилось моделирование работы некоторой системы массового обслуживания с целью определения вероятности потерь по вызовам (в нашем случае – направление вызова в систему IVR). Всего должно быть выполнено несколько серий испытаний $i=1, \dots, m$. В конце каждой серии выполняется оценка вероятности направления вызова в систему IVR для данной i -ой серии испытаний, которую будем в дальнейшем обозначать величиной P_{yi} . среднее значение вероятности направления вызова в систему IVR вычисляется по формуле

$$P^* \hat{y} = (1/m) \sum_{i=1}^m P_{yi}. \quad (4.2)$$

Вычисляется среднеквадратичное отклонение по формуле

$$\sigma_0 = \sqrt{(m-1)^{-1} \sum_{i=0}^m (P\hat{y}_i - P^* \hat{y})^2}. \quad (4.3)$$

Точность статистической оценки ε^* вычисляется по формуле

$$\varepsilon^* = Z_{m-1}^* \left(\frac{\sigma_0}{\sqrt{m}} \right) \quad (4.4)$$

Где Z_{m-1}^* - табулированный коэффициент. При $m > 20$ и доверительной вероятности 0,95, величина Z_{m-1}^* принимает значение 1,96 .

По результатам моделирования обычно проводится определение доверительного интервала $(P^* \hat{y} - \varepsilon^*) \div (P^* \hat{y} + \varepsilon^*)$, который должен содержать в себе полученную ранее теоретическим путем вероятность направления вызова в систему IVRРтеор.

Если величина направления вызова в систему IVRРтеор, которая получается в результате аналитических расчетов, попадает в доверительный интервал, то делается вывод, что с доверительной вероятностью 0,95 аналитические результаты совпадают результатами моделирования.

4.4.2. Описание этапов моделирования процесса обслуживания вызовов в системе экстренных служб с учетом выделения оперативного резерва

Для проверки аналитических расчетов было проведено статистическое моделирование функционирования системы взаимопомощи экстренных служб. Программа моделирования процесса обслуживания экстренных вызовов в системе была написана в среде языка программирования C# (visual Studio 2017) [8,88]. Программа учитывает, что избыточный трафик из зоны ЧС направляется на другие ЦОВ системы взаимопомощи, и имеется возможность выделения оперативного резерва в ЦОВ- j для трафика, поступающего из j - ой зоны обслуживания. Программа моделирования представлена в Приложении 6.

В программе моделирования были использованы независимые генераторы псевдослучайных чисел. В нашем случае использовались четыре генератора, которые обеспечивают, соответственно:

генерацию моментов поступления новых заявок (вызовов) в зоне ЦОВ-ЧС;

генерацию моментов поступления новых заявок (вызовов) в зоне ЦОВ- j ;

генерацию продолжительности обслуживания заявки в зоне ЦОВ-ЧС;

генерацию продолжительности обслуживания заявки в зоне ЦОВ-j.

В программе моделирования были использованы генераторы псевдослучайных чисел ξ_{n+1} с равномерным законом распределения $p(x) = 1$ при $0 \leq x \leq 1$ и $p(x) = 0$ в остальных случаях. В программе использовалась следующая формула для генерации

$$\xi_{n+1} = F \left\{ \begin{array}{l} \xi_n \\ z_n \end{array} + \pi \right\}, \quad (4.5)$$

где ξ_0 и z_0 - начальные значения генератора;

$$z_{n+1} = z_n + 10^{-8};$$

функция $F\{z\}$ – дробная часть от z .

Использование таких генераторов обеспечивает до 10^8 неповторяющихся чисел. Непосредственно при написании программы вместо символа ξ был использован символ e .

Псевдослучайные числа вида ξ , полученные на выходе генератора, использовались для генерации выборки случайной величины X с распределением $F(x)$. Искомая случайная величина X получается с помощью метода обратногопреобразования $X = F^{-1}(\xi)$, где F^{-1} - функция обратная F .

Для экспоненциального распределения с функцией распределения $F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$ случайная величина X получается таким образом:

$$X = -\left(\frac{1}{\lambda}\right) \cdot \text{Log}(1 - \xi). \quad (4.6)$$

Случайная величина X в нашем случае соответствует интервалу времени между моментами поступления соседних вызовов.

Алгоритм написания программы представлен следующими этапами.

1 этап предусматривает задание начальных значений параметров.

Перечислим исходные данные:

$V_{\text{чс}}$ – число операторов в ЦОВ-ЧС; $V_{\text{цов}}$ – число операторов в ЦОВ-j; $V_{\text{рез}}$ – число резервируемых операторов в ЦОВ-j; $\text{lamda}_{\text{чс}}$ и $\text{lamda}_{\text{цов}}$ – среднее число вызовов, поступающих, соответственно, в ЦОВ ЧС и ЦОВ-jв единицу времени.

Устанавливаются:

начальное значение состояния счетчика для вызовов в зоне ЦОВ ЧС $T_{\text{чс}} = 0$; начальное значение счетчика вызовов в зоне ЦОВ-j $T_{\text{цов}} = 0$;

время продолжительности моделирования T_m .

В нашем случае число серий испытаний устанавливалось $m=40$.

Также в начале каждой серии испытаний устанавливаются начальные значения генераторов. Они представляют собой случайные величины, поэтому их значения после проведения каждой серии измерений можно автоматическим образом генерировать с помощью генераторовслучайных чисел среды языка программирования C# (с помощью функции Random). Такой подход экономит много времени при моделировании.

2 этап предусматривает работу со счетчиком текущего времени.

После установки начальных значений генераторов, первый генератор генерирует величину d с помощью функцией `get_rand()`. Величина d представляет собой интервалом времени между моментами поступления новых заявок (вызовов) в зоне ЦОВ-ЧС.

Состояние счетчика текущего времени $T_{\text{чс}}$ увеличивается на величину d после каждого обращения к генератору 1 [18]. для вычисления текущего момента времени используется соотношение $T_{\text{чс}} = T^*_{\text{чс}} + d$, где

$T^*_{\text{чс}}$ - момент поступления предыдущего вызова.

Второй генератор генерирует величину q с помощью функцией `get_rand_цов()`. Величина q представляет собой интервал времени между моментами поступления новых заявок (вызовов) в зоне ЦОВ- j .

Состояние счетчика текущего времени T увеличивается на величину q после каждого обращения к генератору 2 [18]. Для вычисления текущего момента времени $T_{\text{цов}} = T^*_{\text{цов}} + q$,

где $T^*_{\text{цов}}$ - момент поступления предыдущего вызова в зоне ЦОВ- j .

Окончание моделирования определяется по условию $T_{\text{цов}} > T_m$ и $T_{\text{чс}} > T_m$.

3 этап предполагает определение состава счетчиков для фиксации заявок поступивших в зонах ЦОВ ЧС и ЦОВ- j :

счетчик числа поступивших вызовов в зоне ЦОВ ЧС (K);

счетчик числа поступивших вызовов в зоне ЦОВ - j ($K_{\text{цов}}$);

счетчик числа избыточных вызовов, направленных из ЦОВ ЧС в ЦОВ- j ;

счетчик числа вызовов, потерянных на альтернативном направлении u ;

счетчик числа избыточных вызовов, направленных на систему IVR (IVR-избыт);

счетчик числа поступивших вызовов в зоне ЦОВ- j , направленных на систему IVR (IVR_цов).

4 этап предполагает образование несколько массивов данных. Состав и структура массивов данных, использованных при моделировании преставлен в Приложении 5.

5 этап: в начале программы устанавливается исходное нулевое состояние всех массивов записей и всех счетчиков.

4.4.3. Анализ результатов моделирования системы обслуживания экстренных вызовов

Результаты моделирования процесса обслуживания вызовов в системе обслуживания экстренных вызовов с учетом выделения оперативного резерва, а также результаты аналитических расчетов представлены в таблицах 4.3 и 4.4, а также на рисунках 4.4 - 4.11. Точность и достоверность моделирования оценивалась по критерию Стьюдента.

Начнем анализ результатов моделирования с данных, представленных в таблице 4.3. Результаты моделирования сравнивались с результатами аналитического расчета:

величины $P_{IVRЧС}$, которая отображает вероятность того, что вызов из зоны ЧС будет направлен на IVR(то есть не обслужен оператором системы взаимопомощи);

величины P_{IVRj} , которая отображает вероятность того, что вызов из j -ой зоны обслуживания будет направлен на IVR.

Результаты моделирования для этих вариантов завершения обслуживания экстренных вызовов отмечены признаком Э, причем велась оценка для среднего значения и для доверительного интервала моделирования.

Как показано в таблице 4.3 и на рисунках 4.4 - 4.9, результаты аналитического расчета величин $P_{IVRЧС}$ и P_{IVRj} находятся в доверительном интервале моделирования и близки с средним значениям величин $P^*_{IVRЧС_Э}$ и $P^*_{IVRj_Э}$.

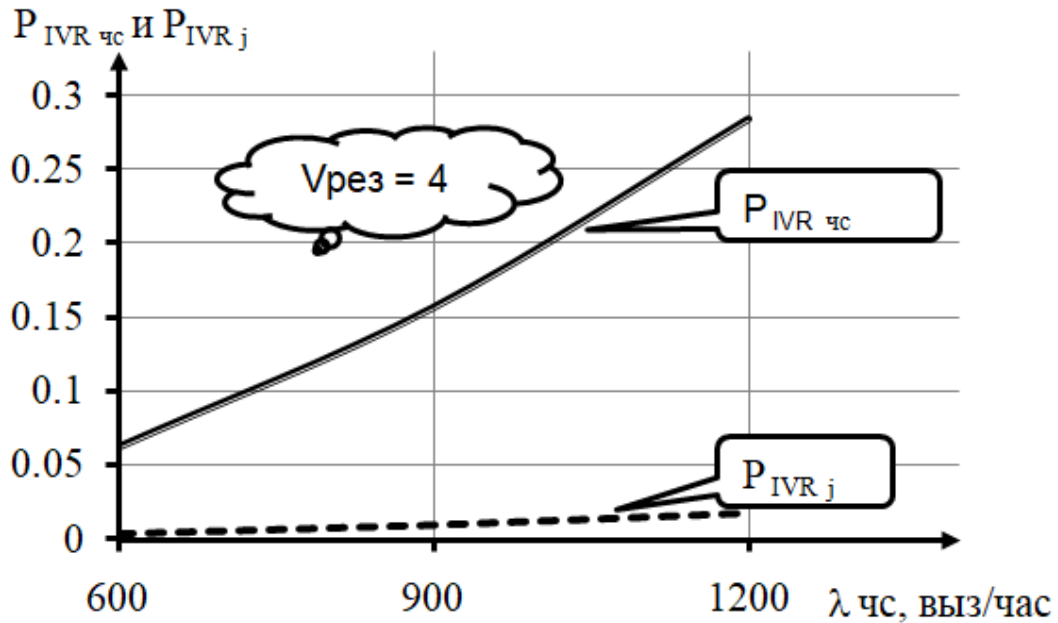


Рисунок 4.4. Результаты аналитических расчетов вероятностей $P_{IVR\text{ чс}}$ и P_{IVRj} при $V_j = 30$, $W = 4$, $\lambda_j = 360$ выз/час, $\mu = 20$ [1/ час], $V_{рез} = 4$ [раб. места опер]

Таблица 4.3. Результаты аналитического расчета и моделирования при $V_j = 30$, $W = 4$

Данные моделирования и аналитического расчета при $V_j=30, W=4, \lambda_j=360$ выз/час $\mu=20$ [1/ час]; $t_{обс} = 3$ минуты						
Число мест оперативного резерва в ЦОВ _j $V_{рез}$	Результаты имитационного моделирования, общее число серий равно $m=40$, продолжительность моделирования для одной серии $T_m = 2$ часа				Результаты аналитического расчета	
	$P^*_{IVR\text{чс}_\text{э}}$	Доверительный интервал для $P^*_{IVR\text{чс}_\text{э}}$	$P^*_{IVRj_\text{э}}$	Доверительный интервал для $P^*_{IVRj_\text{э}}$	$P_{IVR\text{чс}}$	P_{IVRj}
$\lambda_{\text{чс}} = 600$ выз/час						
0	0,007998	(0,002335-0,0136619)	0,004757	(0,0020569-0,007457)	0,004883	0,004883
2	0,025235	(0,014091-0,036380)	0,004180	(0,002075-0,006284)	0,023494	0,004390
3	0,036929	(0,024194-0,049664)	0,00369	(0,002258-0,00499)	0,039692	0,004165
4	0,068338	(0,045296-0,091380)	0,003432	(0,000967-0,005898)	0,062479	0,003955
$\lambda_{\text{чс}} = 900$ выз/час						
0	0,022226	(0,015663-0,028789)	0,020614	(0,0145131-0,026716)	0,021599	0,021599
2	0,067344	(0,046570-0,0881184)	0,011704	(0,0070159-0,016393)	0,077448	0,014471

3	0,100758	(0,073738- 0,1277780)	0,011634	(0,006565- 0,0167046)	0,113792	0,011942
4	0,157105	(0,125598- 0,188612)	0,008779	(0,005358- 0,012200)	0,156724	0,009922
$\lambda_{\text{чс}}=1200$ выз/час						
0	0.055498	(0,0437300- 0,067266)	0,058243	(0,046891- 0,069594)	0,062596	0,062596
2	0,1617300	(0,132362- 0,191098)	0,027399	(0,020366- 0,0344328)	0,173378	0,032396
3	0,218462	(0,194483- 0,242440)	0,022128	(0,0179196- 0,026337)	0,227874	0,023914
4	0,276959	(0,250830- 0,303088)	0,015358	(0,012174- 0,0185431)	0,283715	0,017963

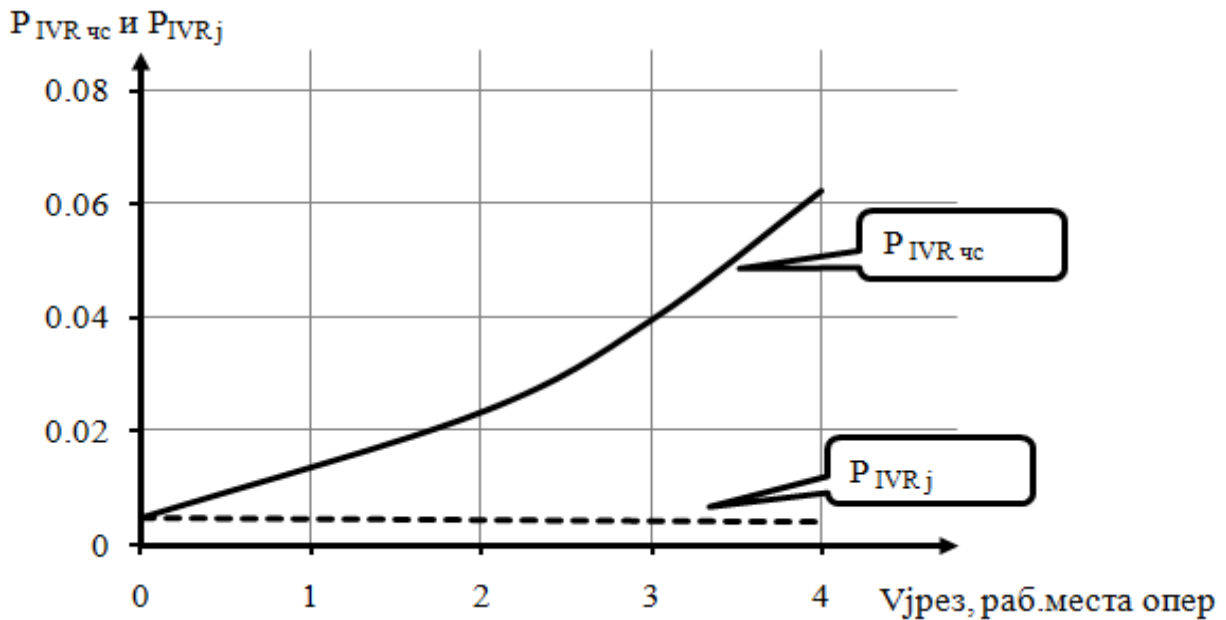


Рисунок 4.5. Результаты аналитических расчетов вероятностей $P_{IVR\text{чс}}$ и $P_{IVR,j}$ при $V_j = 30$ [раб. места опер], $W = 4$, $\lambda_j = 360$ выз/час, $\lambda_{\text{чс}} = 600$ выз/час, $\mu = 20$ [1/ час]

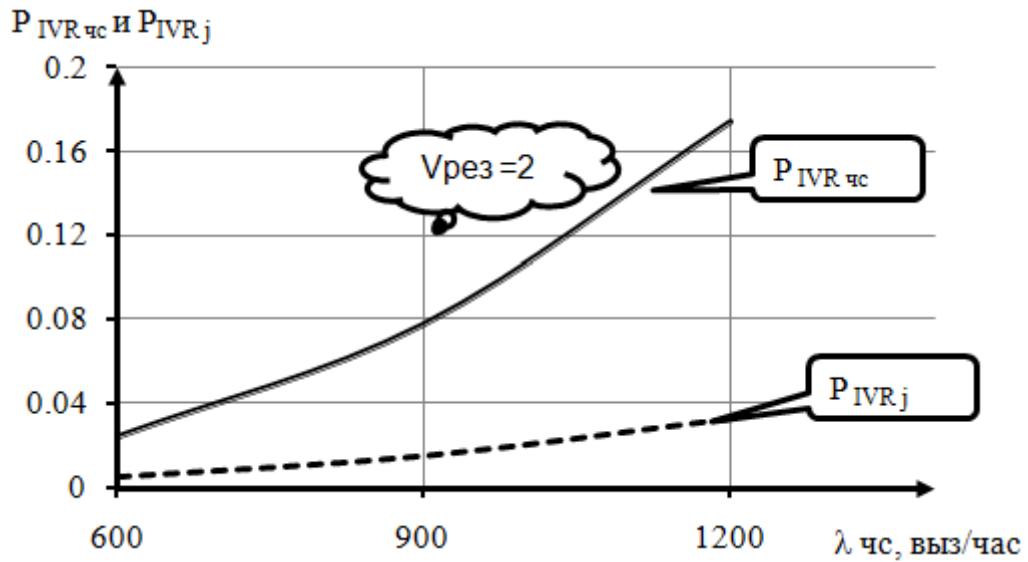


Рисунок 4.6. Результаты аналитических расчетов вероятностей $P_{IVR_{чс}}$ и P_{IVR_j} при $V_J = 30$, $W = 4$, $\lambda_j = 360$ выз/час, $\mu = 20$ [1/ час], число мест оперативного резерва $V_{рез} = 2$ [раб.места опер]

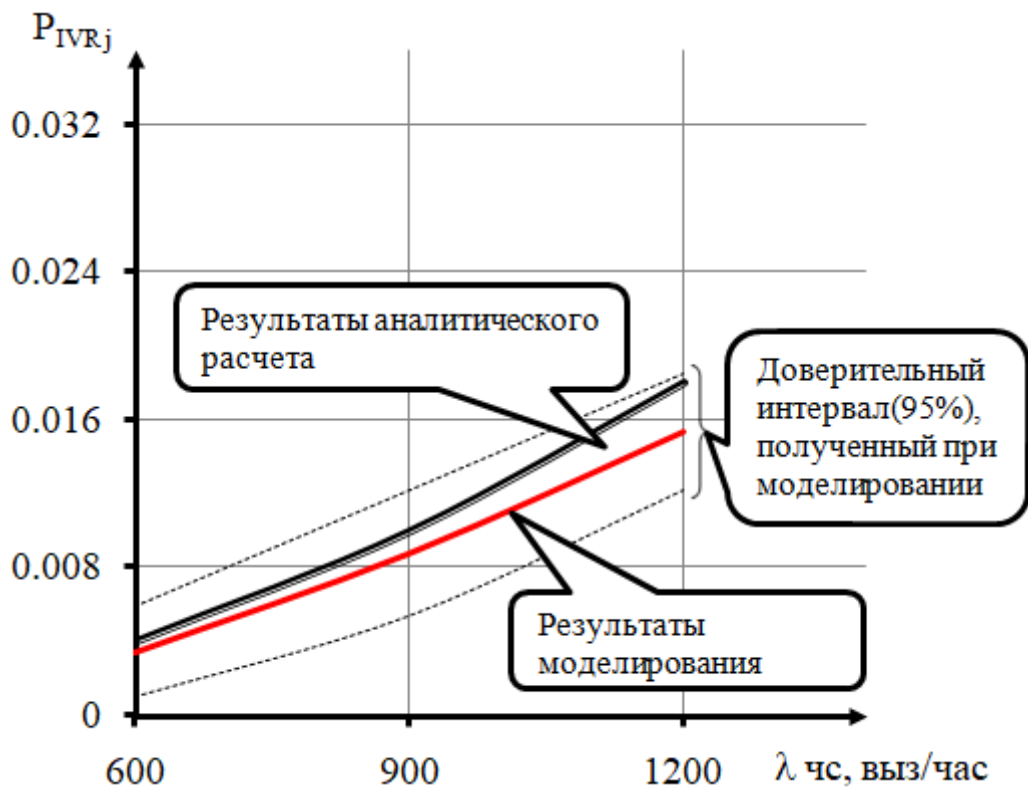


Рисунок 4.7. Результаты моделирования и аналитических расчетов вероятностей P_{IVR_j} при $V_J = 30$ [раб.места опер], $W = 4$, $\lambda_j = 360$ выз/час, $\mu = 20$ [1/ час], число мест оперативного резерва $V_{рез} = 4$ [раб.места опер]

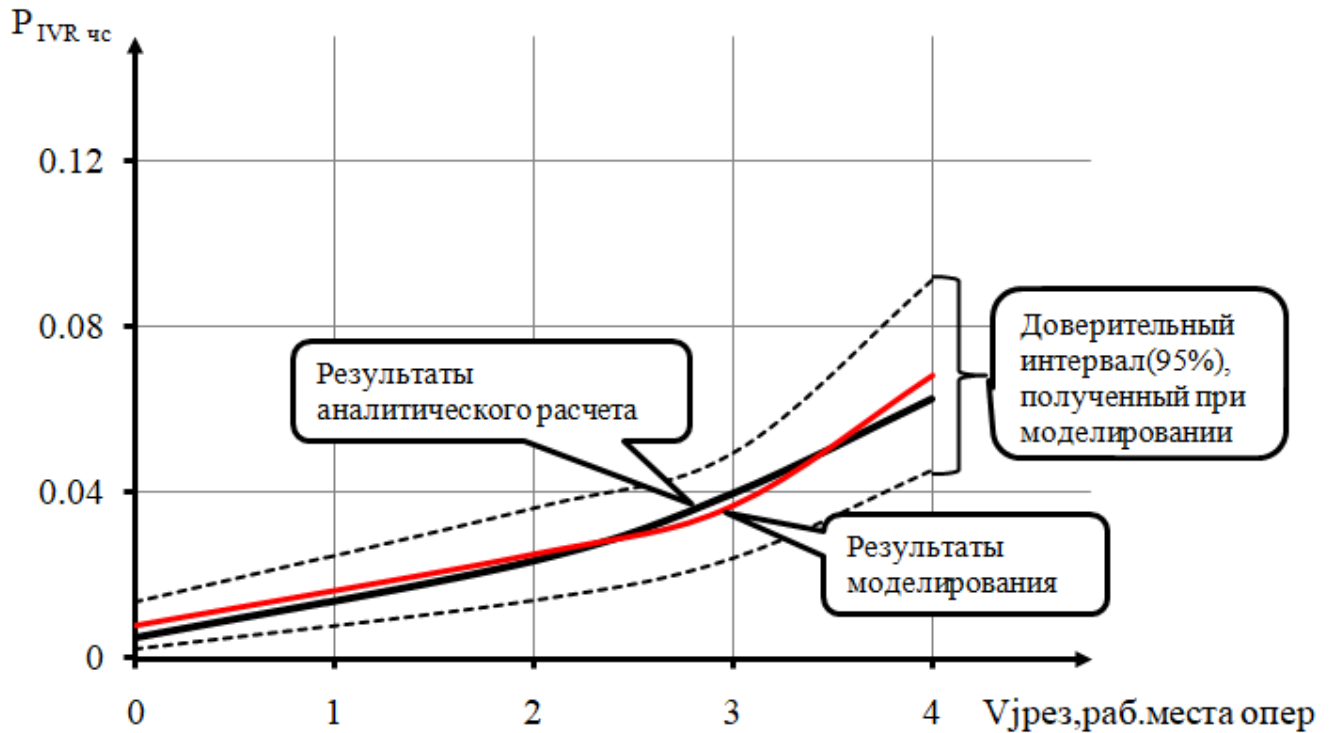


Рисунок 4.8. Результаты аналитических расчетов и моделирования вероятностей $P_{IVR\text{ чс}}$ при $V_J = 30$ [раб.места опер], $W = 4$, $\lambda_j = 360$ выз/час, $\lambda_{\text{ЧС}} = 600$ выз/час, $\mu = 20$ [1/ час],



Рисунок 4.9. Результаты аналитических расчетов и моделирования P_{IVR_j} при $V_J = 30$ [раб.места опер], $W = 4$, $\lambda_j = 360$ выз/час, $\lambda_{\text{ЧС}} = 600$ выз/час, $\mu = 20$ [1/ час],

Например, при $\lambda_j = 360$ выз/час и $\lambda_{\text{ЧС}} = 600$ выз/час, при наличии в центре обслуживания экстренных вызовов j -ой зоны $V_j = 30$ операторов, когда в систему взаимопомощи включены пять центров обслуживания экстренных вызовов (один центр ЧС может направлять избыточный трафик на 4 ЦОВ системы, $W = 4$), то при выделении оперативного резерва в каждом из ЦОВ- j равном $V_{\text{рез}} = 4$ получили следующие результаты:

$P_{\text{IVRЧС}} = 0,062479$ (аналитический расчет), $P^*_{\text{IVRЧС}_\text{Э}} = 0,068338$ с доверительным интервалом (0,045296-0,091380);

$P_{\text{IVR}_j} = 0,003955$, $P^*_{\text{IVR}_j_\text{Э}} = 0,003432$ с доверительным интервалом (0,000967-0,005898).

Для тех же условий при $\lambda_j = 360$ выз/час и $\lambda_{\text{ЧС}} = 900$ выз/час, при наличии в центре обслуживания экстренных вызовов j -ой зоны $V_j = 30$ операторов и $V_{\text{рез}} = 4$ получили следующие результаты:

$P_{\text{IVRЧС}} = 0,156724$ (аналитический расчет), $P^*_{\text{IVRЧС}_\text{Э}} = 0,157105$ с доверительным интервалом (0,125598-0,188612);

$P_{\text{IVR}_j} = 0,009922$, $P^*_{\text{IVR}_j_\text{Э}} = 0,008779$ с доверительным интервалом (0,005358-0,012200).

Аналогичные результаты были получены для значений $V_j = 20$ операторов и $V_j = 10$ операторов (см. таблицу 4.4 и рисунки 4.10 и 4.11).

Можно сделать вывод, что с доверительной вероятностью 0,95 аналитические результаты совпадают результатами моделирования.

Таблица 4.4. Результаты аналитического расчета и моделирования при $W = 4$, $V_j = 20$ и $V_j = 10$

Данные моделирования и аналитического расчета при $V_j=20$, $W=4$, $\lambda_j=200$ выз/час						
Места оперативного резерва в ЦОВ- j ($V_{\text{рез}}$)	Результаты имитационного моделирования, общее число серий равно $m=40$, продолжительность моделирования для одной серии $T_m=2$ часа				Результаты аналитического расчета	
	$P^*_{\text{IVRЧС}_\text{Э}}$	Доверительный интервал для $P^*_{\text{IVRЧС}_\text{Э}}$	$P^*_{\text{IVR}_j_\text{Э}}$	Доверительный интервал для $P^*_{\text{IVR}_j_\text{Э}}$	$P_{\text{IVRЧС}}$	P_{IVR_j}
$\lambda_{\text{ЧС}}=400$ выз/час						
0	0.008849	(0.002747-0.014951)	0.003684	(0.000734-0.003904)	0.003904	0.003904

2	0.027674	(0.016253-0.039095)	0.003171	(0.001355-0.004988)	0.022811	0.003354
4	0,070013	(0,049511-0,090514)	0,003224	(0,000494-0,005954)	0,073097	0,002892
6	0.177193	(0.1412096-0.213177)	0.002790	(0.001277-0.004303)	0.180746	0.002518
8	0.3605789	(0.31573-0.4054179)	0.001848	(0.00040-0.003291)	0.360985	0.002233
$\lambda_{\text{ЧС}}=600$ выз/час						
0	0.016429	(0.011149-0.021709)	0.013360	(0.008454-0.018266)	0.016644	0.016644
1	0.030854	(0.018497-0.043211)	0.009215	(0.003835-0.014594)	0.039001	0.013000
2	0,067410	(0,047619-0,087200)	0,009277	(0,006414-0,012141)	0,069394	0,010205
3	0.105373	(0.085796-0.124949)	0.006241	(0.00306-0.0094124)	0.110011	0.008065
4	0.155865	(0.126076-0.185654)	0.007198	(0.004308-0.010088)	0,162555	0,006433
Данные моделирования и аналитического расчета при $V_j=10, W=4, \lambda_j=120$ выз/час						
Места резерва в ЦОВ_j ($V_{рез}$)	Результаты имитационного моделирования, общее число серий равно $m=40$, продолжительность моделирования для одной серии $T_m=2$ часа				Результаты аналитического расчета	
	$P^*_{IVRЧС \text{ э}}$	Доверительный интервал для $P^*_{IVRЧС \text{ э}}$	$P^*_{IVRj \text{ э}}$	Доверительный интервал для $P^*_{IVRj \text{ э}}$	$P_{IVRЧС}$	P_{ivrj}
$\lambda_{\text{ЧС}}=400$ выз/час						
0	0.143007	(0,126642-0,159372)	0.154148	(0,136656-0,171641)	0.153446	0.153446
2	0,418474	(0,388512-0,448435)	0,075669	(0,063205-0,088132)	0.436927	0.084566
$\lambda_{\text{ЧС}}=200$ выз/час						
0	0.058729	(0.0431021-0.074356)	0.060905	(0.051413-0.070397)	0.061082	0.061082
2	0.2575184	(0.216789-0.2982477)	0.045711	(0.0341469-0.057276)	0.270591	0.052372

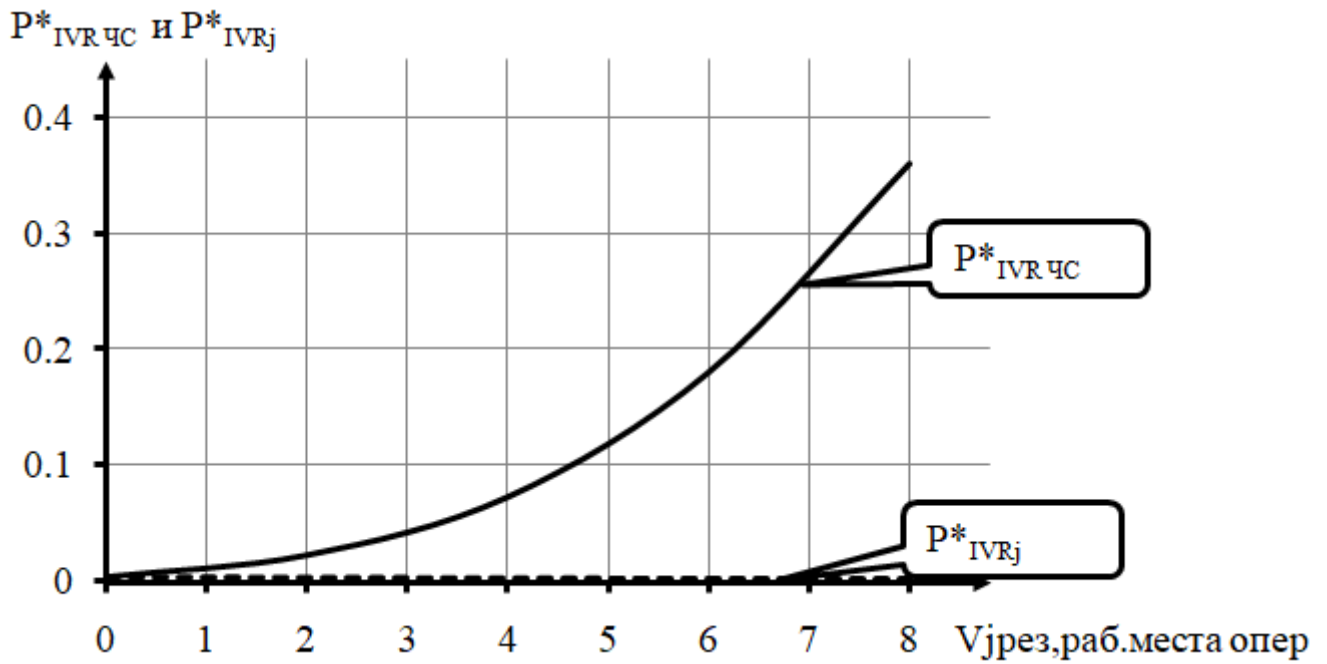


Рисунок 4.10. Результаты аналитических расчетов вероятностей $P^*_{IVR ЧС}$ и P^*_{IVRj} при $V_j = 20$ [раб.места опер], $W = 4$, $\lambda_j = 360$ выз/час, $\lambda_{ЧС} = 400$ выз/час, $\mu = 20$ [1/ час],

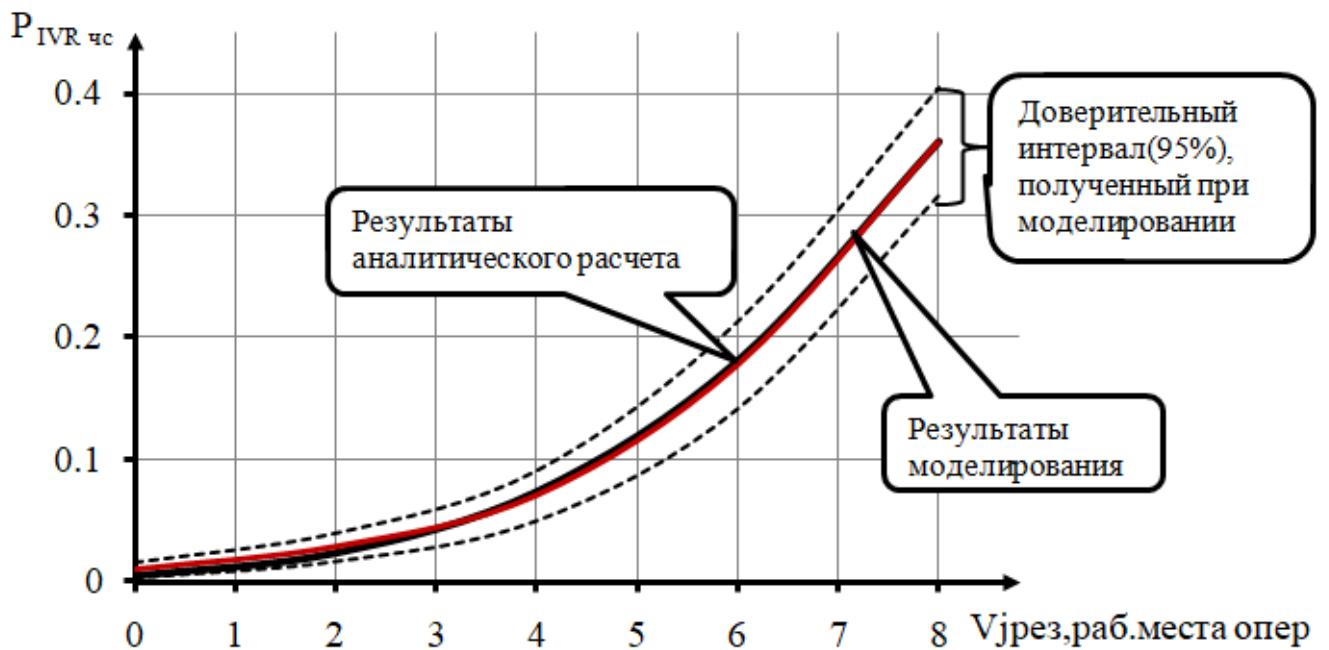


Рисунок 4.11. Результаты аналитических расчетов и моделирования $P_{IVR ЧС}$ при $V_j = 20$ [раб.места опер], $W = 4$, $\lambda_j = 200$ выз/час, $\lambda_{ЧС} = 400$ выз/час, $\mu = 20$ [1/ час],

4.5. Выводы

1. Исследование влияния оперативного резерва в ЕДДС на пропускную способность системы обслуживания экстренных вызовов позволило установить взаимосвязь между допустимой избыточной нагрузкой $A_{\text{с доп}}$ и максимально допустимым количеством каналов оперативного резерва $V_{\text{рез}} \text{ макс.}$

2. Разработана методика определения емкости и числа центров обслуживания вызовов, включаемых в систему экстренных служб, позволяющая учесть величину коэффициента потенциальной устойчивости ЦОВ-ЧС к перегрузкам h , которая может устанавливаться с учетом данных статистики.

3. Разработан метод повышения пропускной способности системы обслуживания экстренных вызовов, позволяющий учесть предполагаемый уровень трафика в режиме ЧС и наличие материально - технического ресурса для организации взаимопомощи центров обслуживания экстренных вызовов.

4. Для перспективного варианта построения системы экстренных служб была разработана программа моделирования процессов обслуживания вызовов. Результаты проведенного моделирования показали совпадение с результатами аналитических расчетов с доверительной вероятностью 0,95.

Заключение

1. Развитие экстренных служб в мире и в РФ идет в направлении объединения их ресурсов в рамках «Системы 112». При возникновении ЧС резко возрастает объем трафика экстренных вызовов, превышая пропускную способность центров обслуживания вызовов. Возможности «Системы 112» по обслуживанию экстренных вызовов могут быть увеличены объединением ресурсов нескольких ЦОВ.

2. В качестве объекта исследования выбрана система экстренных служб, объединяющая ресурсы центров обслуживания вызовов для обеспечения практически безотказного обслуживания вызовов из зоны ЧС.

3. Предлагается управлять потоками избыточного трафика экстренных вызовов,

методами, рекомендованными МСЭ-Т для телекоммуникационных сетей и систем.

4. Разработаны математические модели функционирования системы экстренных служб и программы расчета на ЭВМ, позволившие:

сравнивать варианты организации системы с учетом совокупности факторов, определяющих ее пропускную способность;

оценивать влияние оперативного резерва в ЦОВ на качество обслуживания экстренных вызовов из зоны ЧС и в конкретных зонах ответственности;

дать рекомендации по выбору структуры системы экстренных служб, использованию методов управления избыточным трафиком и формированию цепочек маршрутизации.

5. Разработана методика, позволяющая определить связь между коэффициентом устойчивости к перегрузкам, емкостью операторских подсистем и числом ЦОВ в системе.

6. Разработан метод повышения пропускной способности системы экстренных служб учитывающий: особенности распределения избыточного трафика; устойчивость системы к перегрузкам с учетом возможности исключения ЦОВ из цепочки маршрутизации; наличие оперативного резерва.

7. Разработана математическая модель функционирования системы TETRA, учитывающая использование БПЛА при ликвидации последствий ЧС для оценки вероятности отказов в обслуживании вызовов.

8. Выполнено моделирование обслуживания вызовов в системе экстренных служб, подтвердившее справедливость полученных аналитических соотношений. Отклонение результатов аналитического расчета от результатов эксперимента не превышают 10% с доверительной вероятностью 0,95. Таким образом, поставленная цель достигнута, научные задачи исследования решены.

Список сокращений

БПЛА – беспилотный летательный аппарат;

БС - базовая станция

ДДС – дежурно-диспетчерские службы;

ЕДДС – единые дежурно – диспетчерские службы;

ЕС – Европейский союз;

МСЭ-Т - Сектор стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи;

МТУСИ - Московский технический университет связи и информатики

ОР – оперативный резерв;

СМО – система массового обслуживания;

ЦОВ – центр обслуживания вызовов;

ЦОВ ОР – центр обслуживания вызовов оперативного резерва;

ЦОВ-ЧС – центр обслуживания вызовов, который испытывает чрезвычайные ситуации;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

GSM – (Global System for Mobile Communications) Глобальная система мобильной связи;

IVR – (англ. Interactive Voice Response) интерактивное голосовое меню;

LTE – (Long Term Evolution) стандарт связи четвертого поколения считается перспективным направлением развития сетей;

ORR – (Overflow Reroute) Метод управления трафиком;

CRO – (Cancel Reroute Overflow) отмена избыточного перенаправления трафика;

SKIP – (Skip Route Control) Метод управления пропуском маршрута;

SILC – (Selective incoming load control) Метод избирательного управления входящей перегрузкой;

TETRA- (TErrestrial Trunked RAdio) — открытый стандарт цифровой транкинговой радиосвязи;

Список литературы

1. Андреев, Р.В. Обособленное обслуживание вызовов для повышения эффективности работы ЦОВ / Р.В.Андреев, Н.М.Татарина // ТComm Телекоммуникации и транспорт. - 2012г. - №1. - С. 32-34.
2. Бахарева, Н.Ф. Аппроксимативные методы и модели массового обслуживания. Исследование компьютерных сетей / Н.Ф. Бахарева, В.Н. Тарасов. – Самара: Издательство СНЦ РАН. – 2011. – 327 с.
3. Башарин, Г.П. Массовое обслуживание в телефонии / Г.П. Башарин, А.Д. Харкевич, М.А. Шнепс. – М.: Наука. – 1968. – 240 с.
4. Боев, Б.В. Прогнозирование процессов массовой паники при техногенных авариях и катастрофах / Б.В. Боев, В.С. Ястребов // Журнал неврологии и психиатрии. – 2009 – №11. – С. 81-88.
5. Бреганов, А. Система-112 на службе МЧС РФ: новые возможности / А. Бреганов, В. Елагин // Бюллетень "Системы связи, оповещения, автоматизации и безопасности МЧС России". – 2010. – С. 148-149.
6. Брэд, К. 12 особенностей работы Call – центров, о которых должно знать руководство / К. Брэд // Сети и системы связи. - 2007. – №4. – С.52-54.
7. Венцель, Е.С. Задачи и упражнения по теории вероятностей / Е. С. Венцель, Л.А.Овчаров. - 8-е изд. – М.: КНОРУС. - 2010. - 496 с.
8. Волкова, Л.Л. Моделирование систем массового обслуживания средствами языка С#: Учебно-метод. пособие по проведению лабораторного практикума по дисциплине “Алгоритмы и структуры данных” / Л.Л. Волкова, Э.С. Клышинский. Москва. институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». М. – 2012. – 32 с.
9. Голиков, А.М. Системы радиосвязи и сети телерадиовещания / А.М.Голиков. – Томск: ТУСУР - 2015. – 326 с.
10. Гольдштейн, Б.С Перспективы развития "Системы-112" / Б.С. Гольдштейн, М.В. Кабанов, Д.С. Маслов, А.И. Поташов, Н.А. Соколов // Вестник связи. – 2008. – №9. – С. 44-47.

11. Гольцов, А.В. Влияние на проектирование сети интегрального трафика, поступающего в сеть ОАО "МГТС" / А.В.Гольцов, А.Г.Попова, В.Г.Дедоборщ // Электросвязь. - 2007. - 45-47
12. ГОСТ Р 53111-2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. М.: Стандартинформ. – 2009. – 19 с.
13. ГОСТ Р 22.7.01-2016 Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Единые дежурно-диспетчерские службы. Основные положения. М.: Стандартинформ. – 2016. – 14 с.
14. ГОСТ Р 22.0.02-2016. Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения. М.: Стандартинформ. – 2016. – 12 с.
15. Гнеденко, Б.В. Математические методы в теории надежности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д.Соловьев. – М.: Либроком. – 2013. – 584 с.
16. Гнеденко, Б.В. Введение в теорию массового обслуживания. Изд. 5-ое Испр. / Б.В.Гнеденко, И.Н.Коваленко. – М.: Издательство ЛКИ. – 2011. 400 с.
17. Дымарский, Я. С. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи./ Я. С. Дымарский, Н.П. Крутяков, Г. Г. Яновский. – М.: Серия изданий «Связь и бизнес», ИТЦ «Мобильные коммуникации,2003. –384 с.
18. Карпов, Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с АпуLogic 5 / Ю. Карпов. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2005. – 400 с.
19. Гольдштейн, Б.С. Call-центры и компьютерная телефония (2-е издание). / Б.С.Гольдштейн, В.А.Фрейнкман - СПб.: БХВ - Санкт-Петербург. - 2006. - 370с.
20. Ефремова, О.А..Интеграция информационных систем городских экстренных служб на основе многомерных моделейданных / О.А Ефремова, С.В. Плеханов, О.С. Саубанов// Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление 4(224)2015. - С. 7-17.
21. Зарубин, А.А. Call и контакт-центры: эволюция технологий и математических моделей / А.А.Зарубин // - Вестник связи. – 2003. -№8. – С.28-31.
22. Зубков, В. Н. Проблемы организации информационного взаимодействия дежурно-диспетчерских служб экстренных оперативных служб в процессе создания

Системы-112 / В. Н. Зубков, С. В. Агеев, О. В. Денисов, В. В. Тыминский, А. С. Акульшин // Технологии гражданской безопасности. – 2010, Том 7, № 1-2 (23-24).

23. Киричек, Р. В. Беспилотный летательный аппарат как система массового обслуживания / Р. В. Киричек, А. И. Парамонов // Электросвязь. — 2015. — № 7. — С. 16–19.

24. Киричек, Р. В. Анализ использования БПЛА как узла сети VANET / Р. В. Киричек, П. А. Шилин // Информационные технологии и телекоммуникации. — 2015. — № 4. — С. 87–96.

25. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания. / Л. Клейнрок. – М.: Машиностроение. – 1979. – 432 с.

26. Костин, А.А. Проектирование системы централизованного управления ССОП России в чрезвычайных ситуациях / А.А. Костин // Электросвязь. – 2013. – №3. – С. 41-46.

27. Костров, В. О. Управление потоками трафика в сетях связи./В.О.Костров, А.Г.Попова, И.В.Степанова. – М., «Радио и связь». – 2004. – 96 с.

28. Кочкаров, А.А. Управление безопасностью и стойкостью сложных систем в условиях внешних воздействий / А.А. Кочкаров, Г.Г. Малинецкий // Проблемы управления. – 2005. – №5. – С. 70-76.

29. Крылов, В.В. Теория телетрафика и ее приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2005. – 288 с.

30. Кучерявый, Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е.А. Кучерявый. – СПб.: Наука и техника. – 2004. – 336 с.

31. Кучерявый, А.Е. Теоретические и практические направления исследований в области летающих сенсорных сетей / А.Е. Кучерявый, А.Г. Владыко, Р.В. Киричек // Электросвязь. – 2015. – № 7. – С. 9-11.

32. Лагутин, В. С. Эволюция интеллектуальных служб в конвергентных сетях. / В.С.Лагутин, А.Г.Попова, И.В.Степанова– М.: «Радио и связь», 2006. – 120 с. С илл.

33. Леваков, А.К. Особенности функционирования сети следующего поколения в чрезвычайных ситуациях / А.К. Леваков. – М.: ИРИАС. – 2012. – 108 с.

34. Леваков, А.К. Доступ к центру обработки вызовов номера "112" / Б.С. Гольдштейн, А.К. Леваков, Н.А. Соколов // Вестник связи. – 2012. – №1. – С. 5-8.

35. Леваков, А.К. Сортировка вызовов при растущей нагрузке в "Системе-112" ЧС / А.К. Леваков // Вестник связи. – 2013. – №1. – С. 26-29.
36. Леваков, А.К. Метод ограничения резко растущей нагрузки в "Системе-112" / М.В. Кабанов, А.К. Леваков, Н.А. Соколов // Вестник связи. – 2012. – №8. – С. 23-25.
37. Леваков, А.К. Косвенные механизмы снижения лавинообразного трафика, возникающего в чрезвычайных ситуациях / А.К. Леваков // Вестник связи. – 2013. – №7. – С. 2-4.
38. Леваков, А.К. Формирование информационных сообщений, передаваемых в ЧС/ А.К. Леваков // Вестник связи.– 2013. – №8. – С. 14-16.
39. Леваков А.К. Сеть связи следующего поколения в чрезвычайных ситуациях. Анализ моделей трафика/ А.К. Леваков. – М.: ИРИАС. – 2019. – 124 с.
40. Леваков, А.К. Задачи формирования комплекса резервных технических средств для восстановления отказов в сети электросвязи вследствие чрезвычайных ситуаций / А.К. Леваков // Электросвязь. – 2013. – №12 – С. 38-40.
41. Леваков, А.К. Новые задачи обслуживания трафика в чрезвычайных ситуациях / А.К. Леваков // Электросвязь. – 2014. – №4. – С. 27-29.
42. Леваков, А.К. Оценка методов снижения телефонного трафика, порождаемого реакцией абонентов на событие / А.К. Леваков, М.В. Кабанов, Н.В. Пинчук, Н.А. Соколов // Вестник связи. – 2015. – №2. – С. 12–15.
43. Лихтциндер, Б.Я. Трафик мультисервисных сетей доступа (интервальный анализ и проектирование)/ Б.Я. Лихтциндер. -М.:Горячая линия – Телеком. – 2018. – 290 с.ил.
44. Мазин, И.Г. Система-112 / И.Г.Мазин // Вестник связи. - 2011г. - № 5. - С.47-49.
45. Методические рекомендации по правилам построения и функционирования телекоммуникационной системы обеспечения экстренных оперативных по единому номеру «112»//министерство связи и массовых коммуникаций РФ. Москва 2017 г. - 52 с.
46. Мохаммед, О.А.А. Результаты расчета ресурса каналов БПЛА при использовании в системах профессиональной радиотелефонной связи. /О.А.А Мохаммед // Труды Международного форума информатизации (МФИ-2019),Горячая линия - Телеком, Москва, 2019, С.82-83.

47. Мохаммед, О.А.А. Организация обслуживания экстренных вызовов в дежурно-диспетчерских службах. /О.А.А Мохаммед // Труды Международного форума информатизации (МФИ-2019). Горячая линия - Телеком, Москва, 2019, С.83-85.

48. Мохаммед, О.А.А. Методика расчета центров обслуживания вызовов при внедрении программно-аппаратного комплекса «Система 112»/ О.А.А Мохаммед, И.В.Степанова // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. – 2018. - Т7, №3. - С.43-48.

49. Мохаммед, О.А.А. Методы резервирования для повышения надежности в системах профессиональной радиотелефонной связи/ О.А.А Мохаммед, И.В.Степанова // Труды Международного форума информатизации (МФИ-2017). – М.: Горячая линия – Телеком. – 2017. - С.34-35

50. Мохаммед, О.А.А. Стандарт профессиональной радиотелефонной связи цифрового стандарта TETRA для реализации системы-112/ О.А.А Мохаммед // Сборник трудов XII международной- научно-технической конференции (технологии информационного общества).Москва, Московский технический университет связи и информатики(МТУСИ),14-15 МАРТА 2018г. В 2-х томах. М: «ИД Медиа Паблшер» Том 1, С.74-76

51. Мохаммед, О.А.А. Метод повышения пропускной способности системы 112 за счет объединения ресурсов единых дежурно-диспетчерских служб/ О.А.А Мохаммед, И.В.Степанова // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. – 2019. – Т8, №3.- С.39-43.

52. Новиков, О.А. Прикладные вопросы теории массового обслуживания / О.О.Новиков, С.И. Петухов. – М.: Издательство Советское радио. – 1969. – 400 с.

53. Самуйлов, К.Е. Теория телеграфика мультисервисных сетей: Монография. / К.Е. Самуйлов, В.А. Наумов, Н.В. Яркина // М.: Изд-во РУДН, 2007. - 191 с.

54. О Концепции создания системы обеспечения вызова экстренных оперативных служб через единый номер 112 на базе единых дежурно-диспетчерских служб муниципальных образований // Распоряжение Правительства Российской Федерации №1240-р от 25 августа 2008 года.

55. О внесении изменений в Федеральный закон "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера" // Федеральный закон №23-ФЗ от 1 апреля 2012 года.

56. О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Постановление Правительства Российской Федерации №304 от 21 мая 2007 года.

57. О системе обеспечения вызова экстренных оперативных служб по единому номеру "112".// Постановление Правительства Российской Федерации № 958 от 21 ноября 2011 г.

58. О совершенствовании системы обеспечения вызова экстренных оперативных служб на территории РФ // Указ Президента Российской Федерации №1632 от 28 декабря 2010 года.

59. О федеральной целевой программе «Создание системы обеспечения вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112» в Российской Федерации на 2013 – 2017 годы»././ Постановление Правительства Российской Федерации № 223 от 16.03.2013 г.

60. Парфенов, Б.А. Система – 112: в ожидании рывка / Б.А. Парфенов // Вестник связи. – 2012. - №12. -С. 20-24.

61. Положение о приоритетном использовании, а также приостановлении или ограничении использования любых сетей связи и средств связи во время чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Постановление Правительства Российской Федерации №895 от 31 декабря 2004 года.

62. Поташов, А.И. Системные аспекты организации ситуационного центра./ А.И.Поташов, А.В.Пинчук, Н.А.Соколов // «Вестник связи». – 2007. - № 5. – С. 35-38.

63. Пшеничников, А.П. Теория телетрафика. Учебник для вузов/ А.П Пшеничников.: — Горячая линия — Телеком, 2017. - 212 с.:ил.

64. Распоряжение Правительства РФ от 04.05.2012г. № 716-р "Создание системы обеспечения вызова экстренных оперативных служб по единому номеру "112" в Российской Федерации на 2012-2017 годы".

65. Рекомендация МСЭ-Т Y.2705(03/2013) Минимальные требования по безопасности при присоединении службы электросвязи в чрезвычайных ситуациях (ETS), 2013. -24 р.

66. Рекомендация МСЭ-Т E.107(02/2007) Служба электросвязи в чрезвычайных ситуациях (ETS) и основа для взаимодействия реализованных на национальном уровне ETS, 2007. -12 р.

67. Рекомендация МСЭ-Т E.106 (10/2003г.) Международная схема аварийных приоритетов (IEPS) для операций по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, 2003. -16 р.

68. Рекомендация МСЭ-Т Y.1271 (07/2014) Принципы в отношении требований к сетям и возможностей сетей для обеспечения электросвязи в чрезвычайных ситуациях по сетям связи, находящимся в стадии перехода от коммутации каналов к коммутации пакетов, 2014. -28 р.

69. Ромашкова, О.Н. Анализ моделей и методов для оценки живучести инфокоммуникационных сетей в условиях чрезвычайных ситуаций / О.Н. Ромашкова, Р.И. Яковлев // Т-Comm "Телекоммуникации и транспорт". – 2012. – №7. – С.165-170.

70. Росляков, А.В. Центры обслуживания вызовов (Call Centre). / А.В. Росляков, М.Ю.Самсонов, И.В.Шибяев. – М.: Эко-Трендз. - 2002. – 270 с.

71. Росляков, А.В. Математические модели центров обслуживания вызовов. / А.В. Росляков, С.В. Ваняшин. – М.: Ириас. - 2006. - 70 с.

72. Рыжиков, Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. / Ю.И. Рыжиков – Спб.: КОРОНА принт; М.: Альтекс-А. - 2004. – 384 с., ил.

73. Саати, Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения / Т.Л. Саати. – М.: Либроком. – 2010. – 520 с.

74. Самолюбова, А.Б. Call center на 100%: Практическое руководство по организации центра обслуживания вызовов. / А.Б. Самолюбова. – М.: Альпина Бизнес Бук. – 2004. – 309 с.

75. Соколов, Н.А. Процессы конвергенции, интеграции и консолидации в современной телекоммуникационной системе. / Н.А. Соколов // Connect! Мир связи. – 2007. – №10. – С. 78-82.

76. Состав оборудования и технические характеристики муниципальных оборудования, применяемого докладов в ЦОВ. Ростов-на-Дону, 2016 г. - 60 с.

77. Справочник по работам МСЭ в области электросвязи в чрезвычайных ситуациях // МСЭ. Издание 2007 г. – 604 с

78. Степанов, С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей / С.Н. Степанов. – М.: Эко-Трендз. – 2010. – 392 с.

79. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения/ С.Н. Степанов. – М. : горячая линия - Телеком, 2015. - 868с.:ил. -(Серия «Теория и практика инфокоммуникаций»)

80. Степанова, И. В. Расчет характеристик центров обслуживания вызовов. / И.В.Степанова. М.: Издательство «Горячая линия – Телеком». - 2017. – 72 с. .

81. Степанова, И. В. Анализ перспективных подходов к повышению надежности конвергентных корпоративных сетей связи. / И.В.Степанова, М. О. А. Абдулвасае, Н. Жувен // Т-Comm. Телекоммуникации и транспорт. - 2015. - Том 9, №12. - С.44-51.

82. Степанова, И. В. Проектирование систем радиотелефонной связи стандарта TETRA. / И.В.Степанова // Т-Comm. Телекоммуникации и транспорт. – 2017. - Том 11, №1. - С.10-16.

83. Степанова И.В., Мохаммед О.А.А., Адылбекова К.А. Методика проектирования систем профессиональной связи стандарта TETRA с учетом показателей надежности // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. – 2017. - Т6. - №4. - С.36-41.

84. Степанова, И.В. Использование перспективных технологий для развития распределенных корпоративных сетей связи/ И.В.Степанова, О.А.А. Мохаммед // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №6. С. 10-15.

85. Степанова И.В. Развитие концепции построения центров обслуживания вызовов // Электросвязь.–2006.–№2.–С.16 – 17.

86. Степанова, И.В. Методика организации и проектирования дежурно-диспетчерские служб/ И.В.Степанова, О.А.А. Мохаммед, К.А. Адылбекова // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. – 2018. – Т7, №1.- С.52-55.

87. Степанова, И.В. построение распределенных и централизованных систем профессиональной радиотелефонной связи стандартов DMR и TETRA / И.В. Степанова, О.А.А. Мохаммед, А.С. Серебряков // Технологии информационного общества. Сборник трудов XIII международной отраслевой научно-технической конференции « технологии информационного общества ».(20-21 марта 2019 г. Москва, МТУСИ). В 2-х томах. М: «ИД Медиа Паблицер», Том.1. С.85-88

88. Шемахин, Е.Ю. моделирование многоканальных открытых система массового обслуживания с ограничениями в среде Visual Studio2010 / Е.Ю. Шемахин, А. П.

Кирпичников // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. –Т.18. – №3.– С.263 -268.

89. Шнепс, М.А. Системы распределения информации. Методы расчета: Справочное пособие / М.А. Шнепс. – М.: Связь. – 1979. – 344 с.

90. Щербакова, Е.Н. К вопросу об обеспечении взаимодействия ССОП с единой дежурно-диспетчерской службой «112» / Е.Н. Щербакова // Вестник связи. – 2011. № 1. - С. 11-17.

91. Altshuler, Y. The cooperative hunters — efficient cooperative search for smart targets using UAV swarms / Y. Altshuler, V. Yanovski, I. A. Wagner, M. Bruckstein.// Second international conference on informatics in control, automation and robotics (iCINCO), the first international workshop on multi-agent robotic systems (mARS). — 2005. — P. 165–170.

92. Esam, A.B. How to Avoid Network Congestion During a Disaster for an Integrated Emergency Command and Control System / A. Esam, S. Ben, A. Johnson // Proceedings of the 7th IB2COM, November 5-8, 2012, Sydney, Australia. – P. 32-37.

93. Hans-Peter A. Introduction to Digital Professional Mobile Radio/ A. Hans-Peter, Ketterling // Artech House Publishers; Illustrated edition (January 21, 2004). – 335 p.

94. ITU-D 2-я study Group 2, Final Report (Question 5/2: Utilization of telecommunications / ICTs for disaster preparedness, mitigation and response6th Study Period 2014-2017). 2017. – 92 p.

95. ITU Guidelines for national emergency telecommunication plans, 2019. –104 p.

96. ITUGET 2019 Background document Emergency Telecommunications, Disruptive technologies and their use in disaster risk reduction and management, 2019. – 60 p.

97. Iversen, V. B. (2015). Teletraffic engineering and network planning / V. B. Iversen .DTU Fotonik. 2015. –398 p.

98. Koole G. M. (2015). Optimization of Overflow Policies in Call Centers / G. M. Koole, B. F. Nielsen, T. B. Nielsen // The Engineering and Informational Sciences, 2015. – P. 461–471.

99. Linda.k. Emergency Communication: Broadband and the Future of 911/K. Linda. – 2010. – 30 p.

100. Martin, S. Evolution of TETRA To a 4G All-IP Broadband Mission Critical Voice Plus Data Professional Mobile Radio Technology / S. Martin, S. Peter, K. Stephan, G. Tony, 2011. – 11 p.

101. Mohammed, O.A.A. (2020) Development of approaches to ensure reliable emergency communications in emergencies/ O.A.A. Mohammed //T-Comm. – 2020. – Vol.14, №1.–P.42-48.

102. Mohammed, O.A.A. COMPARISON OF OPTIONS FOR BUILDING AN EMERGENCY CALL SYSTEM/ O.A.A. Mohammed // SUNHROINFO JOURNAL – INSTITUTE OF RADIO AND INFORMATION SYSTEMS. – 2020. – T.6, №1. P. 16-22.

103. Mohammed, O.A.A. (2020) Method for increasing the capacity of the emergency response system/ O.A.A. Mohammed //T-Comm.–2020.–Vol.14, №5.– P. 62-68.

104. Nielsen, T. B. (2010) Call Center Capacity Planning. Technical University of Denmark/ T. B. Nielsen.// IMM-PHD-2009-223.– 2010. – 152 p.

105. Peter, S. TERrestrial Trunked RAdio - TETRA: A Global Security Tool/S. Peter. – 2007.– 318 p.

106. Recommendation ITU-T E.102 (12/2019) Terms and definitions for disaster relief systems, network resilience and recovery, 2019. – 20 p.

107. Recommendation ITU-T Y.2205 (05/2011) Next Generation Networks – Emergency telecommunications – Technical considerations, 2011. – 52 p.

108. Stepanova, I. V. Sharing TETRA System Resources and Unmanned Aerial Vehicles/ I. V. Stepanova, O. A. A Mohammed // 2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, Russia, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109 /IEEE CON F48 371.2020.9078543.

109. Supplement 68 to ITU-T Q-series (12/2015) Recommendations Technical Report on emergency telecommunications service (ETS) interoperability limitations, 2015. – 52 p.

Приложение 1. Принципы реализации «Системы 112» в РФ

На рисунке П.1.1 представлены функциональные связи и вариант организации «Системы 112». Поступающие экстренные вызовы принимаются диспетчерами районного центра обслуживания вызовов (РЦОВ) и передаются на обслуживание одной или нескольким конкретным ДДС в зависимости от вида происшествия.

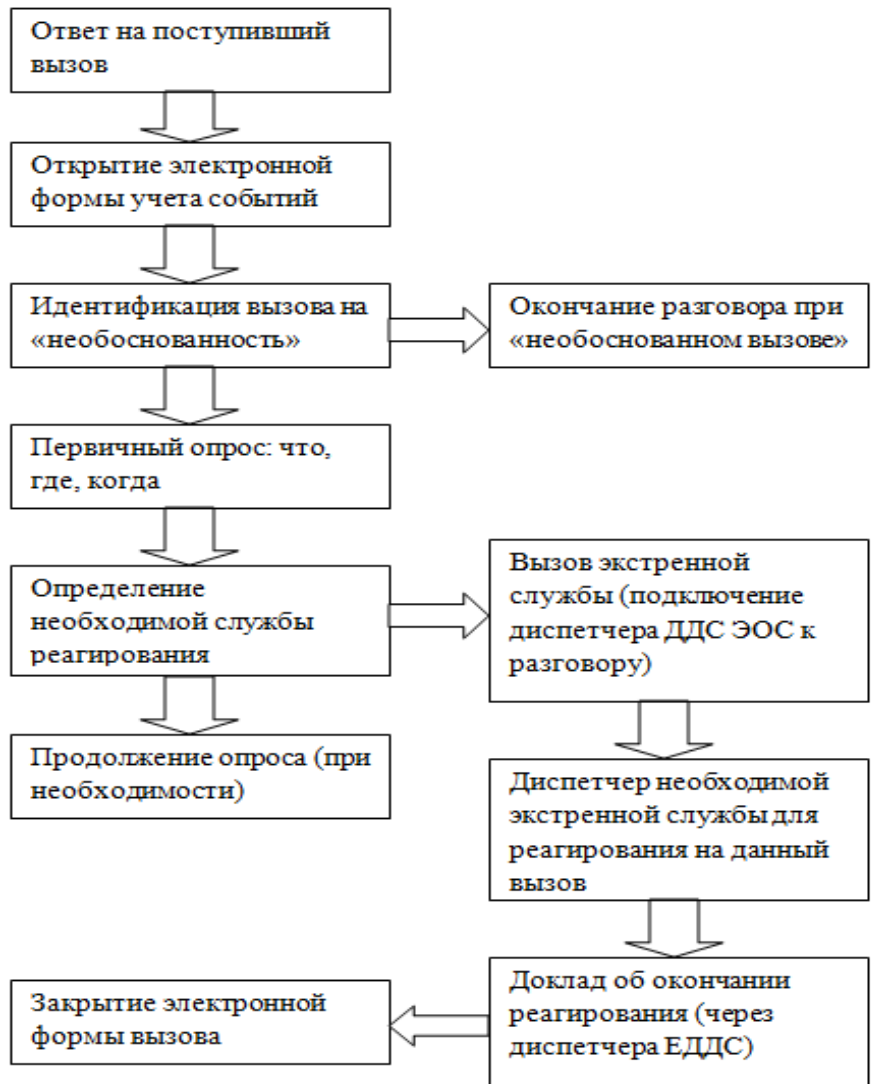


Рисунок П1.1. Принцип обслуживания вызовов в «Системе -112»

ЕДДС соседних муниципальных образований могут взаимодействовать между собой для достижения следующих целей:

повышение оперативности реагирования административных муниципальных образований, ДДС и организаций на угрозу террористического характера;

повышение эффективности действий сил и средств постоянной готовности, привлекаемые на ликвидацию ЧС;

координация действий организаций и предприятий, имеющих силы и средства постоянной готовности при угрозе или возникновении ЧС;

повышение уровня информированности администрации муниципального образования, предприятий, организаций и населения о ЧС и принятых мерах.

При переходе к «Системе 112» предусмотрены два возможных варианта организации подсистемы ЕДДС. Первый вариант реализуется в случае существования ранее организованных и успешно работающих ДДС, он предусматривает создание программного обеспечения по обработке вызовов для центров обслуживания вызовов (ЦОВ) на базе ЕДДС и для взаимодействия с существующими ДДС. Второй вариант предполагает разработку единой автоматизированной системы, которая автоматизирует процессы управления в каждой из ДДС в отдельности и в целом в «Системе 112».

На уровне административного центра компонентами Службы-112 может быть оснащен региональный центр обработки вызовов Службы-112 (РЦОВ-112), а также резервный центр обработки вызовов. Там же развернут единый центр обработки данных (ЦОД), который обеспечивает взаимодействие.

На муниципальном уровне, на базе муниципальных ЕДДС функционируют муниципальные ЦОВ-112 (МЦОВ-112).

Построение региональной «Системы 112» имеет вид, приведенный на рисунке П.1.2. Данная схема развертывания актуальна для регионов с большими территориями. Обработка обращений граждан происходит в том ЦОВ, который отвечает за обслуживание одного или нескольких муниципальных образований. В случае отказа одного из ЦОВ, обращения в автоматическом режиме перенаправляются на обработку в ЦОВ областного центра. Таким образом осуществляется принцип географического резервирования ЦОВ.

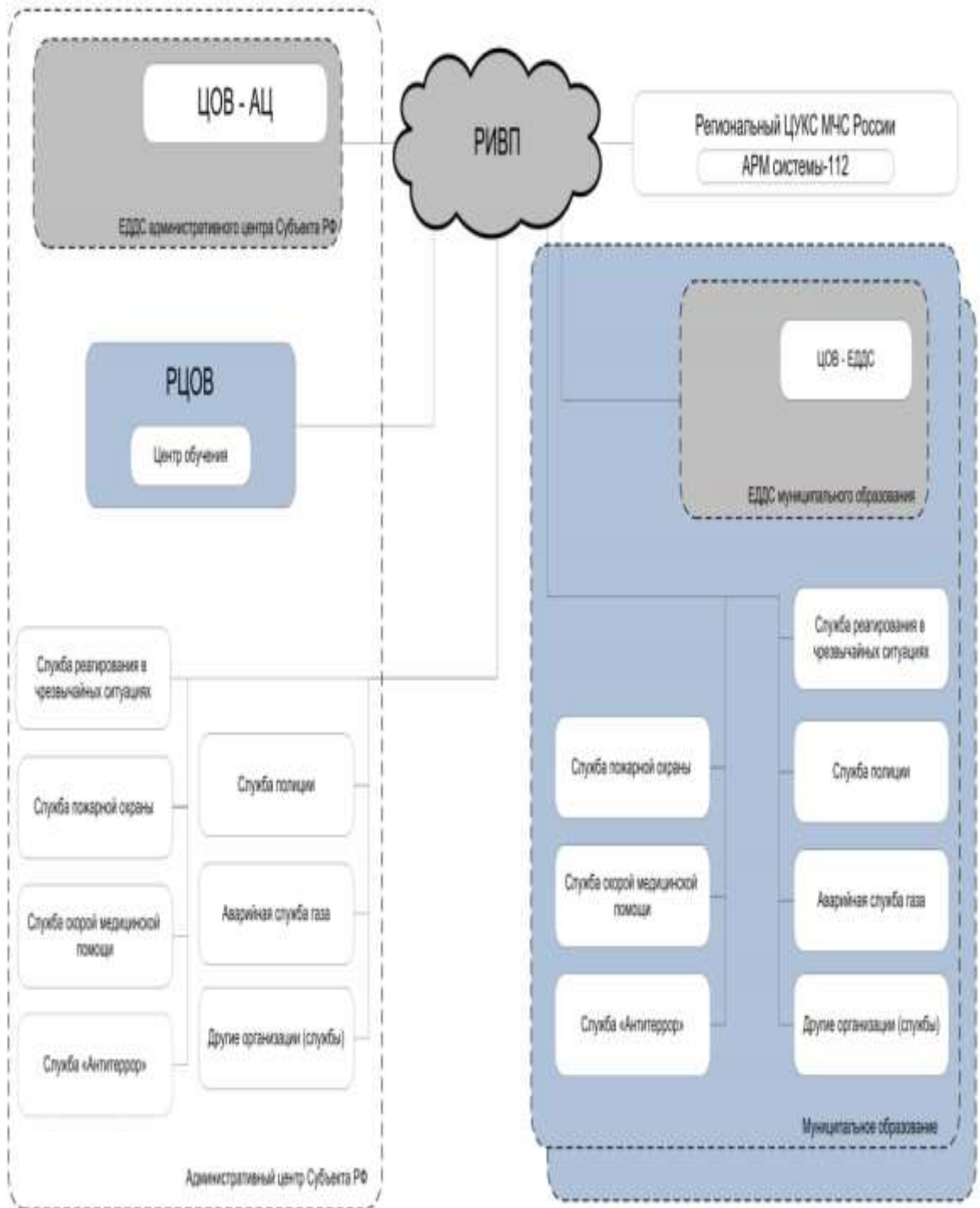


Рисунок П.1.2. Схема развертывания Службы-112

Обозначения: ЦУКС ГУ МЧС РФ – центр управления в кризисных ситуациях государственное учреждение министерство чрезвычайных ситуаций Российской Федерации; ЦОВ-АЦ - центр обработки вызовов системы-112, развернутый на базе единой дежурно-диспетчерской службы административного центра субъекта Российской Федерации; РИВП - распределенная информационно-вычислительная платформа; РЦОВ - резервный центр обработки вызовов «Системы 112»; АРМ - автоматизированное рабочее место.

Процесс работы «Системы 112» будет организован таким образом. Сообщение о происшествии принимается в центре обслуживания вызовов 112, либо в ДДС одной из экстренных служб, входящих в «Систему 112».

В автоматизированном режиме оператор осуществляет ввод в базу данных основных характеристик происшествия, передает их в ДДС по назначению, осуществляет контроль реагирования на происшествие, анализирует и вводит в базу данных информацию, полученную по результатам реагирования, при необходимости уточняет и корректирует действия привлеченных ДДС и информирует взаимодействующие ДДС об оперативной обстановке, принятых и реализуемых мерах.

В ходе и по окончании мероприятий по экстренному реагированию на принятый вызов (или сообщение) операторы ДДС должны заносить в базу данных «Системы 112» информацию о принятых мерах.

Технологические решения по созданию «Системы 112» должны обеспечивать выполнение следующих требований (см. табл.П1.1).

Таблица П.1.1 - Нормативные сроки совершения процедур по обеспечению вызова ЭОС по единому номеру «112»

Показатель	Значение
Время ответа на поступивший телефонный вызов оператором	Не более 10 с
Среднее время опроса позвонившего лица или идентификация ситуации оператором	75 с
Время ожидания сервисом IVR действий абонента (позвонившего лица)	20 с
Среднее время оказания оператором консультативных услуг позвонившему лицу	3 мин
Время оповещения, действующего ДДС о происшествии	Не более 60 с
Время подтверждения получения заполненной информационной карточки или переадресованного вызова диспетчером действующей ДДС	Не более 4 с
Время подтверждения соответствия поступившего вызова зоне ответственности данной ДДС	Не более 30 с
Время осуществления обратного дозвона оператором (набор номера)	Не более 15 с
Время ожидания оператором ответа абонента при обратном вызове	Не менее 30 и не более 60 с
Среднее время оказания услуг психологической поддержки	10 мин
Время ответа на звонок переводчиком и психологом (если они не входят в штатное расписание)	Не более 30 с

Приложение 2. Программа расчета по методу RDA

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using Microsoft.VisualBasic;

namespace Formula
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        string message, title, defaultValue;
        string myValue;
        double[] A;
        double[] N;
        double[] R;
        double[] D;
        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            message = "Enter a value ";
            title = "Input";
        }

        double[] phase_a_R(double[] A, double[] N)
        {
            double[] R = new double[A.Length];
            for (int i = 0; i < R.Length; i++)
            {
                R[i] = phase_a_R_i(A[i], N[i]);
            }
            return R;
        }

        double phase_a_R_i(double Ai, double Ni)
        {
            double result = 0;
            result = part_R_1(Ai, Ni) / part_R_2(Ai, Ni);
            return result;
        }
        double[] phase_a_D(double[] A, double[] N)
        {

```

```

double[] D = new double[A.Length];
for (int i = 0; i < D.Length; i++)
{
    D[i] = part_D_i(A[i], N[i], phase_a_R_i(A[i], N[i]));
}
return D;
}
double part_R_1(double Ai, double Ni)
{
return Ai * (Math.Pow(Ai, Ni)/factorial(Ni));
}
double part_R_2(double Ai, double Ni)
{
double result = 0;
for (int k = 0; k <= Ni; k++)
{
    result += ((Math.Pow(Ai, k)) / factorial(k));
}
return result;
}
double part_D_i(double Ai, double Ni,double Ri)
{
return ((Ai *Ri)/(Ni+1-Ai+Ri)) -Math.Pow(Ri,2);
}
double sum_array(double[] nums)
{
double sum = 0;
for (int i = 0; i < nums.Length; i++)
{
    sum += nums[i];
}
return sum;
}
double part_E_1(double Nx, double Ax)
{
return ((Math.Pow(Ax, Nx)) / factorial(Nx)) / part_R_2(Ax, Nx);
}
double part_E_2(double Nx, double Ax,double R)
{
return (Ax * R / (Nx + 1 - Ax + R)) - Math.Pow(R, 2);
}
double factorial(double number)
{
double fact=1;
if (number < 0){ return -1;}
else if (number == 1 || number == 0) { return 1;}
for (int i = 1; i <= number; i++)
{
    fact = fact * i;
}
return fact;
}

```

```

String output_;
void calc_process()
{
    String E = "***** E(Nx,Ax) *****\n";
    int max_retry = Int32.Parse(textBox_max.Text);
    int min_retry = Int32.Parse(textBox_min.Text);
    double delta = Double.Parse(textBox_delta.Text);
    double round_ = Double.Parse(textBox_round.Text);
    output_ = ("\tA=" + string.Join(", ", A) +
        "\n\tN=" + string.Join(", ", N) +
        "\n\tR=" + sum_array(R) +
        "\n\tD=" + sum_array(D) +
        "\n\t"
    );
    UpdateStatus2(output_);
    for (int Nx = min_retry; Nx <= max_retry; Nx++)
    {
        for (double Ax = 1; Ax <= max_retry; Ax = Ax + delta)
        {
            UpdateStatus("Processing:Nx= " + Nx + ",Ax="+Ax);
            bool chk1 =false;
            if(Math.Abs(Ax*part_E_1(Nx, Ax) - sum_array(R))<=round_)
                chk1=true;
            bool chk2 = false;
            if(Math.Abs(part_E_2(Nx, Ax, sum_array(R)) - sum_array(D))<=round_)
                chk2=true;
            E = "\tE(" + Nx + "," + Ax + ")=" + part_E_1(Nx, Ax) + "\n" +
                "\t\tAx*E(" + Nx + "," + Ax + ")=" + Ax * part_E_1(Nx, Ax) + ".....(1)\t" +
                (Ax*part_E_1(Nx, Ax) - sum_array(R))+"\t" + chk1 + "\n" +
                "\t\t{Ax*R/(Nx-1-Ax+R)}-R2=" + part_E_2(Nx, Ax, sum_array(R)) + ".....(2)\t" +
                (chk2 ? "True" : "False") +
                "\n\n";
            UpdateStatus2(E);
            if (chk1 || chk2)
            {
                double W = part_E_m(Ax, sum_array(R));
                double E_m = 1;
                double m = 0;
                while (E_m >= W)
                {
                    m++;
                    E_m=(Ax*E_m)/(m+(Ax*E_m));
                }
            }
            MessageBox.Show("Nx=" + Nx + "\tAx=" + Ax + "\tM=" + m+
                "\nR="+sum_array(R)+"\tD="+sum_array(D));
        }
    }
    MessageBox.Show("FINISH");
}
double part_E_m(double Ax, double R_)
{

```

```

        return (0.005 * R_) / Ax;
    }
    private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
    {
int n = Int32.Parse( textBox_n.Text.ToString());
        A = new double[n];
        N = new double[n];
        R = new double[n];
        D = new double[n];
        for (int i = 0; i < n;i++ )
        {
            myValue = Interaction.InputBox("Enter A["+(i+1)+"]", title, defaultValue, 100, 100);
            A[i] = Double.Parse(myValue);
        }
        for (int i = 0; i < n; i++)
        {
            myValue = Interaction.InputBox("Enter N[" + (i+1) + "]", title, defaultValue, 100, 100);
            N[i] = Double.Parse(myValue);
        }
        R = phase_a_R(A, N);
        D = phase_a_D(A, N);
        System.Threading.Thread procThread = new System.Threading.Thread(this.calc_process);
        procThread.Start();
    }
    private delegate void UpdateStatusDelegate(string status);
    private void UpdateStatus(string status)
    {
        if (this.label1.InvokeRequired)
        {
this.Invoke(new UpdateStatusDelegate(this.UpdateStatus), new object[] { status });
            return;
        }
        this.label5.Text = status;
    }
    private void UpdateStatus2(string status)
    {
        if (this.label1.InvokeRequired)
        {
this.Invoke(new UpdateStatusDelegate(this.UpdateStatus2), new object[] { status });
            return;
        }
        this.richTextBox1.AppendText( status);
        richTextBox1.ScrollToCaret();
    }
    }
}

```

Приложение 3. Программа аналитического расчета, разработанная с учетом возможности передачи избыточного трафика между ЦОВ системы

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.IO;
namespace метод_резервирование_с_возможностью_передач_между_цов
{
    class Program
    {
        static double factorial(double number)
        {
            double fact = 1;
            if (number < 0)
            {
                return -1;
            }
            else if (number == 1 || number == 0)
            {
                return 1;
            }
            for (int i = 1; i <= number; i++)
            {
                fact = fact * i;
            }
            return fact;
        }
        static double sum(double x, double a)
        {
            double result = 0;
            for (int k = 0; k <= x; k++)
            {
                result += ((Math.Pow(a, k)) / factorial(k));
            }
            return result;
        }
        static double sum1(double v, double ah, double q)
        {
            double result1 = 0;
            for (double k = q + 2; k <= v; k++)
            {
                result1 += ((Math.Pow(ah, k - q - 1)) / factorial(k));
            }
            return result1;
        }
        static double get_рцов(int g, int v, double a, double A_от_цов)
        {
            double потк_цов;
            int q;

```

```

    double[] P = new double[v + 1];
q = v - g - 1;
P[0] = 1 / (sum(q + 1, a) + ((Math.Pow(a, q + 1)) * (sum1(v, A_от_цов, q))));

    for (int i = 0; i <= q + 1; i++)
    {
        P[i] = P[0] * ((Math.Pow(a, i)) / factorial(i));
    }
    for (int i = q + 2; i <= v; i++)
{
P[i] = P[0] * (((Math.Pow(a, q + 1)) * (Math.Pow(A_от_цов, i - q - 1))) / factorial(i));
}
    ротк_цов = P[v];
    return ротк_цов;
}
static double get_ризбт(int g,int v,double a,double A_от_цов)
{
    double ротк_избыт;
    int q;
    double A_избыт_к_цов;
    double sum_p_избыт;
    double[] P = new double[v + 1];
    sum_p_избыт = 0;
    q = v - g - 1;
    P[0] = 1 / (sum(q + 1, a) + ((Math.Pow(a, q + 1)) * (sum1(v, A_от_цов, q))));
    for (int i = 0; i <= q + 1; i++)
    {
        P[i] = P[0] * ((Math.Pow(a, i)) / factorial(i));
    }
    for (int i = q + 2; i <= v; i++)
{
P[i] = P[0] * (((Math.Pow(a, q + 1)) * (Math.Pow(A_от_цов, i - q - 1))) / factorial(i));
}
    for (int i = q + 1; i <= v; i++)
{
sum_p_избыт = sum_p_избыт + P[i];
}
    ротк_избыт = sum_p_избыт;
return ротк_избыт;
}
static void Main(string[] args)
{
    while (true)
    {
        Console.Write("вводите значение W : ");
int w = int.Parse(Console.ReadLine());
        int[] V = new int[10];
        double []A= new double [10];
        for (int i=1;i<=w;i++)
{
            Console.Write("вводите значение V["+i+"] : ");
V[i]=int.Parse(Console.ReadLine());

```

```

    }
    for (int i = 1; i <= w; i++)
    {
        Console.WriteLine("вводите значение A[" + i + "]: ");
        A[i] = int.Parse(Console.ReadLine());
    }

    Console.WriteLine("вводите значение v_цов_чс: ");
    int vres = int.Parse(Console.ReadLine());
    Console.WriteLine("вводите значение A_ЧС: ");
    double A_ЧС = double.Parse(Console.ReadLine());
    Console.WriteLine("вводите значение g: ");
    int g = int.Parse(Console.ReadLine());
    double[] E = new double[100];
    E[0] = 1;
    for (int i = 1; i <= vres; i++)
    {
        E[i] = (A_ЧС * E[i - 1]) / (i + (A_ЧС * E[i - 1]));
    }
    double E_отк = E[vres];
    double A_избыт_чс = E_отк * A_ЧС;
    double[] k = new double[10];
    double[] a = new double[10];
    double sum_v()
    {
        double summa_v = 0;
        for (int i = 1; i <= w; i++)
        {
            summa_v += V[i];
        }
        return summa_v;
    }
    double d = sum_v();
    for (int i=1;i<=w;i++)
    {
        k[i] = V[i]/d ;
    }
    double ротк_избыт =0;
    double ротк_цов = 0;
    for (int i = 1; i <= 4; i++)
    {
        a[i] = k[i] * A_избыт_чс + A[i] + ротк_избыт * k[i - 1] * A_избыт_чс;
        int L = V[i];
        double o = a[i];
    }
    double s = A[i];
    ротк_избыт = get_ризбт(g, L, o, s);
    ротк_цов = get_рцов(g, L, o, s);
    Console.WriteLine("\t ротк_избыт[" + i + "] = " + ротк_избыт + "\t\t\t ротк_цов[" + i + "]
= " + ротк_цов);
}

    Console.ReadKey(); } } } }

```

Приложение 4. Программа аналитического расчета системы взаимопомощи с учетом влияния оперативного резерва

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.IO;

namespace метод_резервирование
{
    class Program
    {
        static double factorial(double number)
        {
            double fact = 1;
            if (number < 0) { return -1;}

            else if (number == 1 || number == 0) { return 1;}

            for (int i = 1; i <= number; i++)
            {
                fact = fact * i;
            }
            return fact;
        }
        static double sum(double x, double a)
        {
            double result = 0;
            for (int k = 0; k <= x; k++)
            {
                result += ((Math.Pow(a, k)) / factorial(k));
            }
            return result;
        }
        static double sum1(double v, double ah, double q)
        {
            double result1 = 0;
            for (double k = q + 2; k <= v; k++)
            {
                result1 += ((Math.Pow(ah, k - q - 1)) / factorial(k));
            }
            return result1;
        }
        static void Main(string[] args)
        {
            while (true)
            {
                Console.Write("вводите значение v_цтов : ");
                int v = int.Parse(Console.ReadLine());
            }
        }
    }
}

```



```

Console.WriteLine("вводите значение v_цов_чс: ");
int vres = int.Parse(Console.ReadLine());
Console.WriteLine("вводите значение A_от_цов: ");
double A_от_цов = double.Parse(Console.ReadLine());
Console.WriteLine("вводите значение A_ЧС: ");
double A_ЧС = double.Parse(Console.ReadLine());
    Console.WriteLine("вводите число ЦОВ(N): ");
    double N = double.Parse(Console.ReadLine());
double sum_p;
double ротк_избыт, p_цов;
    int q;
    double[] E = new double[100];
    E[0] = 1;
    for (int i = 1; i <= vres; i++)
    {
        E[i] = (A_ЧС * E[i - 1]) / (i + (A_ЧС * E[i - 1]));
    }
    double E_отк = E[vres];
    double A_избыт_общ = E_отк * A_ЧС;
    double A_избыт_к_цов = A_избыт_общ/N;
int g = 0;
double a = A_от_цов + A_избыт_к_цов;
    double[] P = new double[v + 1];
    while (g <= v)
    {
        sum_p = 0;
    q = v - g - 1;
    P[0] = 1 / (sum(q + 1, a) + ((Math.Pow(a, q + 1)) * (sum1(v, A_от_цов, q))));
        for (int i = 0; i <= q + 1; i++)
        {
            P[i] = P[0] * ((Math.Pow(a, i)) / factorial(i));
        }
        for (int i = q + 2; i <= v; i++)
        {
            P[i] = P[0] * (((Math.Pow(a, q + 1)) * (Math.Pow(A_от_цов, i - q - 1))) / factorial(i));
        }
    for (int i = q+1 ; i <= v; i++)
        {
            sum_p = sum_p + P[i];
        }
    ротк_избыт = sum_p;
    p_цов = P[v];

Console.WriteLine("g = " + g + "\t ротк_избыт=" + ротк_избыт + "\t p_цов= " + p_цов);
g++;
    }
    Console.ReadKey();
}}}}

```

Приложение 5. Программа расчета потерь по вызовам в радиointерфейсе базовой станции стандарта TETRA при полудуплексной, дуплексной и мультимедийной связи с отказами

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
namespace Omer
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        int V;
        decimal[] P = new decimal[1000];
        decimal AlphGrp;
        decimal F1;
        decimal F2;
        decimal F8;
        decimal PV;
        decimal Sum = 0;
        decimal m = 0;
        decimal DeltaValue;
        decimal N1;
        decimal N2;
        decimal PX1,PX2,PX8,Psrd;
        double y = 0;
        int j = 0;
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            clearTexts();
            txtLoopCounter.Text = "";
            double x;
            if (!double.TryParse(txtP0.Text, out x))
            {
                MessageBox.Show("Enter Correct Value for P0 ");
                return;
            }
            if (!double.TryParse(txtDeltaValue.Text, out x))
            {
                MessageBox.Show("Enter correct Value for Delta Value ");
                return;
            }
            if (!double.TryParse(txtAlphGroup.Text, out x))
            {

```

```

    MessageBox.Show("Enter correct value for AlphaGroup ");
    return;
}
if (!double.TryParse(txtF1.Text, out x))
{
    MessageBox.Show("Enter correct value for F1 ");
    return;
}
if (!double.TryParse(txtF2.Text, out x))
{
    MessageBox.Show("Enter correct value for F2 ");
return;
}
if (!double.TryParse(txtF8.Text, out x))
{
    MessageBox.Show("Enter correct value for F8 ");
    return;
}
if (!double.TryParse(txtV.Text, out x))
{
    MessageBox.Show("Enter correct value for V ");
    return;
}
V = System.Convert.ToInt32(txtV.Text);
AlphGrp = System.Convert.ToDecimal(txtAlphGroup.Text);
F1 = System.Convert.ToDecimal(txtF1.Text);
F2 = System.Convert.ToDecimal(txtF2.Text);
F8 = System.Convert.ToDecimal(txtF8.Text);
DeltaValue = System.Convert.ToDecimal(txtDeltaValue.Text);
N1 = System.Convert.ToDecimal(cmboN1.Text);
N2 = System.Convert.ToDecimal(cmboN2.Text);
P[0] = System.Convert.ToDecimal(txtP0.Text);

if (P[0] >= 1 || P[0] <= 0)
{
    MessageBox.Show("P0 Value must be greater than 0 and less than 1 ");
    return;
}
if (DeltaValue >= 1 || DeltaValue <= 0)
{
    MessageBox.Show("Delta Value must be greater than 0 and less than 1 and must be small
value PV0 ");
    return;
}
if (F1 + F2 + F8 != 1)
{
    MessageBox.Show("F1 Value,F2 Value and F8 Value must be Equal 1 ");
    return;
}
bool ResultFlag = false;
y = 0;
j = 0;

```

```

do
{
    Sum = 0;
    P[1] = AlphGrp * P[0];
    P[2] = (((AlphGrp + 1) / 2) * P[1]) - ((AlphGrp / 2) * (F1 * P[0]));

    P[3] = (((AlphGrp + 2) / 3) * P[2]) - ((AlphGrp / 3) * ((F1 * P[1]) + (F2 * P[0])));
    for (int i = 3; i < 8; i++)
    {
        P[i + 1] = (((AlphGrp + i) / (i + 1)) * P[i]) - ((AlphGrp / (i + 1)) * ((F1 * P[i - 1]) + (F2 *
P[i - 2]))));
    }
    for (int i = 8; i < V; i++)
    {
        P[i + 1] = (((AlphGrp + i) / (i + 1)) * P[i]) - ((AlphGrp / (i + 1)) * ((F1 * P[i - 1]) + (F2 *
P[i - 2]) + (F8 * P[i - 8]))));
    }
    PV = (AlphGrp / V) * (P[V - 1] + (F2 * P[V - 2]) + (F8 * (P[V - 2] + P[V - 3] + P[V - 4] +
P[V - 5] + P[V - 6] + P[V - 7] + P[V - 8])));
    y++;
    for (int i = 0; i < V; i++)
    {
        Sum += P[i];
    }
    Sum = Sum + PV;
    if (Sum < N2 && Sum > N1)
    {
        ResultFlag = true;
        break;
    }
    P[0] = P[0] - DeltaValue;
} while (Sum > N1); //|| m < N1 );
if (ResultFlag == true)
{
    PX1 = PV;
    PX2 = PV + P[V - 1];
    PX8 = PV + P[V - 1] + P[V - 2] + P[V - 3] + P[V - 4] + P[V - 5] + P[V - 6] + P[V - 7];
    Psrd = (PX1 * F1) + (PX2 * F2) + (PX8 * F8);
    txtPX1.Text = PX1.ToString();
    txtPX2.Text = PX2.ToString();
    txtPX8.Text = PX8.ToString();
    txtPSRD.Text = Psrd.ToString();
    for (int i = 0; i < V; i++)
    {
        PValue.Items.Add("P[" + i + "] = " + P[i]);
    }
    PValue.Items.Add("P[V] = " + PV);
    for (int i = 0; i < j; i++)
    {
        P0Values.Items.Add("P[0] = " + P0_values[i]);
    }
    txtSum.Text = Sum.ToString();
}

```

```

        txtP0_Value.Text = P[0].ToString();
    }
    else if(ResultFlag==false)
    {
        clearTexts();
        MessageBox.Show("No Result between the entered estimated valuse, please reduse upper
value ");
        // return;
    }
    txtLoopCounter.Text = y.ToString();
}
private void clearTexts()
{
    txtP0_Value.Text = "";
    txtPX1.Text = "";
    txtPX2.Text = "";
    txtPX8.Text = "";
    txtPSRD.Text = "";
    txtSum.Text = "";
    PValue.Items.Clear();
    P0Values.Items.Clear();
}
private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
{
    cmboN1.SelectedIndex = 2;
    cmboN2.SelectedIndex = 2;
}
private void btnCalc2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    decimal Sum2 = 0;
    double x;
    if (!double.TryParse(txtP0_2.Text, out x))
    {
        MessageBox.Show("Enter Correct Value for P0 ");
        return;
    }
    if (!double.TryParse(txtAlphGroup.Text, out x))
    {
        MessageBox.Show("Enter correct value for AlphaGroup ");
        return;
    }
    if (!double.TryParse(txtF1.Text, out x))
    {
        MessageBox.Show("Enter correct value for F1 ");
        return;
    }
    if (!double.TryParse(txtF2.Text, out x))
    {
        MessageBox.Show("Enter correct value for F2 ");
        return;
    }
    if (!double.TryParse(txtF8.Text, out x))

```

```

{
    MessageBox.Show("Enter correct value for F8 ");
    return;
}
if (!double.TryParse(txtV.Text, out x))
{
    MessageBox.Show("Enter correct value for F8 ");
    return;
}
V = System.Convert.ToInt32(txtV.Text);
AlphGrp = System.Convert.ToDecimal(txtAlphGroup.Text);
F1 = System.Convert.ToDecimal(txtF1.Text);
F2 = System.Convert.ToDecimal(txtF2.Text);
F8 = System.Convert.ToDecimal(txtF8.Text);
N1 = System.Convert.ToDecimal(cmbN1.Text);
N2 = System.Convert.ToDecimal(cmbN2.Text);
P[0] = System.Convert.ToDecimal(txtP0_2.Text);
if (P[0] >= 1 || P[0] <= 0)
{
    MessageBox.Show("P0 Value must be greater than 0 and less than 1 ");
    return;
}
if (F1 + F2 + F8 != 1)
{
    MessageBox.Show("F1 Value, F2 Value and F8 Value must be Equal 1 ");
    return;
}
if (V < 8)
{
    MessageBox.Show(" V Value must be greater than 7");
    return;
}
PValue2.Items.Clear();
P[1] = AlphGrp * P[0];
P[2] = (((AlphGrp + 1) / 2) * P[1]) - ((AlphGrp / 2) * (F1 * P[0]));
P[3] = (((AlphGrp + 2) / 3) * P[2]) - ((AlphGrp / 3) * ((F1 * P[1]) + (F2 * P[0])));
for (int i = 3; i < 8; i++)
{
    P[i + 1] = (((AlphGrp + i) / (i + 1)) * P[i]) - ((AlphGrp / (i + 1)) * ((F1 * P[i - 1]) + (F2 * P[i
- 2])));
}
for (int i = 8; i < V; i++)
{
    P[i + 1] = (((AlphGrp + i) / (i + 1)) * P[i]) - ((AlphGrp / (i + 1)) * ((F1 * P[i - 1]) + (F2 * P[i
- 2]) + (F8 * P[i - 8])));
}
PV = (AlphGrp / V) * (P[V - 1] + (F2 * P[V - 2]) + (F8 * (P[V - 2] + P[V - 3] + P[V - 4] + P[V - 5] +
P[V - 6] + P[V - 7] + P[V - 8])));
for (int i = 0; i < V; i++)
{
    Sum2 += P[i];
}

```

```

    Sum2 = Sum2 + PV;
    txtPTotalValues.Text = Sum2.ToString();
    for (int i = 0; i < V; i++)
    {
        PValue2.Items.Add("P[" + i + "] = " + P[i]);
    }
    PValue2.Items.Add("P[V]=" + PV);
}
private void Validation()
{
}
private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
}
private void txtDeltaZero_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
}
private void cmboN1_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
}
}
private void button2_Click_1(object sender, EventArgs e)
{
}
private void txtDeltaValue_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    double x;
    if (txtDeltaValue.Text != "")
    {
        if (double.TryParse(txtDeltaValue.Text, out x) &&
(System.Convert.ToDecimal(txtDeltaValue.Text) > 0 &&
System.Convert.ToDecimal(txtDeltaValue.Text) < 1))
        {
            // if (System.Convert.ToDecimal(txtDeltaValue.Text) > 0 &&
System.Convert.ToDecimal(txtDeltaValue.Text) <1)
            //{
                string s = txtDeltaValue.Text.Substring(2);
                txtDeltaZero.Text = s.Length.ToString();
// MessageBox.Show(s);
            }
        }
    }
}
}
}
}

```

Приложение 6. Описание массивов данных моделирования и программы моделирования процессов обслуживания экстренных вызовов в системе взаимопомощи

Образуем массивы $t_приход_ЧС[k]$ и $t_приход_цов[k_цов]$, каждый элемент которых поставлен в соответствие моменту времени поступления нового вызова, соответственно, в ЦОВ ЧС и ЦОВ j

$$t_приход_ЧС[k] = T_чс; \quad t_приход_цов[k_цов] = T_цов;$$

где k и $k_цов$ – номера элементов массивов.

Формируем массив вида $обслуж_цов-чс[dd]$, каждый элемент которого поставлен в соответствие одному оператору в ЦОВ ЧС. Элемент массива $обслуж_цов-чс[dd]$ несет информацию о текущем состоянии линии связи с оператором (занята, свободна), и о моменте ее освобождения, установленном при помощи датчика случайных чисел. Значения элементов массива устанавливаются в момент занятия линии как

$$обслуж_цов-чс[dd] = T_чс + tcall_чс,$$

где $tcall_чс$ – продолжительность обслуживания вызова в ЦОВ ЧС, которая поступает от третьего генератора при принятии вызова на обслуживание.

Оператор считается свободным, если при очередном обращении к нему имеет место неравенство $обслуж_цов-чс[dd] \leq t_приход_ЧС[k]$. Такой элемент массива загружается новым значением. Вызов считается принятым на обслуживание. Если неравенство не выполняется, то оператор считается занятым, а вызов не обслуженным данным оператором. В программе предусмотрен переход к следующему элементу массива.

Массив $необслуж_цов-чс[k_ЧС_НЕОБСЛУЖ]$ – это массив, каждый элемент которого представляет собой данные по не обслуженному вызову в ЦОВ ЧС, что возможно, когда все операторы ЦОВ ЧС заняты в момент поступления вызова. Номер последнего элемента массива $k_ЧС_НЕОБСЛУЖ$ - фактически это число необслуженных вызовов.

В массиве избыточных вызовов $t_приход_избыт[y]$ каждый элемент поставлен в соответствие моменту времени прихода избыточного вызова, пропущенного через распределитель к ЦОВ- j .

Для реализации функции распределителя избыточных вызовов использовался следующий подход:

$$i = 1 \text{ и } i = i + W,$$

где i - номер элемента массива необслуж_цов-чс;

W – число ЦОВ в системе взаимопомощи, на которые может направляться избыточный трафик.

Если допустить, что $W = 4$, то распределитель направляет в ЦОВ- j элементы (вызовы) массива с номерами 1,5,9... из массива необслуж_цов-чс[]. Вызовы, которые направляются в ЦОВ- j распределителем, загружаются в массив $t_приход_избыт[y]$.

В массиве $service [i]$ каждый элемент поставлен в соответствие одному общему оператору ($V_обще = V_цов - V_res$) в ЦОВ- j . Общий оператор – это оператор, который используется для обслуживания вызовов, направленных на цов- j от распределителя, и вызовов, поступивших в зоне ЦОВ- j .

Элемент массива $service [i]$ несет информацию о текущем состоянии линии связи с оператором (занята, свободна), и о моменте ее освобождения, установленном при помощи датчика случайных чисел.

Элемент массива $service[i]$ содержит запись моментов окончания обслуживания вызовов. Содержимое элементов массива устанавливается в момент занятия линии.

в зависимости от того, какой вызов приходил ранее в ЦОВ- j , определяется способ загрузки массива $service [i]$. Если избыточный вызов, записанный в массив $t_приход_избыт[y]$ поступил в ЦОВ- j до появления вызова, записанного в массив $t_приход_цов[k_цов]$ то

$$service [i] = T_цов + tcall_j,$$

$$\text{иначе } service [i] = t_приход_избыт [] + tcall_j,$$

где $tcall_j$ - продолжительность обслуживания вызова в ЦОВ- j , которая получается от 4-его генератора при принятии вызова на обслуживание.

При занятости всех операторов общего пользования в ЦОВ- j , поступивший вызов является, избыточным. Он признается направленным на IVR, и это событие фиксируется в счетчике направленных вызовов как

$$IVR\text{-избыт} = IVR\text{-избыт} + 1.$$

А если поступивший вызов является записанным в массив $t_приход_цов[k_цов]$, то он обслуживается одним из операторов оперативного резерва ЦОВ- j , и это событие фиксируется в счетчике использованных операторов резерва $Vres = Vres + 1$.

Если заняты все операторы резерва, то поступивший вызов в зоне ЦОВ- j признается направленным на IVR, и это событие фиксируется в счетчике направленных в IVR вызовов

$$IVR_цов = IVR_цов + 1.$$

В массивах вызовов, получивших отказ $t_приход_цов_отк[]$ и $t_приход_избыт_отк[k_избыт_отк]$, каждый элемент поставлен в соответствие моментам прихода вызовов, поступающих в зоне обслуживания ЦОВ- j и избыточных вызовов, направленных в ЦОВ- j из распределителя.

В массивах $PIVR_избыт[n]$ и $PIVR_совj[n]$ каждый элемент представляет собой вероятность направления в систему IVR, соответственно, не обслуженных избыточных вызовов и не обслуженных вызовов, поступивших в зоне обслуживания ЦОВ- j для данной i -ой серии испытаний $i=1, \dots, m$. И вычисляются так

$$PIVR_сов = IVR_цов / k_цов; \quad PIVR_исбет = IVR_избыт / y.$$

Когда состояние счетчика текущего времени $T_цов$ и $T_чс$ достигают величины, определяющей общую продолжительность измерения T_{mod} , обеспечивается выдача результатов серии испытаний в виде содержимого перечисленных счетчиков. Вычислялись показатели $PIVR_сов$ и $PIVR_исбет$.

Листинг программы моделирования

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.IO;
namespace моделирование
{
    class Program
    {
        static void Main(string[] args)
        {
            Console.WriteLine("введите значение V_чс =");
            int v_чс = int.Parse(Console.ReadLine());
            Console.WriteLine("введите значение V_цов =");
            uint v_цов = uint.Parse(Console.ReadLine());
            Console.WriteLine("введите значение V_res =");
            int reserv = int.Parse(Console.ReadLine());
            Console.WriteLine("введите значение lamda_ЧС :");
            double lamda = double.Parse(Console.ReadLine().Replace(".", ","));
            Console.WriteLine("введите значение lamda_цов :");
```

```

double lamda_цов = double.Parse(Console.ReadLine().Replace(".", ","));
Console.WriteLine("введите значение ЦОВW =");
int w = int.Parse(Console.ReadLine());
Console.WriteLine("введите значение время моделирования =");
double T_м = double.Parse(Console.ReadLine());
Console.WriteLine("введите количество серии испытаний =");
double M_экс = double.Parse(Console.ReadLine());
while (true)
{
    double[] необслуж_АЧСЦОВ = new double[10000];
    double[] обслуж_АЧСЦОВ = new double[10000];
    double[] t_приход_ЧС = new double[10000];
    double[] t_приход_цов = new double[10000];
    double[] t_приход_избыт = new double[10000];
    double[] t_приход_цов_otk = new double[10000];
    double[] t_приход_избыт_otk = new double[10000];
    double[] servic = new double[10000];
    double[] P_otk_избыт = new double[10000];
    double[] P_otk_sovj = new double[10000];
    StreamWriter P_otk = new StreamWriter("вероятностиотказов_vres=2.xls", true);
    P_otk.WriteLine("p_otk_испет \t " + "\t p_otk_cov \t" + "\t \t z_chsa" + "\t z_sov" + "\t
z_servic");
    Random rand = new Random();
    int m = 1;
    do
    {
        double z = rand.NextDouble();
        double z_цов = rand.NextDouble();
        double z1 = rand.NextDouble();
        P_otk.WriteLine("\t\t\t\t " + z + "\t" + z_цов + "\t " + z1);
        Console.WriteLine("\t номерсерии = " + m);
        double e = 0;
        double e_цов = 0;
        double e1 = 0;
        for (int i = 1; i <= 5000; i++)
        {
            необслуж_АЧСЦОВ[i] = 0;
            обслуж_АЧСЦОВ[i] = 0;
            t_приход_ЧС[i] = 0;
            t_приход_цов[i] = 0;
            t_приход_избыт[i] = 0;
            t_приход_цов_otk[i] = 0;
            t_приход_избыт_otk[i] = 0;
            servic[i] = 0;
        }
        double get_rand()
        {
            double t;
            e = e / z;
            e = e + Math.PI;
            int h = (int)e;
            e = e - h;
        }
    }
}

```

```

z = z + Math.Pow(10, -8);
t = -(1 / lamda) * Math.Log(1 - e, Math.E);
return t;
}
double get_rand_цов()//
{
double t;
e_цов = e_цов / z_цов;
e_цов = e_цов + Math.PI;
int h2 = (int)e_цов;
e_цов = e_цов - h2;
z_цов = z_цов + Math.Pow(10, -8);
t = -(1 / lamda_цов) * Math.Log(1 - e_цов, Math.E);
return t;
}
double get_rand_mu()
{
double t_обслуж;
double mu = 20;
e1 = e1 / z1;
e1 = e1 + Math.PI;
int h1 = (int)e1;
e1 = e1 - h1;
z1 = z1 + Math.Pow(10, -8);
t_обслуж = -(1 / mu) * Math.Log(1 - e1, Math.E);
return t_обслуж;
}
double T_чс = 0;
double T_цов = 0;
int k = 0;
int k_цов = 0;
int k_ЧСОБСЛУЖ = 0;
int k_ЧС_НЕОБСЛУЖ = 0;
int k_избыт_otk = 0;
int cheslo_otk_sov = 0;
int k_otk_sov_when_v_opch = 0;
int ooo = 0;
int uuu = 0;
int y = 0;
int число_свободных = 0;
int dd = 0;
int[] cheslo = newint[1000];
// цикл определяющий моменты прихода вызовов во время моделирования
while (true)
{
if (T_чс < T_м)
{
k = k + 1; // число вызовов поступающих от цов-чс
double d = get_rand(); // генерация вызова от цов-чс
T_чс = T_чс + d; // момент поступление вызова от цов-чс
}
if (T_цов < T_м)

```

```

    {
    Double q = get_rand_цов(); // генерация вызова от цов-j
    T_цов = T_цов + q; // момент поступления вызова от цов-j
    k_цов = k_цов + 1; // число вызовов поступающих от цов-j
    }
    if (T_чс > T_м && T_цов > T_м) // условия окончания моделирования
    {
        break;
    } // конец цикла
    t_приход_ЧС[k] = T_чс; // массив моментов прихода вызовов от цов_чс
    t_приход_цов[k_цов] = T_цов; // массив моментов прихода вызовов от цов-j
} //

    StreamWriter sw1 = new StreamWriter("поступленияВАЧСЦОВ.txt", true);
    StreamWriter sw5 = new StreamWriter("поступленияВЦОВ_j.txt", true);
    StreamWriter sw2 = new StreamWriter("обслуживанияВАЧСЦОВ.txt", true);
    StreamWriter sw4 = new StreamWriter("необслуживанияВАЧСЦОВ.txt", true);
    StreamWriter omar11 = new StreamWriter("заявкиобслужцов_j v= 20.txt", true);
    StreamWriter sw3 = new StreamWriter("заявкичерезраспред.txt", true);
    for (int i = 1; i <= k; i++) { sw1.WriteLine("\t t_приход_ЧС[" + i + "] = " +
t_приход_ЧС[i]); }
    for (int i = 1; i <= k_цов; i++) { sw5.WriteLine("\t t_приход_цов[" + i + "] = " +
t_приход_цов[i]); }
    for (int ss = 1; ss <= k; ss++)
    {
        dd = dd + 1;
    обслуж_АЧСЦОВ[dd] = t_приход_ЧС[dd] + get_rand_mu();
        sw2.WriteLine("\tt_приход_ЧС[" + dd + "] = " + t_приход_ЧС[dd]);
    sw2.WriteLine("\tобслуж_АЧСЦОВ[" + dd + "] = " + обслуж_АЧСЦОВ[dd]);
    k_ЧСОБСЛУЖ++;
        if (dd >= v_чс)
        {
            break;
        }
    }
    for (int j = k_ЧСОБСЛУЖ + 1; j <= k; j++)
    {
        for (int q = 1; q <= v_чс; q++)
        {
            if (обслуж_АЧСЦОВ[q] < t_приход_ЧС[j])
            {
                обслуж_АЧСЦОВ[q] = t_приход_ЧС[j] + get_rand_mu();
                sw2.WriteLine("t_приход_ЧС[" + j + "]" + t_приход_ЧС[j]);
                sw2.WriteLine("обслуж_АЧСЦОВ[" + q + "]" + обслуж_АЧСЦОВ[q]);
                k_ЧСОБСЛУЖ++;
                ooo = uuu;
                uuu = uuu - 1;
                break;
            }
        }
        uuu = uuu + 1;
        if (ooo != uuu)
    }
}

```



```

        число_свободных = 0;
        break;
    }
}
else
{
    for (int i = 1; i <= v_цов; i++) // определения числа свободных каналов для
А_ЦОВ
{
    if (servic[i] < t_приход_цов[l])
    {
        число_свободных += 1;
    }
}
if (число_свободных >= 1)
{
    for (int i = 1; i <= v_цов; i++)
    {
        if (servic[i] < t_приход_цов[l])
        {
            servic[i] = t_приход_цов[l] + get_rand_mu();
            double eee = servic[i];
            omar11.WriteLine("servic[" + i + "] = " + eee + "\t t_приход_цов[" + l + "] = " +
t_приход_цов[l]);
            число_свободных = 0;
            s = s + 1;
            cheslo_sov++;
            число_свободных = 0;
        }
    }
}
}
else
{
    cheslo_otk_sov += 1;
    omar11.WriteLine("cheslo_otk_sov = " + cheslo_otk_sov + "t_приход_цов[" + l + "]" +
t_приход_цов[l] );
    cheslo_sov++;
    s = s + 1;
    число_свободных = 0;
    omar11.WriteLine("cheslo_otk_sov = " + cheslo_otk_sov);
}
}
}
}
for (int l = cheslo_sov + 1; l <= k_цов; l++)
{
    for (int i = 1; i <= v_цов; i++)
    {
        if (servic[i] < t_приход_цов[l])
    {
        число_свободных += 1;
    }
}
}
}
}

```

```

    }
  }
  if (число_свободных >= 1)
  {
    for (int i = 1; i <= v_цов; i++)
    {
      if (servic[i] < t_приход_цов[l])
      {
        servic[i] = t_приход_цов[l] + get_rand_mu();
        double eeee = servic[i];
        omar11.WriteLine("servic[" + i + "] = " + eeee + "\t t_приход_цов[" + l + "] = "
+ t_приход_цов[l]);
        checlo_sov++;
        число_свободных = 0;
        break;
      }
    }
  }
  else
  {
    cheslo_otk_sov += 1;
    omar11.WriteLine("cheslo_otk_sov = " + cheslo_otk_sov + "t_приход_цов[" + l + "]" +
t_приход_цов[l] );
    checlo_sov++;
    s = s + 1;
    число_свободных = 0;
    omar11.WriteLine("cheslo_otk_sov = " + cheslo_otk_sov);
  }
  for (int pp = checlo_ismet + 1; pp <= y; pp++)
  {
    for (int i = 1; i <= v_цов; i++) // определения числа свободных каналов в цов
    {
      if (servic[i] < t_приход_избыт[pp])
      {
        число_свободных += 1;
      }
    }
    if (число_свободных > reserv)
    {
      for (int i = 1; i <= v_цов; i++)
      {
        if (servic[i] < t_приход_избыт[pp])
        {
          checlo_ismet++;
          servic[i] = t_приход_избыт[pp] + get_rand_mu();
          omar11.WriteLine("servic[" + i + "] = " + servic[i] + "t_приход_избыт[" + pp +
"] = " + t_приход_избыт[pp]);
          число_свободных = 0;
          break;
        }
      }
    }
  }
}

```



```

    }
    else
    {
        k_избыт_otk = k_избыт_otk + 1;
        t_приход_избыт_otk[k_избыт_otk] = t_приход_избыт[pp];
        omar11.WriteLine("t_приход_избыт_otk[" + k_избыт_otk + "] = " +
t_приход_избыт_otk[k_избыт_otk] + "\t p = " + pp);
        cheslo_ispet++;
число_свободных = 0;
    }
}
sw1.WriteLine("числоАчс" + k);
sw4.WriteLine("число отказных АЧС" + k_ЧС_НЕОБСЛУЖ);
sw3.WriteLine("число Ачс через распред" + y);
sw5.WriteLine("число А_цов" + k_цов);
omar11.WriteLine("k_избыт_otk = " + k_избыт_otk + "\t cheslo_otk_sov = " +
cheslo_otk_sov);
omar11.WriteLine("k_otk_sov_when_v_opch = " + k_otk_sov_when_v_opch);
double P_otk_isbet = ((double)k_избыт_otk) / y;
double P_otk_sov = ((double)cheslo_otk_sov) / k_цов;
P_otk_избыт[m] = P_otk_isbet;
P_otk_sovj[m] = P_otk_sov;
Console.WriteLine("число Ачс через распред = " + y);
Console.WriteLine("числорезервов = " + reserv);
Console.WriteLine("числоА_цов = " + k_цов);
Console.WriteLine("k_избыт_otk = " + k_избыт_otk + "\tcheslo_otk_sov = " + cheslo_otk_sov);
Console.WriteLine(" P_otk_избыт[" + m + "] =\t " + P_otk_избыт[m] + "\t \tP_otk_sovj[" + m + "] =
\t " + P_otk_sovj[m]);
P_otk.WriteLine("p_isp[" + m + "] =\t " + P_otk_избыт[m] + "\tp_sov[" + m + "] =\t " +
+P_otk_sovj[m]);
omar11.Close();
sw1.Close();
sw2.Close();
sw3.Close();
sw4.Close();
sw5.Close();
m++;
//Console.ReadKey();
} while (m <= M_экс);
double p_отк_экспер_сред(double[] mun)
{
    double sum = 0;
    for (int i = 1; i <= M_экс; i++)
    {
        sum += mun[i];
    }
    double p_отк_экспер = (1 / M_экс) * sum;
    return p_отк_экспер;
}
double сред_откл(double[] nums) //среднеквадратичное отклонение
{
    double sum = 0;

```


Приложение 7. Акт об использовании результатов диссертационной работы в учебном процессе МТУСИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

Ордена Трудового Красного Знамени
федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

**«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И
ИНФОРМАТИКИ»
(МТУСИ)**



**FEDERAL COMMUNICATIONS
AGENCY OF
THE RUSSIAN FEDERATION**

**MOSCOW TECHNICAL
UNIVERSITY
OF COMMUNICATIONS
AND INFORMATICS
(MTUCI)**

ул. Авиамоторная, д. 8а, Москва, 111024,
www.mtuci.ru; mtuci.pf; e-mail: kanc@mtuci.ru
Телефон (495) 957-77-31; факс (495) 957-77-36
ОГРН 1027700117191; ИНН/КПП 7722000820/772201001; ОКПО 01179952;
ОКВЭД 85.22, 46.19, 58.19, 61.10, 68.32, 72.19, 85.21, 85.23, 85.42.9, 71.20, 33.13, 26.60 ; ОКТМО 45388000

_____ 20 _____ № _____
На № _____ от _____



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе,
кандидат технических наук, доцент

Титов Е.В.

» 2021 г.

АКТ

**об использовании результатов диссертационной работы
Мохаммеда Омара Ахмеда Абдулвасеа
«Разработка метода повышения пропускной способности системы экстренных
служб»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, в
учебном процессе по кафедре «Сети связи и системы коммутации» МТУСИ**

Комиссия в составе: председатель – зав. кафедрой СС и СК, профессор Степанов С.Н.; члены – доцент Маликова Е.Е. и доцент Данилов А.Н. составили настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы:

математическая модель функционирования системы экстренных служб, учитывающая возможность объединения ресурсов операторских служб «Системы 112» для оперативного контроля и реагирования при чрезвычайной ситуации;
методика расчета числа центров обслуживания вызовов в системе с учетом требований к коэффициенту потенциальной устойчивости системы в режиме ЧС;
рекомендации по организации совместной работы системы профессиональной радиотелефонной связи TETRA и беспилотных летательных аппаратов;
программы расчета пропускной способности системы экстренных служб использованы в учебно-исследовательской работе бакалавров и магистров кафедры СС и СК, при курсовом проектировании по дисциплине «Системы коммутации».

Председатель комиссии:

Степанов С.Н.

Члены комиссии:

Маликова Е.Е.

Данилов А.Н.