

На правах рукописи

Леваков Андрей Кимович

**Модели и принципы функционирования сети связи
следующего поколения в чрезвычайных ситуациях**

Специальность: 05.12.13 – Системы, сети
и устройства телекоммуникаций

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2018 г.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича"

Научный консультант – Соколов Николай Александрович, доктор технических наук, старший научный сотрудник

Официальные оппоненты:

Иванов Александр Юрьевич – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации" (г. Санкт-Петербург), профессор кафедры специальных информационных технологий.

Росляков Александр Владимирович – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики" (г. Самара), заведующий кафедрой автоматической электросвязи.

Сычёв Константин Иванович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего образования "Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации" (г. Орёл), начальник отдела Научно-исследовательского испытательного института.

Ведущая организация – федеральное государственное унитарное предприятие "Центральный научно-исследовательский институт связи" (г. Москва).

Защита состоится "13" декабря 2018 г. в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 219.001.04 при ордена Трудового Красного Знамени федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Московский технический университет связи и информатики" по адресу: 111024, Москва, ул. Авиамоторная, д. 8а, МТУСИ, аудитория А-448 (малый зал заседаний).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МТУСИ и на сайте <http://www.srd-mtuci.ru/images/Dis-Levakov/dis-Levakov.pdf>

Автореферат разослан "___" _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 219.001.04
кандидат технических наук, доцент

Максим Валерьевич Терешонок

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Принципы модернизации сети связи общего пользования базируются на концепции NGN (Next Generation Network), разработанной Международным союзом электросвязи (МСЭ). В российской технической литературе эту концепцию называют сетью связи следующего поколения. При переходе к NGN необходимо решить ряд новых научных задач, среди которых следует выделить аспекты ее функционирования в чрезвычайных ситуациях (ЧС).¹

Сложность решения поставленной задачи обусловлена тремя основными факторами. Во-первых, пакетные технологии передачи и коммутации усложняют поддержку установленных показателей качества обслуживания мультисервисного трафика, который, как показали результаты измерений, существенно меняет свои характеристики в ЧС. Во-вторых, некоторые ЧС могут приводить к отказам части элементов телекоммуникационной системы, что стимулирует разработку системных решений по повышению устойчивости функционирования сети связи. В-третьих, начался процесс внедрения Системы-112, которая предусматривает доступ ко всем экстренным оперативным службам по трехзначному номеру "112", что требует дополнительного анализа для успешного обслуживания вызовов.

Результаты, полученные отечественными и зарубежными специалистами, важны для исследования принципов планирования и процессов функционирования NGN. С другой стороны, функционирование NGN в ЧС имеет специфику, обусловленную природой происшествий. По этой причине необходима разработка научно обоснованных принципов функционирования сети связи следующего поколения, учитывающих и характер трафика в ЧС, и возможность отказов ее элементов. Эти принципы базируются на исследовании характеристик качества обслуживания трафика, надежности NGN и процессов функционирования Системы-112.

Аргументы, изложенные выше, определяют актуальность разработки принципов функционирования NGN в ЧС с момента ее возникновения вплоть до ликвидации последствий.

Степень разработанности темы исследования. Исследованию системных проблем построения NGN и методам поддержки нормированных показателей качества обслуживания мультисервисного трафика посвящены исследования российских ученых Вишневого В.М., Гольдштейна Б.С., Иванова А.Ю., Кучерявого А.Е., Назарова А.А., Назарова А.Н., Нетеса В.А., Парамонова А.И., Ромашковой О.Н., Рослякова А.В., Самуйлова К.Е., Соколова Н.А., Степанова С.Н.,

¹ Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей (Федеральный закон №23-ФЗ от 1 апреля 2012 года).

Сычева К.И., Шелухина О.И., Яновского Г.Г. и других специалистов. В работах Исаева В.И., Мамонтовой Н.П., Рослякова А.В. и других авторов представлены результаты исследований качества обслуживания трафика в центрах обработки вызовов, схожих по своим характеристикам с оборудованием, которое используется в составе Системы-112. Из зарубежных ученых необходимо отметить работы следующих авторов: Allen O., Gelenbe E., Kleinrock L., Kuhn P., Langenbach-Beltz M., Pujolle G.

Несмотря на большое число публикаций по принципам построения NGN и поддержки нормированных качественных показателей, ряд задач требует дополнительных исследований. К ним, в частности, относятся задачи, обусловленные факторами, которые присущи ЧС.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования служит сеть NGN, работающая в условиях ЧС. Предмет исследования – комплекс моделей, формализующих процессы функционирования сети NGN в ЧС.

Цели и задачи исследования. Диссертация посвящена решению важной народно-хозяйственной задачи – разработке совокупности базовых принципов функционирования NGN в условиях действия ЧС с учетом требований ведомств, принимающих участие в ликвидации ее последствий, абонентов и Операторов связи. Для достижения поставленной цели в диссертации решаются следующие основные задачи:

- исследование путей повышения устойчивости функционирования NGN в условиях действия ЧС;
- исследование способов обслуживания мультисервисного трафика, характерного для периода действия ЧС;
- исследование новых принципов доступа к экстренным оперативным службам (в частности, посредством Системы-112) с точки зрения решения перечисленных выше проблем;
- составление рекомендаций для Операторов связи, Разработчиков телекоммуникационного оборудования и Поставщиков инфокоммуникационных услуг.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных в диссертационной работе задач использовались методы системного анализа, теорий вероятностей, телетрафика, графов, принятия решений, управления запасами, экспертных оценок, а также имитационное моделирование.

Научная новизна диссертационной работы.

1. Впервые сформулированы базовые положения модернизации системы электросвязи путем реализации концепции NGN с учетом требований, которые типичны для периода действия ЧС.
2. Разработана система новых, отличных от существующих, взаимосвязанных алгоритмов управления телекоммуникационной сетью. Они основаны на реконфигурации структуры (по заранее разработанным правилам или на основе оперативной информации о состоянии ресурсов передачи, ком-

мутации и обработки информации), ограничении трафика и введении новой системы приоритетов для обработки IP-пакетов на период действия ЧС.

3. Предложен и обоснован комплекс новых математических моделей узла коммутации в сети следующего поколения и маршрута обмена IP-пакетами между интерфейсами пользователь-сеть в виде систем (СМО) и сетей (СеМО) массового обслуживания для исследования характеристик качества обслуживания мультисервисного трафика. Модели отличаются от известных тем, что учитывают условия функционирования сети, типичные для ЧС.
4. Получены неизвестные ранее аналитические соотношения для оценки качества обслуживания мультисервисного трафика в ЧС, позволившие уточнить ряд важных методов анализа сложных СМО и СеМО.
5. Уточнен метод расчета характеристик надежности для NGN при возникновении ЧС, учитывающий впервые предложенные процедуру оперативного введения дополнительных ресурсов передачи и коммутации с целью поддержки максимально достижимых показателей качества обслуживания мультисервисного трафика, а также введение в состав сети "Интеллектуальных шлюзов", выполняющих функции резервных контроллеров сети.
6. Выявлена важная особенность характера потоков IP-пакетов, представимых распределениями, заданными на ограниченном интервале времени. При идентичных значениях двух первых моментов такие потоки приводят к более существенным задержкам IP-пакетов, чем потоки, для которых характерны распределения, заданные на интервале $[0, \infty)$.
7. Впервые сформулированы научно обоснованные принципы функционирования сети следующего поколения в ЧС, касающиеся полного жизненного цикла телекоммуникационной системы: формирование концепции модернизации сетей связи, разработка проектных решений, проведение строительно-монтажных работ, эксплуатация технических средств, а также восстановление сети, если оно требуется после ЧС.

Основные положения работы, выносимые на защиту.

1. Разработанные в диссертации принципы управления ресурсами позволяют учесть особенности функционирования сети связи следующего поколения при различных последствиях ЧС, приводящих к отказам оборудования и трактов обмена информацией, а также к изменению характера мультисервисного трафика, что обеспечивает адаптацию сети связи к работе в условиях ЧС без снижения её эффективности при работе в штатном режиме.
2. Предложенные математические модели узлов коммутации и маршрутов обмена IP-пакетами между интерфейсами пользователь-сеть, учитывающие особенности работы всех элементов в составе сети следующего поколения в условиях ЧС, обеспечивают получение требуемых оценок основных характеристик качества обслуживания мультисервисного трафика.

3. Результаты исследования СМО и СеМО, служащих адекватными моделями средств передачи и коммутации IP-пакетов в сети следующего поколения, позволяют оценить характеристики, которые определяют уровень качества обслуживания мультисервисного трафика в условиях ЧС.
4. Нормативные показатели надежности и живучести сети связи следующего поколения достигаются за счет установки Интеллектуальных шлюзов. Это оборудование обеспечивает сохранение автономной работы всех важнейших элементов телекоммуникационной системы в условиях ЧС, включая доступ к экстренным оперативным службам, при потере связности с контроллерами медиашлюзов, расположенными вне территории муниципальных образований.
5. Показано, что в течение ЧС наблюдаются периоды времени, когда формируются потоки IP-пакетов с распределениями, заданными на ограниченном интервале времени. Они приводят к более существенным задержкам процесса обмена информацией, чем потоки IP-пакетов, которые представимы распределениями, заданными на интервале $[0, \infty)$, при условии, что значения двух первых моментов для обоих типов потоков совпадают.
6. Предложенный алгоритм снижения количества вызовов в узлах коммутации при возникновении ЧС, основанный на ограничении длительности разговора с уведомлением вызывающего абонента и введении паузы между попытками вызовов, величина которой варьируется в зависимости от загрузки сети при помощи метода "деление отрезка пополам", обеспечивают повышение доли обслуженного трафика.
7. Сформулированные принципы и основанные на них рекомендации по планированию сетей связи следующего поколения, строительству и эксплуатации технических средств, учитывающие специфику работы телекоммуникационной системы в ЧС, обеспечивают решение важной народно-хозяйственной задачи – сохранения жизни и здоровья граждан, а также обеспечения устойчивой работы народно-хозяйственных объектов.

Положения под номерами 4, 5, 6 и 7 представляют собой базовые принципы функционирования NGN в условиях ЧС, разработанные в процессе проведения диссертационного исследования.

Личный вклад. Основные результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. В публикациях [24, 25, 28] соискатель поставил задачу и участвовал в трактовке полученных результатов. Практические решения и рекомендации разработаны при его непосредственном участии или под его научным руководством.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы. Теоретическая значимость результатов диссертационной работы заключается в выявлении проблем, касающихся структуры сети NGN в условиях ЧС, и решении задачи по обеспечении надежности связи, в обнаружении и описании закономерностей,

присущих трафику в условиях ЧС, в получении ряда новых аналитических соотношений, существенных для прикладной теории телетрафика.

Наиболее важные практические результаты представлены тремя апробированными рекомендациями: принципы функционирования сети связи следующего поколения с момента возникновения ЧС до ликвидации их последствий, организация обслуживания лавинообразного потока вызовов при возникновении масштабных ЧС, предложения по применению Интеллектуальных шлюзов для повышения надежности и живучести телекоммуникационной системы.

Реализация результатов работы. Результаты диссертации использованы:

- в ЛО ЦНИИС при проведении исследований по построению сетей NGN в части обеспечения их работы в нештатных ситуациях;
- в Макрорегиональном филиале "Центр" ПАО "Ростелеком" при принятии проектных решений по построению сетей NGN в части обеспечения их работы в чрезвычайных ситуациях;
- в 13 Исследовательской комиссии сектора стандартизации МСЭ при разработке вклада "Механизм ограничения трафика в чрезвычайных ситуациях";
- в Главном управлении МЧС России по Курской области при создании Системы-112 Курской области, принятой государственной комиссией в промышленную эксплуатацию в 2013 году;
- в проектном институте "Гипросвязь" при разработке схем развития сетей связи в ряде субъектов Российской Федерации;
- в научно-техническом центре "Протей" при проведении разработки Интеллектуального шлюза и центра обработки вызовов для Системы-112;
- в компании-производителе оборудования связи "Искрател" (Словения) при разработке и внедрении оборудования SI3000 eCIS для использования в ЦОВ Системы-112, а также новой версии оборудования SI3000 CS, где был внедрен механизм снижения количества вызовов в условиях ЧС;
- в учебном процессе кафедры "Инфокоммуникационных систем" СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича.

Реализация результатов диссертационной работы подтверждается соответствующими документами.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Достоверность результатов проведенных исследований подтверждается корректным применением математического аппарата, имитационным моделированием, натурными экспериментами, широким спектром публикаций в рецензируемых научных журналах. Основные положения диссертационной работы были представлены и обсуждались на 6-й ежегодной международной конференции "NGN в России. Технологии и услуги" (Санкт-Петербург, 2007 г.), 8-ой международной конференции "Управление сетями электросвязи" (Москва, 2012 г.), I-ой, II-ой, III-ей и V-ой международных научно-технических и научно-методических конференциях "Актуальные проблемы инфокоммуникаций в науке и образовании" (Санкт-Петербург, 2012, 2013, 2014 и 2016 гг. соответственно), 12-ой международной конференции "Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Net-

working" (Санкт-Петербург, 2013 г.), Международном семинаре МСЭ "Co-evolution of Info communication Technologies and Society, or Ways to the Society without Frontiers" (Санкт-Петербург, 2013 г.), заседаниях кафедры инфокоммуникационных систем СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича.

Публикации. Основные результаты диссертации изложены в 44 опубликованных работах, в том числе в одной монографии. 31 работа напечатана в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Общий объем диссертации – 305 страниц, включая 131 формулу, 84 рисунка, 11 таблиц, список литературы из 259 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности темы диссертации, определение цели проводимых исследований, краткое изложение содержания диссертационной работы по ее главам, сформулированные положения, касающиеся научной новизны и практической значимости выполненной работы.

Первая глава посвящена анализу принципов модернизации телекоммуникационной системы с точки зрения новых возможностей и угроз в ЧС. Кроме того, учитываются изменение характера ЧС и возрастающие требования общества к минимизации их последствий. При проведении системного анализа выявлены ключевые аспекты развития телекоммуникационной системы с точки зрения выполнения сетью связи своих основных функций.

Современному этапу модернизации телекоммуникационной системы присущи особенности, определяемые внутренними и внешними факторами. Важнейший внутренний фактор – длительное существование фрагментов сети связи, построенных на разных технологиях передачи и коммутации (канальной и пакетной). Среди внешних факторов необходимо выделить возрастающие требования потенциальных пользователей к скорости доступа в сеть и к показателям качества обслуживания мультисервисного трафика.

Для организации работы телекоммуникационной системы в ЧС были исследованы стратегии перехода к NGN. Результаты этого исследования позволили решить две задачи. Первая задача заключается в формировании принципов функционирования телекоммуникационной системы в ЧС, если стратегия уже выбрана и процесс ее реализации не может быть изменен. Вторая задача актуальна в том случае, когда стратегия создания NGN еще не выбрана. Тогда возникает возможность использования принципов перехода к NGN, которые обеспечивают эффективное функционирование телекоммуникационной системы и в штатных условиях эксплуатации, и при возникновении ЧС.

Модель телекоммуникационной системы при организации связи между тремя интерфейсами пользователь-сеть (ИПС) показана на рисунке 1. Она включает NGN-пространство и две сети – телефонную общего пользования (ТфОП) и

документальной электросвязи (СДЭ). В NGN-пространстве могут располагаться несколько сетей класса NGN. Предложенная модель инвариантна к стратегии модернизации телекоммуникационной системы.

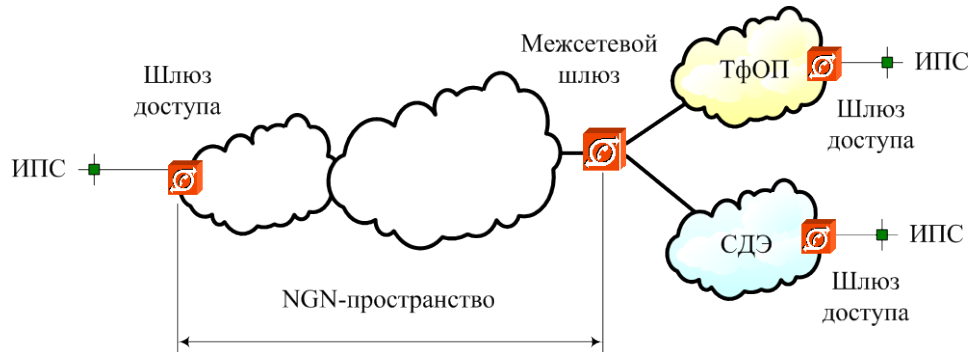


Рисунок 1 – Организация связи между тремя интерфейсами пользователь-сеть

Задачи управления ресурсами ТфОП в ЧС, в основном, решены, но ряд дополнительных рекомендаций необходимо сформулировать на основании результатов, полученных при исследовании поведения NGN в нештатных ситуациях. Принципы управления ресурсами СДЭ в ЧС известны и апробированы на практике.

В эксплуатируемой NGN на основании проектных решений до момента t , когда возникает ЧС – $(t - \Delta t)$, известны доступные ресурсы $V_{IP}(t - \Delta t)$, обеспечивающие предоставление услуг с установленными качественными показателями. При возникновении ЧС часть ресурсов $V_o(t)$ может находиться в неработоспособном состоянии. Кроме того, в ряде случаев ресурсы объемом $V_A(t)$ необходимо передать оперативным экстренным службам, задействованным в ликвидации последствий ЧС. Это значит, что объем тех ресурсов $V_{ЧС}(t)$, которыми будет располагать Оператор связи, снижается: $V_{ЧС}(t) = V_{IP}(t - \Delta t) - V_o(t) - V_A(t)$.

На период действия ЧС устанавливается новая совокупность показателей качества предоставления телекоммуникационных и информационных услуг. Их численные значения предложены в диссертационной работе. Для обеспечения этих показателей необходимо снизить величину обслуживаемого трафика $Y(t)$, прогнозируемого при проектировании сети, до уровня $Y_{ЧС}(t)$. Уровень $Y_{ЧС}(t)$ становится максимально допустимой величиной трафика, которую удобно оценивать количеством обрабатываемых IP-пакетов в единицу времени (обычно – за одну секунду), в течение периода $T_{ЧС}$, заканчивающегося после ликвидации последствий ЧС. За период $T_{ЧС}$, как показали результаты измерений, могут происходить существенные колебания трафика $Y(t)$.

Ограничение трафика в ЧС осуществляется при помощи алгоритма, основанного на отказе в поддержке ряда услуг, относящихся, в основном, к развлекательным приложениям. В результате трафик теряет свойства самоподобия, что следует из значений показателя Херста, приведенных на рисунке 2. Графики по-

строены на основании экспериментальных данных, полученных в Макрорегиональном филиале "Центр" ПАО "Ростелеком".

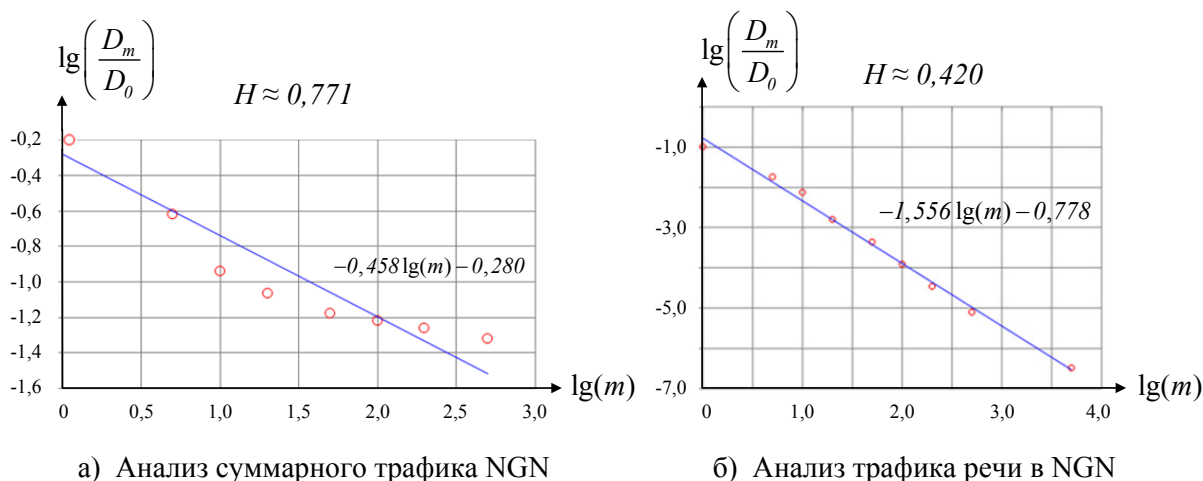


Рисунок 2 – Изменение свойств трафика при отказе от поддержки ряда услуг

Значения величин дисперсии количества входящих IP-пакетов – D_0 (для исследуемого потока) и D_m (для агрегированного потока), где m – интервал агрегирования, на котором вычисляется количество поступивших IP-пакетов, определялись для выборок разной величины: от десятков до тысяч секунд.

Принципы реализации алгоритма ограничения трафика в ЧС определяются возникающими последствиями. Их следует рассматривать с двух точек зрения. Во-первых, серьезные препятствия могут возникнуть при отказах элементов NGN. Во-вторых, для практического применения предложенного алгоритма необходимо провести исследования вероятностно-временных характеристик, которые определяют качество обслуживания мультисервисного трафика. Это требует анализа сложных моделей и разработки ряда новых методов расчета СМО и СеМО.

Состояние телекоммуникационной системы после возникновения ЧС удобно классифицировать за счет выделения трех таксонов, в каждом из которых акцентируется внимание на трех важных аспектах: иерархический уровень сети, подвергшийся изменениям из-за ЧС, характер произошедших изменений и масштаб отрицательных последствий. Принятый способ классификации позволяет выделить 27 состояний телекоммуникационной системы, что, как показал анализ статистических данных, вполне достаточно для проведения дальнейших исследований.

Результаты, содержащиеся в первой главе диссертационной работы, отражены в публикациях автора [1, 3, 5, 14, 32, 36, 39, 41 – 44].

Вторая глава содержит результаты исследований аспектов надежности сети связи следующего поколения в ЧС. Результаты этих исследований позволяют выбрать принципы функционирования уже построенной сети NGN при отказах ее элементов. В тех случаях, когда проектные решения еще только выбираются,

результаты проведенных исследований позволяют сформулировать рекомендации по повышению отказоустойчивости NGN.

Принципы проектирования телекоммуникационной системы, используемые в настоящее время, не в полной мере учитывают требования, которые существенны при возникновении ЧС. По этой причине для разработки предложений, направленных на обеспечение заданных показателей надежности NGN, необходимо проанализировать проблемы, которые обусловлены принятой практикой проектирования телекоммуникационных системы. Следует также учитывать, что концепции NGN, которой свойственны многие полезные функциональные возможности, присущи и риски, относящиеся, в первую очередь, к проблемам надежности и живучести.

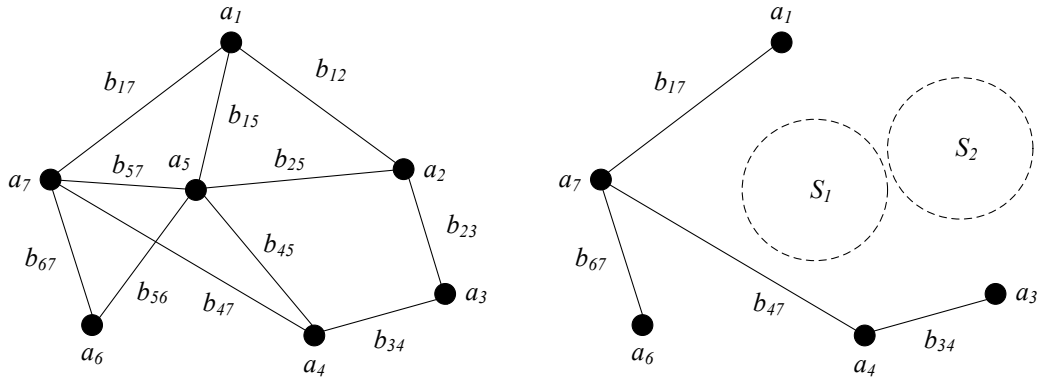
При исследовании структуры сети, меняющейся в ЧС, уместно использовать модели в виде графов. Для большинства ЧС значения количества вершин a_i и ребер b_{ij} рассматриваются как случайные величины. Пусть в графе $G(a, b)$ суммарное количество вершин и ребер, определенных проектным решением, равно M и N соответственно. Тогда случайные величины $a(k)$ и $b(k)$, определяемые количеством работоспособных вершин и ребер для ЧС k -го вида, заданы на ограниченных интервалах, которые могут быть представлены двумя неравенствами:

$$0 \leq a(k) \leq M, \quad 0 \leq b(k) \leq N. \quad (1)$$

Случайные величины $a(k)$ и $b(k)$ принимают целочисленные положительные значения. Они заданы функциями распределения $F_k(a)$ и $F_k(b)$, имеющими конечные значения начальных моментов обеих случайных величин.

Две структуры сети NGN в виде графов показаны на рисунке 3. В левой части модели приведена структура сети, которая построена на основе проектных решений. Она представлена в виде графа из семи вершин и одиннадцати ребер. Правая часть модели иллюстрирует подграф, в состав которого входят пять вершин и четыре ребра.

Для рассматриваемой модели предполагается, что отказы произошли из-за наступления ЧС. Пунктирными линиями показаны границы территорий S_1 и S_2 , в пределах которых, без использования ряда специальных мер, все виды услуг недоступны. Эти меры, с точки зрения модели, заключаются в добавлении хотя бы одной вершины и/или одного ребра. На практике необходимо использовать резервное оборудование для временной организации связи. В большинстве ЧС причиной формирования территорий вида S_1 и S_2 становятся длительные перемены в подаче напряжения переменного тока, необходимого для питания телекоммуникационного оборудования. Для решения возникающих проблем разработан метод оценки необходимого запаса источников электропитания.



Граф сети, основанной на проектных решениях

Граф сети после наступления ЧС

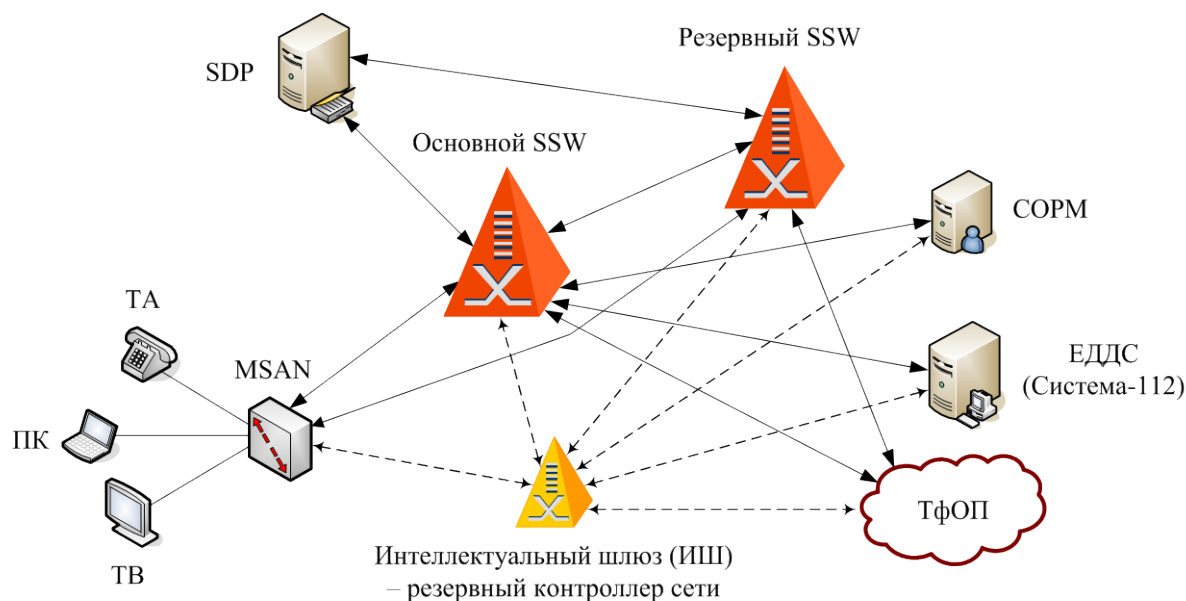
Рисунок 3 – Структуры сети до и после наступления ЧС

Длительное отсутствие внешнего электропитания оценивается средним значением продолжительности $T_{\text{ЧС}}^{(1)}$ и девятидесятипроцентным квантилем $t_{0,95}$, которые известны из статистических данных. Каждому i -му УК присуща максимальная длительность работы автономной электропитающей установки $T_{\text{Э}}(i)$. Количество дополнительных установок электропитания $g(i)$, каждая из которых обеспечивают работу УК в течение времени $D_{\text{Э}}$, оценивается следующим соотношением:

$$g(i) = \left\lceil \frac{T_{\text{ЧС}}^{(1)} - T_{\text{Э}}(i)}{D_{\text{Э}}} \right\rceil. \quad (2)$$

Для выполнения требований по устойчивому функционированию i -го УК для 95% всех случаев в формуле (2) величину $T_{\text{ЧС}}^{(1)}$ следует заменить на $t_{0,95}$. Полученные численные оценки позволили разработать план по доставке резервных источников электропитания в случае длительных ЧС.

Подобные явления относятся к внешним причинам отказов в обслуживании. Из внутренних причин, приводящих к отказам в сети связи, которая модернизируется на основании концепции NGN, следует выделить нарушение функций управления телекоммуникационной системой, которые возложены на контроллер транспортных шлюзов, известный как SoftSwitch (программный коммутатор). SoftSwitch представляет собой сложный и дорогостоящий комплекс аппаратно-программных средств. По этой причине в субъекте Российской Федерации, как показано на рисунке 4, обычно устанавливается только два таких комплекса, каждый из которых способен выполнять функции управления всей телекоммуникационной системой.



SSW – программный коммутатор SoftSwitch, SDP – платформа предоставления услуг, COPM – система оперативно-розыскных мероприятий, ЕДДС – единая дежурно-диспетчерская служба, MSAN – мультисервисный узел доступа, ТА – телефонный аппарат, ПК – персональный компьютер, ТВ – телевизионный приемник, ТфОП – телефонная сеть общего пользования.

Рисунок 4 – Фрагмент NGN с использованием Интеллектуального шлюза

Резервирование оборудования SoftSwitch не всегда поддерживается аналогичными мерами по обеспечению надежности транспортных ресурсов в силу сложившейся практики проектирования и строительства кабельных трасс. Часто существуют два формально разных направления связи, но на ряде участков сети связи линейные сооружения проложены совместно. По этой причине наличие двух коммутаторов SoftSwitch не гарантирует надежное функционирование телекоммуникационной системы субъекта Российской Федерации в целом. Для повышения надежности сети связи предложено ввести в ее состав аппаратно-программные средства, названные Интеллектуальным шлюзом (ИШ). Основная функция этого шлюза – выполнение функций резервного контроллера для управления фрагментом телекоммуникационной системы (местной сетью) до восстановления связи хотя бы с одним из коммутаторов SoftSwitch.

Место установки ИШ показано в нижней части рисунка 4. Пунктирные линии, связывающие ИШ с другими элементами сети связи, указывают на то, что в штатных условиях функционирования телекоммуникационной системы его ресурсы могут не использоваться. Практический опыт применения ИШ доказал его эффективность для предварительной обработки некоторых видов информации в сетях класса NGN. В тексте диссертационной работы приведены соотношения, позволяющие оценить рост коэффициента готовности сети NGN и снижение времени простоя в результате включения ИШ в состав телекоммуникационной системы.

Результаты исследований, изложенные во второй главе диссертационной работы, отражены в публикациях автора [1, 7, 8, 14, 19, 29 – 31, 40, 44].

Третья глава посвящена исследованию характеристик узла коммутации в составе NGN при тех изменениях атрибутов обслуживаемого трафика, которые

типичны для ЧС. Моделью узла коммутации в пакетной сети служит СМО с постоянным временем обслуживания заявок (IP-пакетов). Вид входящего потока заявок заметно отличается от часто используемой модели пуассоновского потока в обычных условиях функционирования пакетной сети. В условиях ЧС, как показали результаты измерений и косвенные оценки, входящий поток заявок, дополняемый к тому же повторными попытками, еще более отличается от пуассоновского – рисунок 5.

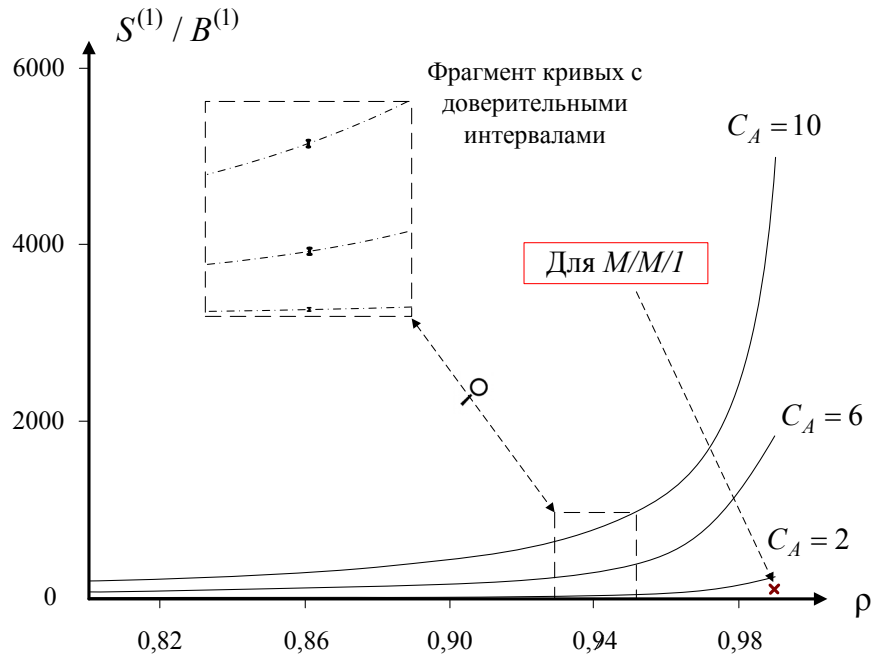


Рисунок 5 – Изменение среднего значения времени задержки IP-пакетов

На графиках приведены зависимости среднего времени задержки заявок $S^{(1)}$ (один из компонентов нормируемого показателя качества обслуживания трафика в пакетных сетях – *IPTD*) от загрузки узла коммутации ρ при разных типах входящего потока заявок. Тип входящего потока заявок представлен при помощи коэффициента вариации отрезков времени между моментами поступления заявок в СМО C_A . Величина $S^{(1)}$ нормирована к средней длительности обслуживания заявок $B^{(1)}$ – времени их обработки в узле коммутации. Точка "x" указывает на значение нормированной величины $S^{(1)}$ для модели с пуассоновским входящим потоком – СМО вида *M / M / 1* в классификации Кендалла.

Все виды имитационного моделирования в диссертационной работе выполнялись с уровнем доверия 0,95. При этом доверительные интервалы не превысили 1% от исследуемой величины – фрагмент с "увеличительным стеклом" для верхней кривой. На других графиках доверительные интервалы не показаны вследствие их близости к исследуемым функциям.

Зависимость вариации задержки IP-пакетов – величины *IPDV* (также нормируемый показатель качества обслуживания трафика в пакетных сетях) схожа с функциями, показанными на рисунке 5. Поведение этих функций позво-

ляет сделать два важных для практики вывода. Во-первых, величины $IPTD$ и $IPDV$ при росте трафика на порядки превышают время обработки IP-пакетов. Во-вторых, на исследуемые величины существенно влияет значение коэффициента вариации C_A , то есть часто используемое выражение "поведение СМО при большой нагрузке" лишь частично характеризует возникающую ситуацию. Необходимо указывать и для какого вида входящего потока исследуется поведение системы при большой нагрузке.

Характер потока IP-пакетов на входе узла коммутации в NGN сложнее, чем в сетях, которые не предназначены для обслуживания мультисервисного трафика. Кроме того, IP-пакетам назначаются приоритеты для обеспечения нормированных показателей качества предоставления услуг, которые в рекомендации МСЭ ИТУ-Т Y.1541 объединяются в восемь классов. В рекомендации ИТУ-Т Y.1271 предусмотрена возможность введения приоритетов не по виду предоставляемых услуг, а для тех пользователей и/или типов трафика, которые важны в период действия ЧС. В диссертационной работе исследуется именно такая ситуация. Всем IP-пакетам, которые прямо или косвенно способствуют ликвидации последствий ЧС, присваивается первый относительный приоритет. Вторым относительным приоритетом назначается тем IP-пакетам, которые не участвуют в решении задач, вызванных ЧС.

Значения основных показателей качества обслуживания приоритетного – для периода ЧС – трафика могут быть получены за счет использования СМО с бункером на входе. В классификации Кендалла такая СМО может быть представлена в виде: $GI, B / D_1, D_2 / 1$. Символ "GI" принят для обозначения рекуррентного потока заявок произвольного вида. Обозначение "B" указывает на наличие бункера на входе модели. Когда в очереди на обработку отсутствуют заявки первого приоритета, из бункера поступают заявки низшего приоритета. Нижние индексы при букве "D" указывают на возможность различия в значениях времени обслуживания заявок первого и второго приоритетов – $B_1^{(1)}$ и $B_2^{(1)}$.

Исследование разработанных моделей осуществлялось при разных законах распределения $A(t)$, определяющего характер входящих потоков заявок первого относительного приоритета. Большинство подобных исследований, результаты которых опубликованы в последние годы, проводилось для распределений с так называемыми "тяжелыми хвостами". В процессе имитационного моделирования (что подтверждено результатами измерений пакетного трафика) было установлено, что более существенные задержки IP-пакетов порождаются распределениями $A(t)$, заданными на ограниченном интервале времени (α, β) . Этот факт объясняется тем, что для распределений с "тяжелыми хвостами" возникают (хотя и редко) сравнительно длительные периоды свободности, за которые длина очереди сокращается. Для распределений $A(t)$ на интервале (α, β) длительность периода свободности никогда не превышает величину β . Следует отметить, что распределения $A(t)$ на ограниченном интервале адекватнее отражают процесс

функционирования СМО, когда под заявкой понимается IP-пакет, а не вызов в телефонной сети или сеанс связи в Интернет. Далее распределения, заданные на отрезке (α, ∞) , обозначаются как $A_u(t)$; индекс "u" означает "unlimited" – неограниченный. Обозначение $A_l(t)$ применяется для указания на распределения, определенные на отрезке (α, β) . Здесь нижний индекс "l" означает "limited" – ограниченный.

При использовании обеих моделей практический интерес представляют заявки (IP-пакеты) первого относительного приоритета. Для условий большой загрузки ρ на основании приближения, предложенного Крамером и Лангенбах-Бельцем, в диссертационной работе получено соотношение для оценки среднего времени задержки заявок:

$$\begin{aligned} S_1^{(1)} &\approx B_1^{(1)} \left[1 + \frac{\rho^2 C_A^2}{2(1-\rho)} \right], \quad \text{для } A_u(t), \text{ при } \rho \geq 0,7; \\ S_1^{(1)} &\approx B_1^{(1)} \left[1 + \frac{\rho C_A^2}{2(1-\rho)} \right], \quad \text{для } A_l(t), \text{ при } \rho \geq 0,7. \end{aligned} \quad (3)$$

Выражения (3) обеспечивают оценку среднего значения для времени задержки IP-пакетов с относительной ошибкой порядка 20% для исследуемых распределений $A_l(t)$ и $A_u(t)$. Такой же порядок относительной ошибки характерен также для оценки квантиля t_p и вероятности потери IP-пакетов, рассматриваемых ниже.

Для обоих видов распределений $A_l(t)$ и $A_u(t)$ при $\rho \geq 0,7$ коэффициент вариации времени задержки заявок C_S очень близок к единице. Таким свойством обладает экспоненциальное распределение. Косвенным подтверждением этой гипотезы можно считать известные результаты исследования поведения СМО вида $GI/G/1$ при большой загрузке с интенсивностью потока заявок λ . Моделирование показало, что экспоненциальный характер функции распределения времени ожидания при большой загрузке сохраняется и для модели с бункером на входе. Данный факт для исследуемого диапазона изменений загрузки ρ был подтвержден за счет использования критерия согласия Пирсона.

Эти соображения позволили получить приближенное выражение для оценки квантиля t_p , который необходим для расчета показателя $IPDV$:

$$t_p \approx B^{(1)} + \left| \frac{\ln(1-p)C_A^2}{2\lambda(1-\rho)} \right|. \quad (4)$$

Для модели вида $G/G/1$ известна формула для оценки вероятности потери заявок – показатель $IPLR$. Для исследуемой модели с постоянным временем обслуживания заявок путем имитационного моделирования было установлено, что максимальное значение величины $IPLR$ присуще распределениям класса

$A_i(t)$. Это позволило уточнить выражение, полученное для оценки вероятности потери IP-пакетов:

$$IPLR \approx (1 - \rho) \rho^{\frac{2r}{C_A^2}}. \quad (5)$$

Определение значений характеристик на основании соотношений (3) – (5) относится к так называемым прямым задачам. При планировании сети связи и управлении ее ресурсами чаще решаются обратные задачи. Типичный пример такой задачи: расчет значения загрузки ρ , для которого обеспечивается выполнение нормированной величины $IPTD$. Полученное значение загрузки ρ определяется отношением двух величин интенсивности – входящего потока λ и обслуживания μ . После возникновения ЧС могут уменьшиться ресурсы, определяющие интенсивность обслуживания μ . Вследствие этого необходимо ограничить величину λ , что достигается минимизацией некоторых видов трафика, а именно нагрузки, для которой отказ в обслуживании не сказывается на эффективности ликвидации последствий ЧС и поддержке социально-экономических процессов.

Важную функцию в составе элементов NGN при возникновении ЧС выполняет центр обслуживания вызовов (ЦОВ). Для вызовов с терминалов телефонной связи выделен общеевропейский номер "112". Оборудованием, поддерживающим такую возможность, служит Система-112.

При проектировании ЦОВ, обслуживающего трафик в Системе-112, определяется количество рабочих мест операторов N для обработки вызовов с заданными качественными показателями. Для оценки параметров нагрузки используются статистические данные и результаты прогнозов. Величина N не может рассчитываться на очень редкие, но существенные значения нагрузки. В результате исследований предложен метод ограничения нагрузки, которая возрастает в результате возникновения масштабной ЧС. Необходимо, чтобы операторы ЦОВ обслуживали не только вызовы, обусловленные масштабной ЧС, но и другой трафик. Для этого следует изменить дисциплину выбора из очереди ожидающих вызовов.

Для каждого типа масштабной ЧС известна территория площадью $S_{чс}$, в границах которой расположены абоненты, обращающиеся в Систему-112. Эта величина меньше, чем площадь $S_{цов}$, которую обслуживают операторы Системы-112. Анализ информации о номере стационарного телефонного аппарата и местоположении мобильного терминала позволяет идентифицировать входящие вызовы, осуществляемые в границах территории с площадью $S_{чс}$. Заранее причина вызова не известна. С некой вероятностью p вызов связан с масштабной ЧС. Следовательно, с вероятностью $1 - p$ вызов обусловлен иной причиной. Необходимо сортировать вызовы, поступающие в ЦОВ. Эта процедура должна обеспечить обслуживание вызовов, которые поступают от абонентов, находящихся как в границах территории с площадью $S_{чс}$, так и за ее пределами.

Рассматриваемый процесс можно формализовать при помощи модели, принятой в теории телетрафика для систем с ожиданием с ограниченной очередью. На рисунке 6 показаны N рабочих мест операторов ЦОВ, очередь, формируемая входящими вызовами, и две группы источников нагрузки. Первая группа расположена на территории с площадью $S_{\text{ЧС}}$. Параметры входящего потока определяются интенсивностью поступления заявок λ_1 и коэффициентом вариации соответствующего распределения C_{A1} . Вторая группа находится вне территории с площадью $S_{\text{ЧС}}$. Для нее параметры входящего потока заявок заданы парой λ_2 и C_{A2} .

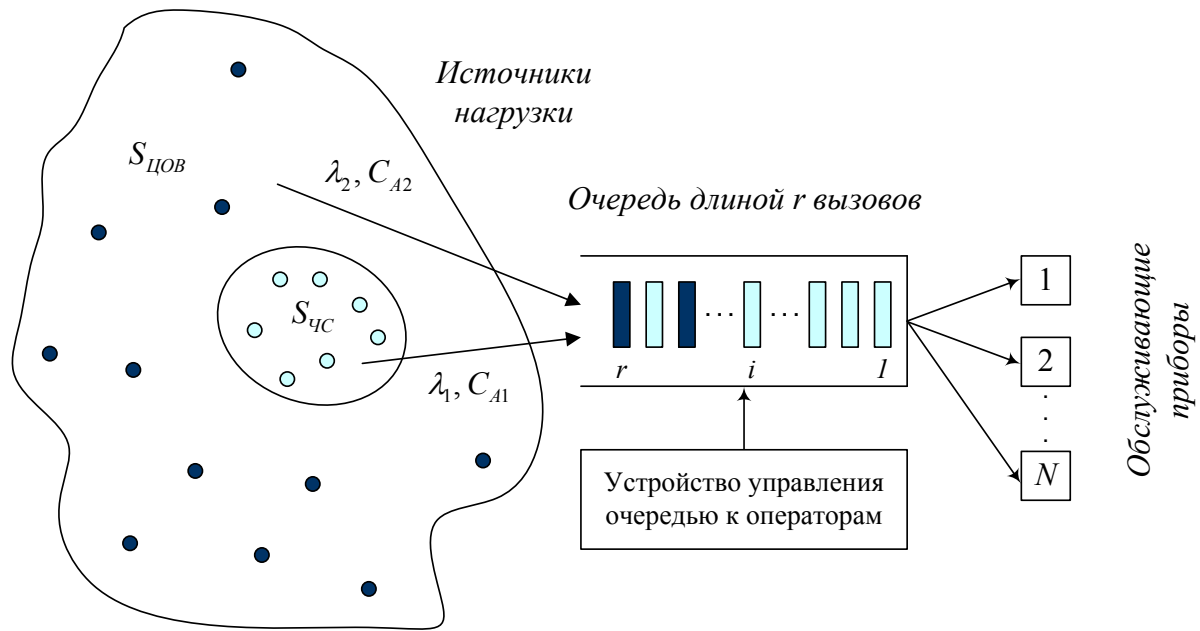


Рисунок 6 – Модель сортировки вызовов, поступающих в ЦОВ

Допустимая длина очереди составляет L заявок. Следовательно, в рассматриваемой СМО может находиться не более $L + N$ заявок. Если в СМО находится $L + N$ заявок, то вновь поступающие заявки будут теряться. Устройство управления очередью может сортировать заявки, меняя дисциплину обслуживания, которая в обычных условиях работы ЦОВ определяется правилом "первым пришел – первым обслужен".

В очереди i -я заявка может относиться как к первому, так и ко второму потоку. Информация о принадлежности заявки к одному из двух потоков содержится в устройстве управления очередью. Возникающая задача может быть сформулирована как выбор алгоритма сортировки вызовов. Частным случаем такого алгоритма будет выделение в ЧС двух групп операторов численностью N_1 и N_2 для отдельного обслуживания заявок первого и второго потоков. Такое решение представляется разумным с точки зрения включения в состав группы N_1 операторов, способных эффективно реагировать на специфическую информацию для конкретного вида ЧС.

Критерием выбора удачной дисциплины обслуживания (с технической точки зрения) служит близость вероятностей потери вызова для обоих потоков, обозначаемых π_1 и π_2 соответственно. Исследование предложенной модели аналитическими методами и имитационное моделирование для различных законов распределений входящего потока заявок позволили получить следующее правило для выделения групп операторов N_1 и N_2 :

$$N_1 = N \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{1 + \sqrt{C_{A1}}}{1 + \sqrt{C_{A2}}}, \quad N_2 = N - N_1. \quad (6)$$

Полученные результаты позволяют сформулировать две практические рекомендации для обслуживания трафика, поступающего в Систему-112 при возникновении масштабных ЧС. Если характер ЧС таков, что всех операторов ЦОВ следует разделить на две группы, то предлагаемую процедуру следует осуществлять на основании правила (6). Если выделение двух групп операторов не требуется, то из очереди следует поочередно извлекать вызовы, генерируемые в границах региона, который обслуживает ЦОВ Системы-112, и в пределах той территории, где ощущаются последствия масштабной чрезвычайной ситуации.

При исследовании качества функционирования узла коммутации необходимо определить характеристики входящего потока. Им для большинства узлов коммутации становится поток, покидающий предшествующий узел, или совокупность нескольких подобных потоков, которые принято называть выходящими. Задача упрощается, так как время обработки IP-пакетов в узлах коммутации NGN можно считать постоянной величиной.

Если СМО работает с очень низкой загрузкой, то длительность ожидания близка к нулю. Тогда $C_D \approx C_A$, то есть заявки с входа системы практически всегда попадают на ее выход через постоянное время $B^{(1)}$, что не меняет характера функции $A(t)$. Если СМО работает в режиме, когда $\rho \rightarrow 1$, то поток на выходе СМО $D(t)$ становится близким к регулярному. Заявки после их обслуживания попадают на выход системы через постоянное время $B^{(1)}$. Таким образом, при росте загрузки коэффициент вариации снижается с величины C_A до нуля. Всегда соблюдается условие $C_D \leq C_A$, что следует считать важным свойством модели с постоянным временем обслуживания заявок в СМО.

Известны несколько приближенных формул для оценки величины C_D . На основании этих формул получено приближенное соотношение, которое минимизирует возникающую ошибку для модели с постоянным временем обслуживания заявок:

$$C_D \approx C_A \sqrt{1 - 0,5\rho^2 \left[1 + e^{-\frac{(1-\rho)C_A^2 - 1}{C_A^2}} \right]}. \quad (7)$$

Величина C_D – при равенстве первого и второго моментов – больше для распределений вида $A_u(t)$. По этой причине для получения верхней границы ве-

личины C_D на рисунке 7 показано поведение функции $C_D = f(\rho)$ для двух значений коэффициента вариации входящего потока при условии, что функция $A_v(t)$ соответствует распределению Вейбулла.

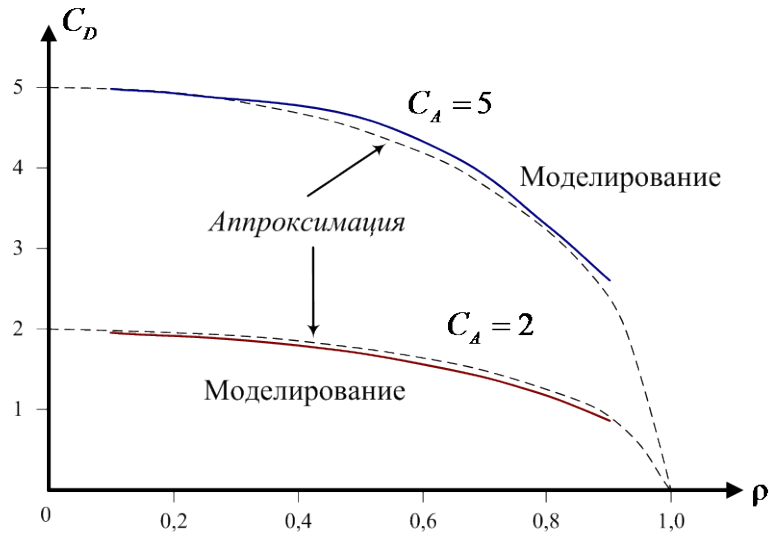


Рисунок 7 – Две функции $C_D = f(\rho)$

Результаты, содержащиеся в третьей главе диссертационной работы, отражены в публикациях автора [1, 2, 9 – 11, 20, 21, 26, 28, 33, 35, 37, 38].

Четвертая глава направлена на исследование характеристик качества обслуживания трафика между ИПС для ситуаций, типичных при возникновении ЧС. Моделью для исследования служит многофазная СМО, для разработки которой необходимо рассматривать СеМО. Для оценки вероятностно-временных характеристик выбрана конфигурация "точка – точка", существенная для оценки показателей качества работы NGN в ЧС. Модель маршрута обмена IP-пакетами, включающего N узлов коммутации между двумя ИПС, приведена на рисунке 8.

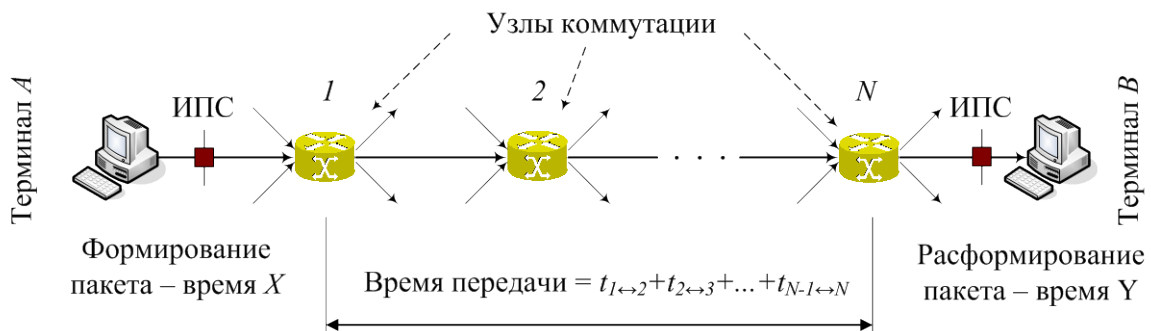


Рисунок 8 – Модель маршрута обмена IP-пакетами между двумя ИПС

Время обмена IP-пакетами между смежными узлами коммутации под номерами i и $i+1$ равно $t_{i \leftrightarrow i+1}$. Оно включает длительность распространения сигналов в среде передачи и время сериализации, определяемое отношением максимальной длины IP-пакета — l_{max} к скорости обмена информацией. Передаваемое

мые IP-пакеты имеют разную длину, но нормы на $IPTD$ и $IPDV$ должны соблюдаться для любых значений длины IP-пакетов. По этой причине для оценки времени передачи используется величина l_{max} . Предполагается также, что формирование IP-пакета требует времени, которое составляет X единиц. Извлечение информации из IP-пакета требует Y единиц времени.

Величины времени, указанные на рисунке 8, образуют постоянную составляющую длительности задержки IP-пакетов между двумя ИПС. В каждом i -ом узле коммутации IP-пакеты задерживаются на время, являющееся случайной величиной с конечными значениями математического ожидания $S_i^{(1)}$. В силу аддитивности математического ожидания задержка IP-пакетов между ИПС определяется суммой:

$$IPTD = X + Y + \sum_{i=1}^{N-1} t_{i \leftrightarrow i+1} + \sum_{i=1}^N S_i^{(1)}. \quad (8)$$

Для расчета вариации задержки IP-пакетов $IPDV$ определяется величина t_{min} как минимальное время передачи IP-пакета между ИПС. Для этого следует в формулу (8) вместо величин $S_i^{(1)}$ подставить значения минимально возможного времени обработки IP-пакетов $B_i^{(min)}$, полагая отсутствие очередей во всех узлах коммутации в составе маршрута. Величина $IPDV$ определяется в рекомендации МСЭ ИТУ-Т Y.1541 как разница между квантилем распределения времени задержки IP-пакетов между ИПС $t_{0,999}$ и значением t_{min} .

При возникновении ЧС нередко в состоянии перегрузки находится только один узел коммутации. Тогда в маршрутах обмена IP-пакетами можно найти "узкое место", из-за которого могут происходить нарушения штатного режима работы сети. Характеристики обслуживания трафика в соответствующем узле коммутации будут определять величины $IPTD$ и $IPDV$.

На рисунке 9 показана структура сети, состоящей из семи узлов коммутации, каждый из которых представляет собой однолинейную СМО. Предполагается, что из-за возникновения ЧС стал невозможен обмен IP-пакетами между СМО1 и СМО7. Заметно возрастет нагрузка на СМО2, так как в нее будут поступать все заявки из СМО1. Маршрут обмена заявками между СМО1 и СМО4 показан пунктирными линиями.

Объем трафика между смежными системами i и j обозначен как Y_{ij} . Для исследуемой модели $j = i + 1$. Объем трафика в i -й СМО обозначен как Y_i . Среди всех узлов коммутации в маршруте следует выделить k -й узел, для которого справедливо неравенство $Y_k > Y_i$ ($i = \overline{1, N}, i \neq k$). Для исследуемого маршрута $k = 2$.

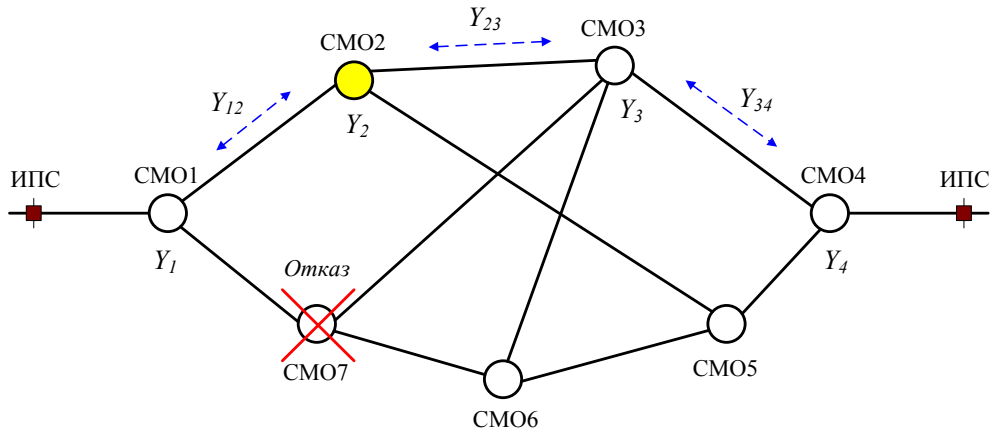


Рисунок 9 – Структура сети с семью узлами коммутации

Предложенная модель сети позволяет проанализировать все нормируемые показатели качества обслуживания трафика. Ее основное преимущество заключается в упрощении оценки $IPDV$, так как распределение времени задержки заявок между ИПС $S_{ИПС}(t)$ определяется, в основном, функцией $S_k(t)$. Влияние задержки заявок в остальных фазах, количество которых равно $(N-1)$, учитывается при помощи величины d :

$$d = \sum_{\{j\}} S_j^{(1)}. \quad (9)$$

Множество $\{J\}$ образуется удалением $k-go$ элемента из множества $\{I\}$, которое включает номера всех СМО в составе маршрута. Тогда для $t > d$ можно использовать следующее приближение:

$$S_{ИПС}(t) \approx S_k(t-d). \quad (10)$$

После подстановки в левую часть выражения (10) значения 0,999, численно находится искомый квантиль $t_{0,999}$. Вместо оценки (9) уместно использовать верхнюю и нижнюю границы искомого распределения. Для их получения необходимо найти дисперсию времени задержки заявок σ^2 в наименее нагруженных СМО. Тогда замена константы d величинами $d-\sigma$ и $d+\sigma$ позволяет получить нижнюю и верхнюю границы распределения времени задержки заявок между ИПС – $F^L(t)$ и $F^U(t)$ соответственно. Данное утверждение справедливо для исследованных видов распределений $A_l(t)$ и $A_u(t)$.

Возможность использования предлагаемых приближений определяется величинами возникающих относительных ошибок $\delta(t)$, $\delta^L(t)$ и $\delta^U(t)$ соответственно. Исследование ошибок следует проводить для дополнительной функции распределения $\hat{S}(t)$, определяемой как $1-S(t)$. Это утверждение основано на том, что с ростом t любая аппроксимация $S(t)$ стремится к единице, а возникающая ошибка приближается к нулю. Вычисления функции $\hat{S}(t)$ и ее приближений позволяют оценить относительные ошибки $\delta(t)$, $\delta^L(t)$ и $\delta^U(t)$. На рисун-

ке 10 показана функция $\hat{S}(t)$ и две ее аппроксимации для трехфазной СМО при трехкратном различии между величинами загрузки.

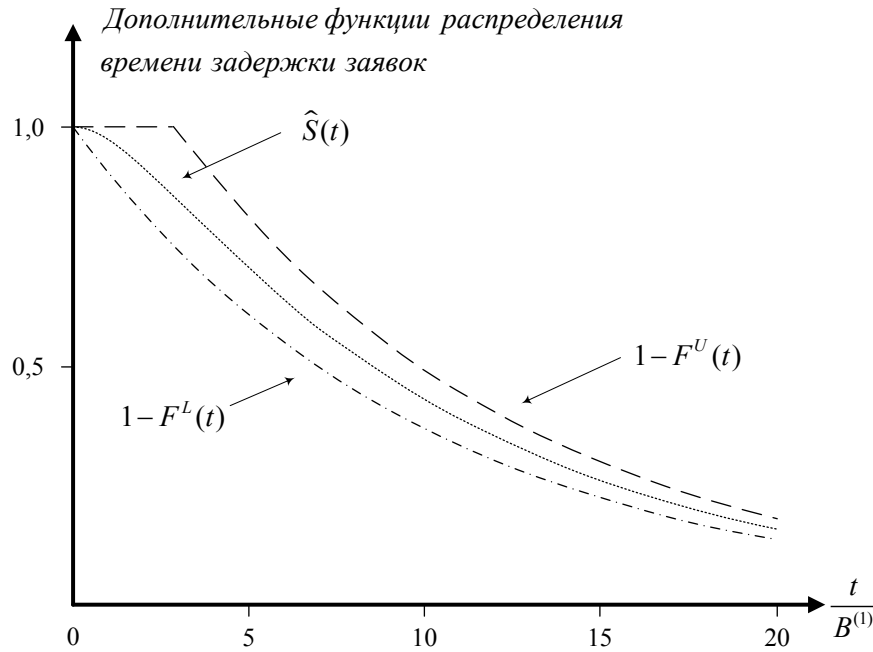


Рисунок 10 – Функция $\hat{S}(t)$ и две ее аппроксимации

По оси абсцисс отложено время, нормированное к математическому ожиданию длительности обслуживания заявок $B^{(1)}$. Зависимости относительных ошибок $\delta(t)$, $\delta^L(t)$ и $\delta^U(t)$ свидетельствуют, что перечисленные функции остаются неизменными при больших значениях t . Для трехкратного различия нагрузки между СМО максимальная относительная ошибка не превышает 20% и практически не зависит от величины коэффициента вариации C_A .

При исследовании процессов обмена IP-пакетами между ИПС необходимо определить характеристики входящего потока для каждого узла коммутации. Входящим потоком IP-пакетов для большинства узлов коммутации становится поток, покидающий предшествующий узел, или совокупность нескольких подобных потоков. Их принято называть выходящими. Изучение выходящих потоков заявок для СМО общего вида – сложная задача. Она несколько упрощается благодаря тому, что длительность обслуживания IP-пакетов в узлах коммутации NGN постоянна.

Для исследования характеристик потоков заявок, суммируемых на входе j -й СМО, было выбрано несколько распределений, позволяющих варьировать в широких диапазонах величину коэффициента вариации $C_D(i, j)$. Этот коэффициент определяется для выходящих потоков заявок всех систем i -го вида ($i = \overline{1, N}$), которые предшествуют j -й СМО. Основное внимание при проведении моделирования уделено трем распределениям: Эрланга k -го порядка, Вейбулла, которое позволяет исследовать случайную величину с коэффициентом вариации $C_D(i, j)$, превышающим единицу, и Бета. Причем Бета-распределение

также позволяет исследовать случайную величину с коэффициентом вариации $C_D(i, j)$, превышающим единицу, но оно ориентировано на модель с входящими потоками класса $A_i(t)$. Результаты имитационного моделирования представлены в графической форме на рисунке 11.

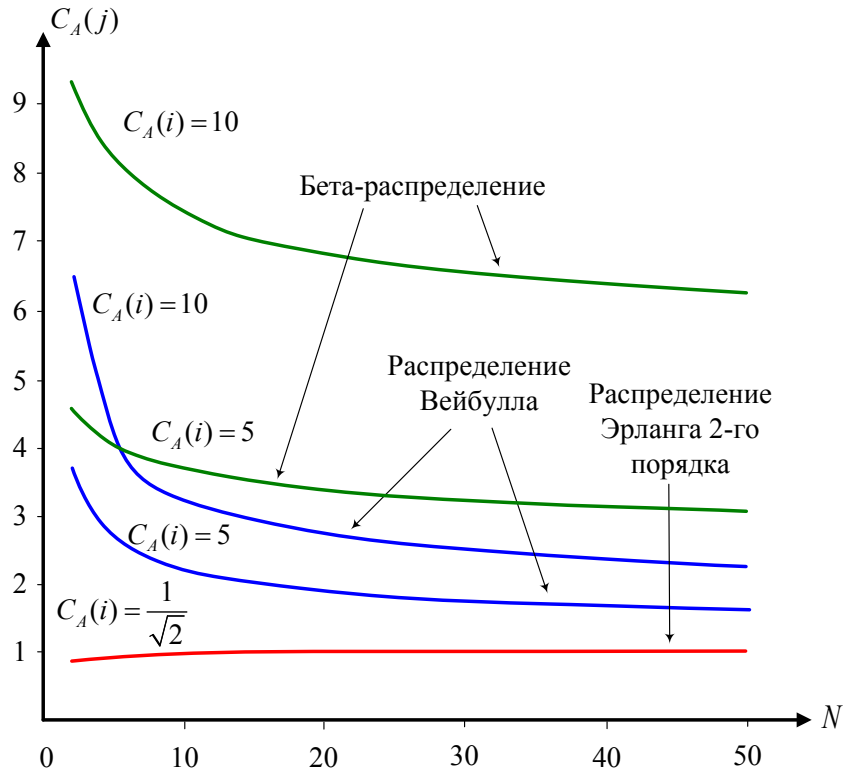


Рисунок 11 – Зависимость $C_A(j)$ от количества объединяемых потоков

Выбор трех типов распределений обусловлен тем, что их совокупность представляет собой набор типичных функций $A_i(t)$ и $A_u(t)$, часто встречающихся на практике. Приведенные зависимости позволяют сделать ряд выводов, среди которых следует выделить два положения. Они подтверждаются и другими результатами моделирования.

Во-первых, близость к пуассоновскому потоку зависит, в основном, от характера распределений $D_{ij}(t)$, которые описывают складываемые потоки. В частности, при объединении пяти и более входящих потоков, представимых распределением Эрланга k -го порядка, суммарный поток очень близок к пуассоновскому. Данное утверждение справедливо также для регулярных потоков, которые соответствуют распределению Эрланга при $k \rightarrow \infty$. Оно остается верным и для других распределений при условии, что соблюдается такое неравенство: $C_D(l, j) \leq 1$. Если объединяемые потоки описываются распределениями, для которых коэффициент вариации $C_D(l, j) > 1$, то суммарный поток становится близок к пуассоновскому только при очень большом числе объединяемых потоков. Оно превышает практически интересный диапазон изменения количества потоков, входящих в транзитный узел коммутации. По этой причине гипотеза о пуас-

соновском потоке при объединении распределений с высокими значениями коэффициента вариации C_A не может быть использована.

Во-вторых, зависимости, приведенные на рисунке 11, не меняют своего характера при идентичных величинах интенсивности объединяемых потоков и при различии этих значений менее чем на порядок. Величины интенсивности потока заявок (IP-пакетов или вызовов), которые суммируются на входе узла коммутации, не одинаковы, но их соотношение, судя по результатам измерений, обычно лежит в диапазоне от 1,5 до 5,0. Результаты обработки проведенных измерений, включающие численную оценку показателя Херста, приведены в Приложении 2 к диссертационной работе.

Результаты, содержащиеся в четвертой главе диссертационной работы, отражены в публикациях автора [1, 4 – 6, 12, 13, 20, 23 – 25, 27, 34, 39].

Пятая глава содержит практические рекомендации по реализации разработанных принципов улучшения качества функционирования NGN в ЧС, которые будут способствовать эффективной ликвидации возникающих последствий. Общая черта предлагаемых рекомендаций заключается в том, что они должны обеспечивать постоянное улучшение работы NGN в ЧС за счет анализа накопленного опыта и применения новых технологий различного вида.

NGN будет лучше соответствовать требованиям, которые характерны для периода действия ЧС, если заранее проанализировать типичные сценарии, описывающие состояния телекоммуникационной системы. Влияние, которое оказывают ЧС различного рода на NGN, можно рассматривать как следствие внешних факторов. Особо важны частота их появления и масштабы последствий. Эти две характеристики позволяют оценить актуальность работ, направленных на превентивную подготовку телекоммуникационной системы к функционированию, которое ориентировано на ликвидацию ожидаемых последствий ЧС. Анализ статистических данных свидетельствует, что и частота возникновения ЧС, и масштабы последствий варьируются в широких пределах.

Следует учитывать и внутренние факторы, обусловленные принципами построения телекоммуникационной системы и направлениями ее эволюции. В большинстве публикаций эволюция сети связи представляется исключительно положительным процессом, но практически каждому процессу развития сложной системы присущи отрицательные последствия. Их анализ важен для разумного использования инноваций. С точки зрения рассматриваемых задач следует выделить три особенности модернизации телекоммуникационной системы, относящиеся к внутренним факторам:

- концепции NGN присущи потенциальные угрозы снижения надежности и живучести;
- в течение длительного периода времени будут сосуществовать фрагменты сети связи, построенные на разных технологиях коммутации и передачи, что приводит к снижению некоторых показателей качества обслуживания;

- при проектировании сетей местной телефонной связи иногда используются решения, которые усложняют задачу построения телекоммуникационной системы, отвечающей перспективным требованиям.

Таким образом, существуют не только внешние, но и внутренние факторы, препятствующие принятию рациональных решений. Тем не менее, в существующей телекоммуникационной системе заложена возможность целенаправленного развития, ориентированного на эффективную работу сети связи при возникновении ЧС. Принципы этого развития в значительной мере зависят от корректности постановки задачи, то есть от тех требований, которым должна удовлетворять телекоммуникационная система.

Рассмотрим гипотетическую ЧС, последствия которой для структуры эксплуатируемых сетей связи проявляются в границах территории с площадью S_1 . При этом, изменения характера трафика могут наблюдаться в границах территории с площадью S_2 . Справедливо неравенство: $S_2 > S_1$. Величина S_1 – прогнозная оценка, учитывающая особенности географических, климатических, демографических показателей исследуемой территории, а также те потенциальные угрозы, которые могут стать причинами природных или техногенных катастроф. Значение S_2 определяется, исходя из административного деления в границах субъекта Российской Федерации.

В границах территорий с площадями S_1 и S_2 известен перечень работающих Операторов связи. Следовательно, доступны достоверные оценки количества обслуживаемых пользователей $L(S_1)$ и $L(S_2)$. При необходимости величины $L(S_1)$ и $L(S_2)$ ранжируются для выделения типичных групп пользователей на основании выбранных классификационных признаков.

В неформализованном виде задачу, которую придется решать Операторам связи, можно сформулировать как максимизацию доли обслуженного трафика. Необходимо уточнить, что подразумеваются те виды трафика, которые напрямую или косвенно способствуют ликвидации последствий ЧС, а также обеспечивают передачу информации, позволяющей оперативно решать важнейшие социально-экономические задачи. До ликвидации последствий ЧС следует ввести другие показатели качества обслуживания мультисервисного трафика, отличающиеся от норм, которые приняты для штатных условий работы телекоммуникационной системы.

Пусть задан кортеж (G_0, Y_0, B_0, Q_0) , который определяет проектные решения, реализованные Оператором связи, по следующим атрибутам телекоммуникационной системы: структура сети в виде графа $G(a_i, b_{ij})$, содержащего k вершин и l ребер, матрица обрабатываемого трафика $\|Y_{ij}\|$, матрица пропускной способности элементов сети $\|B_{ij}\|$ и совокупность показателей качества обслуживания $\{Q\}$.

После наступления ЧС вплоть до ликвидации ее последствий устанавливается другая совокупность показателей качества обслуживания трафика $\{Q^{ЧС}\}$. Элементы множества $\{Q^{ЧС}\}$ определяют приемлемые для пользователей свойства предоставляемых услуг. В результате возникновения ЧС меняются обе матрицы, обозначаемые далее как $\|Y_{ij}^{ЧС}\|$ и $\|B_{ij}^{ЧС}\|$. Необходимо решить, как минимум, две задачи:

- выбрать такую структуру графа $G^{ЧС}(a_i, b_{ij})$, чтобы в нем не было изолированных вершин;
- задать значения элементов матрицы $\|Y_{ij}^{ЧС}\|$ с целью обеспечения показателей качества обслуживания трафика, которые будут не хуже уровня, заданного совокупностью $\{Q^{ЧС}\}$.

В результате решения перечисленных выше задач формируется новый кортеж $(G_{ЧС}, Y_{ЧС}, B_{ЧС}, Q_{ЧС})$, определяющий основные аспекты функционирования NGN до ликвидации последствий ЧС. Этот кортеж формируется за счет использования сценарного подхода, что позволяет заранее проанализировать возможные значения элементов $G_{ЧС}$, $Y_{ЧС}$ и $B_{ЧС}$. Значения показателей $\{Q^{ЧС}\}$ предполагаются неизменными. Кортеж $(G_{ЧС}, Y_{ЧС}, B_{ЧС}, Q_{ЧС})$ содержит информацию об основных состояниях, в которых может находиться телекоммуникационная система при возникновении типичных ЧС. Это позволяет разработать четкую программу действия для минимизации влияния последствий ЧС на функционирование NGN.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что в ЧС весьма эффективными становятся косвенные методы ограничения трафика. Они основаны на тщательно продуманной системе информирования населения о ходе работ по ликвидации последствий ЧС, а также о реально возможных угрозах и способах их предотвращения.

Косвенные методы ограничения трафика реализуются путем доставки актуальной информации различными средствами, имеющимися в составе телекоммуникационной системы (телевизионное и звуковое вещание, передача коротких или мультимедийных сообщений и другие решения). Получение этой информации, как свидетельствуют результаты обработки экспертных оценок, позволяет в значительной мере снизить количество вызовов, порождающих трафик речи. Обмен информацией, доставляемой используемыми средствами связи, должен отвечать ряду требований, среди которых следует выделить два момента. Во-первых, информационные сообщения должны формироваться оперативно на основании заранее созданной библиотеки стандартных фраз. Во-вторых, суть информационных сообщений должна выбираться так, чтобы избежать возникновения массовой паники, которая приводит к противоположному эффекту – лавинообразному росту трафика первичных и вторичных попыток вызова.

Если косвенные механизмы ограничения трафика не позволяют осуществлять обслуживание с заданными качественными показателями, то применяются прямые методы управления входящим потоком заявок. Для управления входящим потоком вызовов, поступающих в узел коммутации, разработан алгоритм, который основан на последовательном использовании двух процедур. Первая процедура – ограничение длительности разговора. Об этом уведомляется вызывающий абонент. При необходимости такое же уведомление направляется вызываемому абоненту. Если результат не приводит к необходимому снижению количества вызовов, то используется вторая процедура, которая заключается во введении паузы между попытками установления соединения с одного терминала. Длительность паузы может меняться. Упрощенный вариант предлагаемого алгоритма приведен на рисунке 12. Его можно рассматривать как способ минимизации повторных попыток, применимый в условиях ЧС.

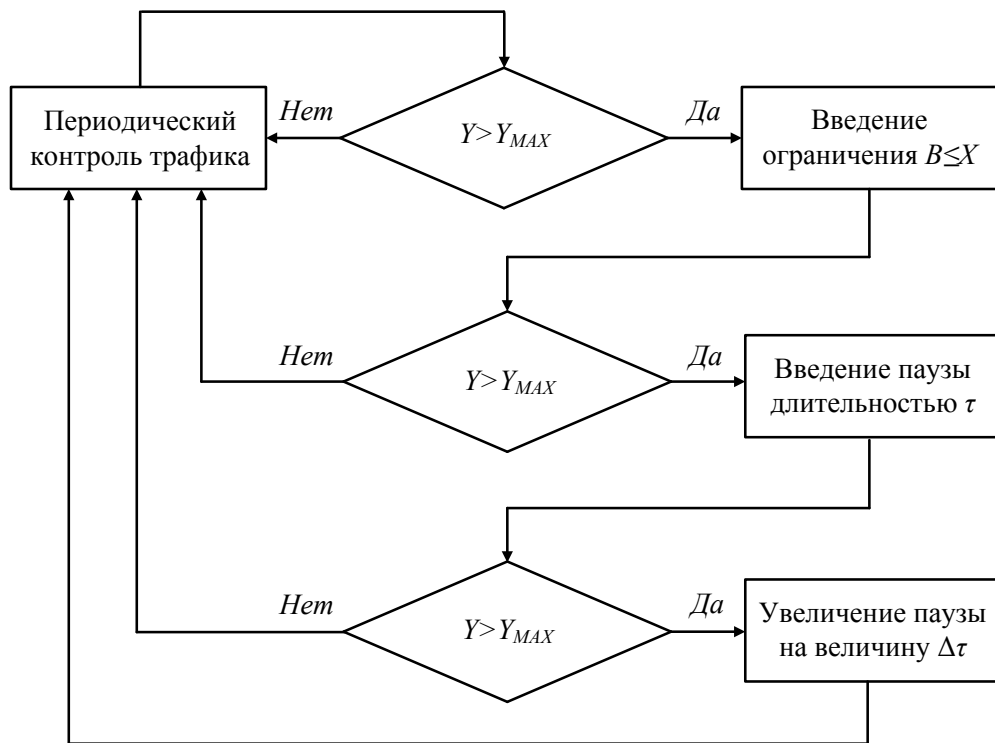


Рисунок 12 – Алгоритм ограничения трафика в узле коммутации

Для практической реализации алгоритма ограничения трафика в узле коммутации получены необходимые аналитические соотношения. Их корректность, а также работоспособность алгоритма были проверены при помощи имитационной модели.

Народно-хозяйственный эффект от использования результатов предложенных решений уместно оценивать величиной NPV – чистой приведенной стоимости. Уровень инвестиций определяется, в основном, стоимостью оборудования ИШ, которая достоверно известна по информации от Поставщиков соответствующих аппаратно-программных средств. Полезный эффект выражается

той долей снижения ущерба, которая обусловлена повышением устойчивости функционирования телекоммуникационной системы.

Значения величины ущерба за каждый год публикуются на официальном сайте МЧС Российской Федерации. Доля снижения ущерба за счет повышения устойчивости функционирования телекоммуникационной системы была определена путем опроса экспертов методом Дельфи. Для надежной оценки полезного эффекта была выбрана минимальная из всех полученных оценок. В результате проведения расчетов установлено, что срок окупаемости проекта модернизации сети за счет установки оборудования ИШ по всей стране составит от 4,5 до 5,5 лет. Поскольку подобные работы уже начаты, то к 2020 году минимальный экономический эффект превысит 2 млрд. руб. с учетом дисконтирования (снижения стоимости денег со временем).

В процессе проведения исследований были получены результаты, совокупность которых представляет собой завершённую научную работу. С другой стороны, при проведении исследований всегда возникают новые задачи, которые целесообразно сформулировать для выполнения дальнейших работ. Необходимо обратить внимание на три процесса.

Первый процесс стимулируется "внутренними" алгоритмами функционирования телекоммуникационной системы, повышающими эффективность обслуживания трафика в период, когда ощущаются последствия ЧС. В этой связи необходимо акцентировать внимание на применении аппаратно-программных средств DPI – глубокого анализа содержимого пакетов. Информация, получаемая при помощи подобного оборудования, обеспечивает постоянное совершенствование системы управления NGN. Применение метода экспертных оценок и других способов получения полезных данных позволяет сделать вывод о высокой потенциальной эффективности проведения междисциплинарных исследований, которые связаны с психологическими аспектами поведения абонентов телекоммуникационной системы.

Второй процесс связан с новыми возможностями телекоммуникационной системы, заключающимися в ее эволюционных тенденциях. В настоящее время основным объектом новых эволюционных решений стала Система-112, но существуют и другие сферы применения инноваций, способные повысить эффективность работы телекоммуникационной системы в условиях ЧС.

Третий процесс основан на применении NBIC-технологий (Nano – нано технологии, Bio – биологические технологии, Inform – информационные технологии, Cognitive – когнитивные технологии). Эти технологии доказали свою эффективность при изучении сложных и плохо определенных процессов. Среди них особо важными для эволюции телекоммуникационной системы представляются когнитивные технологии.

Результаты, содержащиеся в пятой главе диссертационной работы, отражены в публикациях автора [1, 10, 15 – 18, 22, 32, 36].

Заключение содержит основные результаты, которые были получены при проведении исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующим положениям.

1. Выполнен анализ процессов модернизации для сети связи общего пользования с точки зрения решения задач, возникающих в ЧС. Выделены потенциальные проблемы, сформировавшиеся исторически и возникающие при переходе к NGN. Эти проблемы касаются двух важнейших аспектов функционирования сети связи: обеспечение установленных показателей качества обслуживания мультисервисного трафика с учетом его характера в ЧС, а также поддержка надежности телекоммуникационной системы.

2. Разработан методологический подход к функционированию NGN в условиях ЧС. Этот подход основан на создании привилегированных условий для обслуживания тех видов трафика, которые особо важны для ликвидации последствий ЧС. При этом вводится новая система приоритетов для передачи и обработки IP-пакетов и, при необходимости, осуществляется реконфигурация сети по заранее разработанным правилам или на основе оперативной информации о состоянии ресурсов передачи, коммутации и обработки информации. Результаты функционирования NGN в ЧС анализируются с целью улучшения выполняемых операций в последующем.

3. Предложен комплекс мер для превентивной подготовки NGN к работе при ЧС различного рода. Эти меры включают организационные и технические мероприятия. Проведенные исследования показали высокую эффективность введения в состав NGN новых аппаратно-программных средств, которые были названы "Интеллектуальным шлюзом". По составленному техническому заданию Интеллектуальный шлюз был разработан и опробован в реальных эксплуатационных условиях. Полученные результаты доказали эффективность предложенного решения на практике.

4. Разработаны математические модели узла коммутации в составе NGN и маршрута обмена IP пакетами между интерфейсами пользователь-сеть в ЧС в виде систем и сетей массового обслуживания. Установлено, что для мультисервисного трафика в чрезвычайных ситуациях гипотеза о пуассоновском входящем потоке заявок не подтверждается ни теоретическими выкладками, ни результатами измерений. Проведено исследование предложенных математических моделей аналитически и имитационным моделированием. Полученные результаты использованы для выбора способов обслуживания мультисервисного трафика в ЧС.

5. Получены аналитические выражения для оценки качества обслуживания мультисервисного трафика в чрезвычайных ситуациях. Эти результаты позволили уточнить ряд основных соотношений для анализа сложных сетей и систем массового обслуживания с учетом особенности трафика, создаваемого в чрезвычайных ситуациях. Результаты исследования полезны для анализа широкого класса сложных сетей и систем массового обслуживания.

6. Разработан метод для расчета характеристик надежности применительно к NGN в ЧС. Показано, что эффективным инструментом для решения поставленных задач служит математический аппарат теории графов и гиперсетей. Установлено, что значительную часть задач по обеспечению показателей надежности следует решать на этапе разработки проектных решений. Для масштабных чрезвычайных ситуаций предложен метод введения дополнительных ресурсов с целью поддержки максимально достижимых показателей качества обслуживания мультисервисного трафика. Статистические данные об отказах свидетельствуют, что их значительная часть обусловлена прерыванием внешнего энергоснабжения на длительный срок. Для минимизации последствий таких отказов разработана методика расчета запасов средств электропитания, которые должны обеспечить работоспособность узлов коммутации в составе телекоммуникационной системы.

7. Сформулированы научно обоснованные принципы и на их основе рекомендации по учету особенности функционирования NGN в условиях ЧС. Они касаются всего жизненного цикла телекоммуникационной системы, включая формирование концепции модернизации сетей связи, разработку проектных решений, проведение строительно-монтажных работ, эксплуатацию комплекса технических средств, а также восстановление сети (если оно требуется) после ЧС.

8. Разработан комплекс имитационных моделей для проверки аналитических соотношений, полученных при введении некоторых допущений. Имитационное моделирование доказало корректность всех аналитических результатов, приведенных в диссертационной работе. Разработанные модели используются в Макрорегиональном филиале "Центр" ПАО "Ростелеком" для организации эксплуатационных процессов в ЧС. Они также могут быть использованы для проведения исследований сложных систем и сетей массового обслуживания. Сформулированы перспективные задачи, которые могут стать предметом новых исследований в части организации работы телекоммуникационной системы в ЧС и в других нештатных ситуациях.

Таким образом, в результате проведенных в диссертации исследований решена важная народно-хозяйственная задача. Она заключается в разработке новых научно обоснованных принципов функционирования сети связи следующего поколения в чрезвычайных ситуациях. Их реализация позволит не только повысить качество обслуживания трафика в чрезвычайных ситуациях, но и получить экономический эффект не менее 2 млрд. рублей через семь лет после начала процесса внедрения предложенных решений по модернизации телекоммуникационной системы.

Список публикаций, в которых отражено основное содержание работы.

Монография

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

Статьи в научных журналах из перечня ВАК

2. Леваков, А.К. Характер входящего потока IP-пакетов в условиях чрезвычайных ситуаций / А.К. Леваков // Вестник связи. – 2017. – №11. – с. 4-7.
3. Леваков, А.К. Несколько слов об абонентских кабелях / А.К. Леваков, И.Ш. Арифуллин // Вестник связи. – 2016. – №11. – с. 18-19.
4. 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.
5. Леваков, А.К. Задачи оценки показателей, определяющих качество функционирования телекоммуникационных сетей / А.К. Леваков, А.В. Федоров, Н.А. Соколов // Электросвязь. – 2015. – №6. – С. 24–27.
6. Levakov, A.K. Models of incoming traffic in packet networks / A.K. Levakov, A.N. Sokolov, N.A. Sokolov // T-Comm. – 2015. – №5. PP. 91 – 94.
7. Леваков, А.К., Задачи оптимизации структурной надежности и живучести сетей связи в условиях ЧС / А.К. Леваков, Г.В. Попков // Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. – 2014. – №2. – С. 75–87.
8. 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.
9. Леваков, А.К. Новые задачи обслуживания трафика в чрезвычайных ситуациях / А.К. Леваков // Электросвязь. – 2014. – №4. – С. 27–29.
10. Леваков, А.К. Сортировка вызовов при растущей нагрузке в "Системе-112" ЧС / А.К. Леваков // Вестник связи. – 2013. – №1. – С. 26 – 29.
11. Леваков, А.К. Свойства потока IP-пакетов на входе транзитных узлов коммутации в сети следующего поколения / А.К. Леваков // Электросвязь. – 2013. – №1. – С. 43–45.
12. Леваков, А.К. Аспекты превентивной подготовки сети связи к работе после возникновения чрезвычайной ситуации. Часть I / А.К. Леваков // Электросвязь. – 2013. – №4. – С. 42–44.
13. Леваков, А.К. Аспекты превентивной подготовки сети связи к работе после возникновения чрезвычайной ситуации. Часть II / А.К. Леваков // Электросвязь. – 2013. – №5. – С. 12–14.
14. Леваков, А.К. Особенности модернизации сетей доступа, созданных операторами телефонной связи / А.К. Леваков, Н.А. Соколов // Вестник связи. – 2013. – №6. – С. 41–44.

15. Леваков, А.К. Косвенные механизмы снижения лавинообразного трафика, возникающего в чрезвычайных ситуациях / А.К. Леваков // Вестник связи. – 2013. – №7. – С. 2–4.
16. Леваков, А.К. Формирование информационных сообщений, передаваемых в ЧС / А.К. Леваков // Вестник связи, 2013, №8, с. 14 – 16.
17. Леваков, А.К. Два метода управления трафиком речи в чрезвычайных ситуациях / А.К. Леваков // Вестник связи. – 2013. – №12. – С. 29–31.
18. Леваков, А.К. О задачах устойчивости сети следующего поколения в чрезвычайных ситуациях / А.К. Леваков, В.К. Попков, Г.В. Попков // Телекоммуникации – 2013. – №12. – С. 40–45.
19. 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.
20. Леваков, А.К. Приближенный анализ характеристик сети NGN при существенном росте трафика / А.К. Леваков // Электросвязь. – 2011. – №12. – С. 18–20.
21. Леваков, А.К. Имитационная модель для анализа сети NGN при существенном росте трафика / А.К. Леваков // Электросвязь. – 2012. – №4. – С. 20–21.
22. Леваков, А.К. Особенности трафика, обслуживаемого сетями связи в ходе "Прямой линии" с руководителями государства / А.К. Леваков // Вестник связи. – 2012. – №5. – С. 35-37.
23. Леваков, А.К. Оценка параметров трафика сети следующего поколения в ЧС / А.К. Леваков // Вестник связи. – 2012. – №7. – С. 21–25.
24. Леваков, А.К. Результаты моделирования работы сети NGN при существенном росте трафика. Часть I / А.К. Леваков // Электросвязь. – 2012. – №7. – С. 32–34.
25. Леваков, А.К. Результаты моделирования работы сети NGN при существенном росте трафика. Часть II / А.К. Леваков // Электросвязь. – 2012. – №8. – С. 24–25.
26. 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.
27. Леваков, А.К. Характеристики сети электросвязи при перегрузке одного из узлов коммутации / А.К. Леваков // Электросвязь. – 2012. – №11. – С. 25–27.
28. Леваков, А.К. Характеристики потока IP-пакетов на выходе узлов коммутации в сети следующего поколения / А.К. Леваков // Электросвязь. – 2012. – №12. – С. 14–15.
29. Леваков, А.К. Варианты повышения надежности сетей доступа / М.В. Звягинцев, А.К. Леваков, Н.А. Соколов // Вестник связи. – 2011. – №7. – С. 26–30.

30. Леваков, А.К. Задачи по обеспечению функционирования сети NGN при возникновении чрезвычайных ситуаций / А.К. Леваков // Вестник связи. – 2011. – №12. – С. 36–38.
31. Леваков, А.К. Обеспечение устойчивости функционирования ССОП за счет использования интеллектуальных шлюзов / А.К. Леваков // Вестник связи. – 2011. – №9. – С. 9–12.
32. Леваков, А.К. Синтез структур региональных сетей документальной электросвязи, отвечающих требованиям условий чрезвычайных ситуаций / А.К. Леваков // Вестник связи. – 2005. – № 9. – С. 46–51.

Патент

33. Леваков, А.К. Система обработки информации о чрезвычайных ситуациях / М.В. Кабанов, А.К. Леваков, Н.А. Соколов // Патент на полезную модель № 130110 Российской Федерации №2012155812; заявлен 18.12.2012, опубликован 10.07.2013. – Бюллетень. № 19. – 2 с.

Другие труды

34. Леваков, А.К. Влияние характера входящего потока IP-пакетов на допустимую загрузку узла коммутации / А.К. Леваков, Н.А. Соколов, А.В. Федоров // Труды ЦНИИС (Санкт-Петербургский филиал). – 2016. – Том 2. – с. 21-25.
35. Леваков, А.К. Принципы ограничения трафика, обслуживаемого сетью электросвязи в чрезвычайных ситуациях / А.К. Леваков // II-я Международная научно-техническая и научно-методическая конференция "Актуальные проблемы инфокоммуникаций в науке и образовании". – СПбГУТ. – 2013. – 3 с.
36. Леваков, А.К. Процессы совместного функционирования сетей электросвязи и информационных систем в современной службе спасения / А.К. Леваков // Международный семинар МСЭ "Co-evolution of Info communication Technologies and Society, or Ways to the Society without Frontiers". – СПбГУТ. – 2013. – 25 с.
37. Levakov, A. Access to Emergency services during overload traffic period / A. Levakov, N. Sokolov // St. Petersburg 12th International Conference "Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking". – 2012. Springer, PP. 424–428.
38. Леваков, А.К. Задачи управления лавинообразным трафиком при возникновении чрезвычайных ситуаций / А.К. Леваков // 8-ая международная конференция "Управление сетями электросвязи". – М.: 2012. – 10 с.
39. Леваков, А.К. Особенности обслуживания трафика в период чрезвычайных ситуаций / А.К. Леваков // I-я Международная научно-техническая и научно-методическая конференция "Актуальные проблемы инфокоммуникаций в науке и образовании". – СПбГУТ. – 2012. – С. 183-184.

40. Леваков, А.К. Некоторые структурно-сетевые решения построения сетей местной и зоновой телефонной связи с технологией NGN в Московской области / А.К. Леваков // 6-я Ежегодная международная конференция "NGN в России. Технологии и услуги". – СПб.: 2007. – 7 с.
41. Леваков, А.К. Особенности создания и функционирования сетей связи нового поколения / А.К. Леваков // Фотон-Экспресс. – 2006. – № 5. – С. 44–45.
42. Леваков, А.К. Оценка устойчивости типовых структур РСДЭС при возникновении ЧС / А.К. Леваков, С.Т. Малиновский, И.С. Синева // Труды Московского технического университета связи и информатики. Сборник статей. – М.: 2005. – С. 50–61.
43. Леваков, А.К. Анализ трафика РСДЭС в условиях ЧС / А.К. Леваков, С.Т. Малиновский, И.С. Синева // Труды Московского технического университета связи и информатики. Сборник статей. – М.: 2005. – С. 62–73.
44. Леваков, А.К. Анализ структур региональных сетей ДЭС, их классификация и типовые структурные модели / А.К. Леваков, С.Т. Малиновский // Труды Московского технического университета связи и информатики. Сборник статей. – М.: 2004. – С. 152–164.