

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы

На правах рукописи



Мальшев Денис Анатольевич

**ПОДДЕРЖКА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ВЫЗОВА ЭКСТРЕННЫХ
СЛУЖБ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ НА ОСНОВЕ
КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ДЕЖУРНО-ДИСПЕТЧЕРСКИХ СЛУЖБ**

Специальность 2.3.4. Управление в организационных системах
(технические науки)

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Холостов Александр Львович

Москва 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ СЛУЖБАМИ ЭКСТРЕННОГО РЕАГИРОВАНИЯ	10
1.1 Историческая справка об организации оперативного реагирования в ряде стран и государств	10
1.2 Организация служб оперативного реагирования за рубежом.....	10
1.2.1 Соединенные Штаты Америки	10
1.2.2 Великобритания.....	13
1.2.3 Европа	15
1.2.4 Российская Федерация, страны Азии и Америки	17
1.3 Организация служб оперативного реагирования в Российской Федерации.....	18
1.3.1 Традиционная схема реагирования на пожары и чрезвычайные ситуации ...	18
1.3.2 Современная структура службы экстренного реагирования (состав, назначение, основные задачи)	20
1.4 Особенности функционирования служб экстренного реагирования в Республике Коми.....	23
1.4.1 Социально-географическая характеристика Республики Коми	23
1.4.2 Управление вызовом экстренных оперативных служб на региональном уровне на примере Республики Коми	28
1.5 Анализ исследований в области организации и управления экстренными оперативными службами	41
Выводы по первой главе	46
ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДЕЖУРНО-ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СЛУЖБЫ СИСТЕМЫ-112	48
2.1 Основные положения, используемые при моделировании.....	48
2.2 Моделирование дежурно-диспетчерской службы как двухуровневой системы массового обслуживания	71

2.3 Моделирование дежурно-диспетчерской службы как системы массового обслуживания с «нетерпеливыми» заявками	77
Выводы по второй главе	82
ГЛАВА 3 МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ ДЕЖУРНО-ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СЛУЖБЫ В СИСТЕМЕ ЭКСТРЕННОГО РЕАГИРОВАНИЯ	84
3.1 Выбор решаемой задачи	84
3.1.1 Основные требования к характеристикам системы.....	84
3.1.2 Задачи анализа и синтеза	85
3.2 Обеспечение устойчивой работы дежурно-диспетчерской службы при технических сбоях.....	102
3.3 Определение числа автоматизированных рабочих мест и линий связи в системе экстренного реагирования с «нетерпеливыми» заявками	106
3.4 Определение числа автоматизированных рабочих мест и линий связи в двухуровневой системе экстренного реагирования	109
3.5 Оценка эффективности применения разработанных методик и моделей при управлении Системой -112 на региональном уровне	112
3.6 Оценка экономических показателей при реализации управленческих решений в Центре обработки вызовов Системы - 112 на территории Республики Коми.....	118
Выводы по третьей главе	121
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	122
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	124
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	125
ПРИЛОЖЕНИЕ А Акты внедрения результатов диссертации.....	142
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Программы расчета параметров систем массового обслуживания	147

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Повышение уровня защищенности объектов национальной экономики, собственности и жизни граждан от угроз техногенного и природного характера является одной из первоочередных задач для стабильного социально-экономического развития государства.

Ключевыми элементами в единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций РСЧС и в системе управления экстренными службами на региональном и муниципальном уровнях являются Центры управления в кризисных ситуациях субъектов РФ и организации, обеспечивающие деятельность органов управления силами и средствами, предназначенными и привлекаемыми для предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, а также единые дежурно-диспетчерские службы (ДДС) муниципальных образований и автоматизированная информационно-управляющая система обеспечения вызова экстренных служб (далее Система-112).

Эффективность функционирования Системы-112 определяется соблюдением требований по оперативности, полноте и достаточности реагирования при минимально необходимых количественных показателях и вероятностным характеристикам в приеме и обработке сообщений.

Повышение полноты и достаточности реагирования может быть обеспечено путем одновременного привлечения необходимого количества экстренных служб, что достигается внедрением единого номера вызова - 112 и координацией действий привлекаемых служб.

Степень разработанности темы. В области повышения оперативности реагирования на пожары и ЧС проводились многочисленные исследования, в том числе, касающиеся управления экстренными службами, рассматривались особенности ДДС, как ключевого элемента системы управления подразделениями экстренного реагирования. Решению этих проблем посвящены работы

Брушлинского Н.Н., Соколова С.В., Семикова В.Л., Топольского Н.Г., Таранцева А.А., Матюшина А.В., Коробко В.Б., Порошина А.А., Качанова С.А., Агеева С.В., Манина П.А., Погорельской К.В., Холостова А.Л. [32-36, 42, 43, 52, 54, 61, 62, 66, 76, 78, 90, 92-97, 100-118, 120-125].

Совершенствование работы ДДС неразрывно связано с развитием методов теории массового обслуживания и основывается на фундаментальных работах Вентцель Е.С., Гнеденко Б.В., Денисьева О.М., Ивченко Г.И., Каштанова В.А., Кирпичникова А.П., Коваленко И.Н., Кофмана А., Крюона Р., Новикова О.А., Петухова С.И., Риордана Д.Ж., Хинчина А.Я., Эрланга А.К. и др. отечественных и зарубежных учёных [29-31, 40, 47, 51, 53, 55, 70, 75, 83]. В этих работах представлено развитие теории массового обслуживания, а также применение ее основных положений при решении практических задач в различных отраслях знаний.

Оперативность обработки поступающих в ДДС сообщений зависит от количества автоматизированных рабочих мест (АРМ) и квалификации сотрудников ДДС. Кроме оперативности обработки поступающих сообщений, существенным фактором является способность ДДС не допустить отказа в их приеме с вероятностью не более 0,1%, установленной требованиями нормативных документов. К сожалению, в настоящее время не существует нормативных рекомендаций, позволяющих с достаточной точностью обосновать количественные характеристики ДДС.

Следует отметить, что предпринимались попытки разработки методик, позволяющих рассчитать количество операторов и линий связи [66, 93, 113], но в этом случае не учитывались особенности функционирования ДДС в рамках Системы –112 и в настоящее время нормативные документы с соответствующими расчетными методиками отсутствуют.

Объект исследования – процесс управления системой вызова экстренных служб.

Предмет исследования – математические модели и алгоритмы для поддержки принятия решений по управлению системой вызова экстренных служб

на региональном уровне субъектов Российской Федерации.

Цель исследования - разработка моделей и алгоритмов поддержки управления системой вызова экстренных служб на региональном уровне, позволяющих повысить эффективность ее функционирования.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие **задачи**:

- провести анализ современного состояния и задач управления службами экстренного реагирования на региональном уровне;
- разработать математическую модель дежурно-диспетчерской службы, учитывающую связь вероятностных характеристик с количественными показателями и двухуровневый характер обслуживания поступающих сообщений;
- разработать математическую модель дежурно-диспетчерской службы как многоканальной системы массового обслуживания с ограниченным временем ожидания абонентов;
- разработать методику обеспечения устойчивой работы дежурно-диспетчерской службы в системе экстренного реагирования.

Научная новизна:

1. Разработана математическая модель дежурно-диспетчерской службы, учитывающая связь вероятностных характеристик с количественными показателями и двухуровневый характер обслуживания поступающих сообщений. Данная модель позволяет обосновать количественные показатели дежурно-диспетчерской службы в зависимости от требуемых вероятностных характеристик.

2. Разработана математическая модель дежурно-диспетчерской службы как многоканальной системы массового обслуживания с ограниченным временем ожидания абонентов.

На основе данной модели сформулировано и доказано утверждение о диапазоне вероятности потери заявки в стандартных n -канальных системах массового обслуживания с m -местной очередью и ограниченным временем ожидания.

3. Разработана методика обеспечения устойчивой работы дежурно-

диспетчерской службы в системе экстренного реагирования, включающая алгоритмы анализа и синтеза и учитывающая двухуровневый характер и ограниченное время обслуживания.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в совершенствовании и дальнейшем развитии методов и алгоритмов поддержки решения задач управления экстренными службами на региональном уровне.

Разработанные модели и алгоритмы позволяют:

- обосновывать решения по количественным показателям дежурно-диспетчерских служб с учетом интенсивности поступающих сообщений и двухуровневого характера их обслуживания;

- проводить анализ работы существующих дежурно-диспетчерских служб, а также проектировать вновь создаваемые на региональном уровне с учетом вероятностных и временных требований нормативных документов.

Методология и методы исследования. Используются методы математического и компьютерного моделирования, математической статистики и теории массового обслуживания.

Положения, выносимые на защиту.

1. Математическая модель для расчета параметров дежурно-диспетчерской службы, учитывающая связь вероятностных характеристик с количественными показателями и двухуровневый характер обслуживания поступающих сообщений.

2. Математическая модель дежурно-диспетчерской службы как многоканальной системы массового обслуживания с ограниченным временем ожидания абонентов, позволяющая определить количественные показатели с учетом ограничения времени ожидания абонентов.

3. Методика обеспечения устойчивой работы дежурно-диспетчерской службы в системе экстренного реагирования, включающая алгоритмы анализа и синтеза и учитывающая двухуровневый характер и ограниченное время обслуживания.

Степень достоверности результатов. Достоверность основных полученных в диссертации результатов достигнута за счет применения для решения

поставленных задач апробированных математических методов, строгим обоснованием основных теоретических положений и утверждений, непротиворечивостью и согласованностью результатов работы с результатами, полученными другими авторами, использованием апробированных методик, репрезентативностью объема выборки данных, используемой для статистического анализа.

Апробация результатов. Основные результаты, полученные в процессе проведенных исследований, обсуждались и получили одобрение научной общественности на следующих конференциях: Международной научно-практической конференции «Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций» (Санкт-Петербург, 2013); Международной научно-практической конференции «Транспорт России: проблемы и перспективы - 2015» (Санкт-Петербург, 2015); Международной научно-практической конференции курсантов (студентов), магистрантов, адъюнктов (аспирантов) «Чрезвычайные ситуации: теория и практика в ЧС – 2015» (Республика Беларусь, г. Гомель, 2015); VI Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (Москва, 2018 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Сервис безопасности в России: опыт проблемы, перспективы. Формирование культуры безопасности жизнедеятельности: приоритеты, проблемы, решения» (Санкт-Петербург, 2018, 2019 гг.).

Реализация результатов исследования. Основные результаты диссертации внедрены в практическую деятельность Главного управления МЧС России по Республике Коми, Комитета Республики Коми гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций, Государственного казенного учреждения Республики Коми «Управление противопожарной службы и гражданской защиты», в учебный процесс Академии ГПС МЧС России. Внедрение результатов подтверждается соответствующими актами.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, из них 6 статей в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях,

рекомендованных ВАК РФ, и 6 публикаций в материалах международных научно-практических конференций.

Личный вклад автора. В совместных публикациях результаты, связанные с разработкой математических моделей дежурно-диспетчерской службы, методики и алгоритмов обеспечения устойчивой работы дежурно-диспетчерской службы получены автором лично.

Структура и объем диссертации. Диссертация содержит введение, три главы, выводы по главам, заключение, список сокращений, список литературы из 140 наименований, 2 приложения; изложена на 155 страницах, включает 53 рисунка, 23 таблицы.

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ СЛУЖБАМИ ЭКСТРЕННОГО РЕАГИРОВАНИЯ

1.1 Историческая справка об организации оперативного реагирования в ряде стран и государств

В главе приводится историческая справка в части организации зарубежных систем экстренного реагирования в США, Великобритании и др. странах, где распространение получил трёхзначный номер единого call-центра с последующей переадресацией в соответствующие экстренные службы. Также рассматривается традиционная советская, а затем российская система направления сообщений экстренным службам «01»-«04» по двузначному номеру и переход её на двухуровневую схему «call-центр – ДДС экстренных служб». Описывается работа двухуровневой «Системы-112» на примере Республики Коми с учётом её территориальных, природных, демографических условий и промышленности.

1.2 Организация служб оперативного реагирования за рубежом

1.2.1 Соединенные Штаты Америки

В США 16 февраля 1968 год в городе Хейливилл (Haleyville, штат Алабама) начала функционировать первая служба 911. Данная служба используется при возникновении любого происшествия либо ЧС, в которой необходима немедленная помощь пожарных, полиции или медиков. «Первый звонок был осуществлен с целью проверки связи конгрессменом Томасом Бевиллом из соседнего полицейского участка и потребовал лишь сигнального ответа "Hi"» [92].

Служба 911 внедрялась на территории государства поэтапно, вводясь на первоначальном этапе в небольших городах. «Федеральная комиссия США по связи (FCC) в 1972 году порекомендовала использовать номер 911 на территории всей страны» [92], но, не смотря на это, массовое использование данной системы американцами началось в восьмидесятых годах. По аналогии с Британской

службой спасения, в Канаде с 1959 года начала свою работу служба спасения 999. Воспользовавшись результатами, полученными в ходе эксплуатации ЕНЭС в ходе американского эксперимента, в 1972 году правительство Канады порекомендовало начать использование ЕНВ 911 на территории своего государства, «таким образом, придав международный статус номеру 911» [92].

«Более шести тысяч диспетчерских центров, принимающих звонки на номер 911» [92], функционируют на территории США. Все операторы «Службы 911» проходят специальную подготовку, на вооружении у диспетчерских служб имеется специальная техника для глухонемых. Также в наличии у оперативного персонала имеются специальные языковые линии, которые дают возможность переводить более чем с шестидесяти языков. Во многих штатах правительство обязывает выделять рабочие места в единых диспетчерских службах для больных или раненых бывших военных или сотрудников полиции, которые по показаниям здоровья не могут нести службу в своих подразделениях. Выбранное властями направление работы дает возможность экономить финансовые средства и время, а также предоставлять качественные услуги.

В большинстве диспетчерских центров имеются специализированные автоматизированные рабочие места, что позволяет по поступившему телефонному номеру автоматически видеть на экране монитора номер телефона, с которого осуществлен вызов и местонахождение абонента. Данный механизм обработки вызова позволяет сократить время реагирования и оказание помощи пострадавшему. В случае невозможности у заявителя обозначить свое местоположение данная функция позволяет просто набрать номер «911» без дополнительной информации.

У 65% пользователей сотовых операторов имеется функция, которая позволяет в случае отключения телефона определить место нахождения человека через антенну сотовой связи, которая передала звонок.

В течение нескольких секунд после поступления звонка в диспетчерский центр заявитель получает ответ от оператора, который в свою очередь называет свой личный персональный номер. Зная данный номер, звонящий имеет

возможность в случае возникающих проблем или некачественного обслуживания обратиться к руководству с предложениями или оценкой работы специалиста. Специалист службы задает уточняющие вопросы, полученная информация дает возможность «классифицировать звонок в зависимости от обстоятельств. Данная информация вводится в электронную компьютерную систему, благодаря которой в кратчайшее время направляется ближайшая свободная полицейская машина» [92]. Помимо этого, на данное сообщение реагируют медицинские и спасательные службы.

Любое поступающее обращение идентифицируется по уровню первоочередности. В первую очередь - сообщения, поступающие от полицейских, находящихся на дежурстве. На втором месте информация о проблемах со здоровьем или сообщения о нарушении правопорядка. Все остальные звонки относятся к менее срочным. Так же проработан вопрос и с ложными звонками, законодательно определены суммы штрафов, а в некоторых случаях и уголовные наказания в отношении тех граждан, которые используют экстренный номер не по назначению.

С 1996 года FCC было принято решение о том, чтобы место нахождения любого абонента, набравшего номер 911, можно было определять автоматически. На первом этапе развития беспроводной службы экстренной помощи операторы должны были определять соту или базовую станцию (cell), получившую вызов по номеру 911, с точностью до 1 мили ($\approx 1,6$ километра), а с 1 октября 2001 года операторы обязаны в 67% случаев обеспечить определение местоположения таких вызовов с точностью до 125 метров. Еще выше требования Федеральной комиссии, вступившие в силу с 1 января 2005 года: максимальная погрешность - 150 метров (в 95% случаев), среднеквадратическая погрешность - 50 метров (67%).

По состоянию на конец 2017 года услугами системы экстренного вызова пользуются 99% граждан государства. По статистике в год число абонентов, обратившихся в службу 911 более 200 миллионов.

С 2015 года в службе спасения Соединенных Штатов Америки работает СМС

услуга text-to-911, благодаря которой, даже при нулевом балансе на телефоне из любой точки страны, независимо от местонахождения, абонент может послать сообщение в службу спасения. Сотовый оператор самостоятельно определяет местонахождение абонента и направляет службы экстренного реагирования в зависимости от ситуации.

1.2.2 Великобритания

В Великобритании функционирует самая старейшая в мире система вызова экстренных служб. Жители Лондона с 1937 года имеют возможность по номеру 999 обратиться в службы экстренного реагирования, такие как скорая помощь, полиция, пожарные.

В 1995 году на территории государства был введен в работу второй экстренный номер "112" общий для Европейского союза, но для недопущения путаницы у граждан по данному номеру информационная кампания не проводилась.

С мобильных телефонов для соединения с экстренными службами необходимо звонить только по номеру 112. Люди, набравшие 999 или 112, автоматически подключаются к единому центру обслуживания вызовов. После того, как абонент совершает звонок в единый центр обслуживания вызовов, оператор коммуникационной компании "Бритиш телеком" соединяет абонента с оператором одной из трех служб.

В случае вызова "скорой помощи" на место происшествия высылаются специалист-парамедик или группа парамедиков, в зависимости от тяжести случаев. В Великобритании, в отличие от России и ряда стран континентальной Европы Италии, Франции, Германии, парамедики не являются врачами, а имеют квалификацию фельдшеров. Они обучены процедурам первой помощи и реанимации, обращению с соответствующим оборудованием. Если опасности для жизни пациента нет, то на место происшествия обычно прибывает фельдшер на мотоцикле или даже на велосипеде. В случае необходимости транспортировать

пострадавшего, находящегося в тяжелом состоянии, привлекается медицинская авиация.

Сотрудники пожарной службы так же выполняют функции спасателей. Выезд сотрудников специалистов экстренных служб на неотложные звонки бесплатный, но за оказание иных услуг, таких как снятие с дерева кошки, заявителю будет выставлен счет.

Также имеется возможность звонка «не экстренного характера», для чего имеются отдельные номера экстренных служб. По данным номерам есть возможность дозвониться в больницу, полицию в тех случаях, когда экстренная помощь не необходима. Таким образом, уменьшается нагрузка на операторов, и специалисты могут быстрее обрабатывать срочные вызовы.

На территории Великобритании в трех районах функционирует пилотный проект "горячей линии" национальной системы здравоохранения, обратиться в систему можно по номеру 111.

Звонок на номер 101 дает возможность связаться с управлением полиции по месту жительства звонящего, либо в любом другом регионе Англии. Данная услуга уже функционирует на территории всей страны.

В случае совершения преступления или предотвращения данного события, необходимо информацию сообщать по номеру 112 или 999. Для того, чтобы сообщить информацию "не экстренного характера" (о ДТП, случаях вандализма, повреждении собственности, угоне автотранспорта, употреблении или распространении наркотических веществ), необходимо набирать номер 101.

Так же на территории государства действуют еще три специализированных телефонных линии (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Специализированные телефонные линии в Великобритании

116000	номер для передачи информации о пропавших людях;
116111	номер Национального общества по предотвращению насилия в отношении детей;
116123	"Самаритяне" номер для оказания психологической помощи людям, находящимся на грани самоубийства;

1.2.3 Европа

В европейских странах номера вызова экстренных служб могут отличаться от страны к стране. Но, как правило, это всегда двух- или трёхзначное число, чтобы его легко можно было запомнить и быстро набрать.

Также в некоторых странах разные аварийные службы имеют разные телефонные номера. При этом они часто отличаются только последней цифрой.

В Европейском Союзе в начале 1990-х годов по инициативе Швеции был введен телефонный номер «112» как единый номер для вызова экстренных служб. Позднее к этой инициативе присоединились и другие европейские страны, не входящие в Европейский Союз. Он работает параллельно с другими местными номерами экстренных служб. Все звонки в экстренные службы бесплатные. Но за разговоры с другими службами (служба технической помощи, справочная) может взиматься оплата. Номера экстренных служб стран Европы приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Телефонные номера экстренных служб стран Европы

Страна	Полиция	СМП	Пожарные	Общие номера
1	2	3	4	5
Австрия	133	144	122	112 – общий экстренный номер 120 – техпомощь на дороге и эвакуатор 140 – горноспасательная служба
Албания	129	127	128	112 – общий экстренный номер 126 – дорожная полиция
Андорра	110	116	118	112 – общий экстренный номер
Армения	102	103	101	112, 911 – общие экстренные номера 177 – дорожная полиция
Белоруссия	102	103	101	112 – общий экстренный номер
Бельгия	101	100		
Болгария	166	150	160	
Босния и Герцеговина	122	124	123	112 – общий экстренный номер 1282 – техпомощь на дорогах
Венгрия	107	104	105	112 – общий экстренный номер
Греция	100	166	199	112 – общий экстренный номер 171 -туристическая полиция
Грузия	122	113	111	112 – общий экстренный номер
Дания	112			
Ирландия	999			

Таблица 1.2 – продолжение

1	2	3	4	5	
Исландия	112				
Испания	091	061	080	112 – общий экстренный номер 062 – гражданская гвардия	
Италия	113	118	115	112 – общий экстренный номер 116 – техпомощь на дорогах	
Кипр	199				
Латвия	110	113	01	112 – общий экстренный номер	
Литва	02	03	01		
Лихтенштейн	117	144	118	112 – общий экстренный номер 140 – техпомощь на дорогах	
Люксембург	113	112		112 – общий экстренный номер	
Македония	192	194	193	112 – общий экстренный номер 1987 – техпомощь на дорогах	
Мальта	191	196	199	112 – общий экстренный номер	
Молдавия	902	903	901		
Нидерланды	112				
Норвегия	112	113	110		
Польша	997	999	998		
Португалия	112				
Россия	02	03	01		
Румыния	112				
Сербия	192	194	193		
Словакия	158	155	150		
Словения	113	112			112 – общий экстренный номер 1987 – техпомощь на дорогах
Украина	102	103	101		112 – общий экстренный номер
Финляндия	112				
Франция	17	15	18		
Хорватия	192	194	193	112 – общий экстренный номер 1987 – техпомощь на дорогах	
Черногория	122	124	123	112 – общий экстренный номер	
Чехия	158	155	150		
Швейцария	117	144	118	112 – общий экстренный номер 140 – дорожная полиция 163 – состояние дорог и перевалов	
Швеция	112			112 – общий экстренный номер	
Эстония	110	112		112 – общий экстренный номер 118 – техпомощь на дорогах	

1.2.4 Российская Федерация, страны Азии и Америки

В таблице 1.3 приведены данные о телефонах экстренных служб Австралии, азиатских стран СНГ, Афганистана, Израиля, Ирана и др. стран.

Таблица 1.3 – Телефонные номера экстренных служб стран Азии и Америки

Страна	Пожарные	Полиция	СМП	Общие и др. номера
Австралия	000/112 – общие экстренные номера			
Азербайджан Казахстан Киргизия Таджикистан Узбекистан	101	102	103	112 – общий экстренный номер 104 – газовая служба
Афганистан	119		102	119 - общий экстренный номер
Израиль	102	100	101	112 – общий экстренный номер 106 – муниципальная служба
Иран	125	110	115	110 – общий экстренный номер
Канада, USA	911/112 – общие экстренные номера			
КНР	119	110	120	112 – общий экстренный номер 122 - ДТП, 114 – справка, 121 - погода
КНДР	819/112			
Корея Южная	119	112	119	112, 801 – общий экстренный номер 111 – нац. безопасность
Монголия	101	102	103	100 – общий экстренный номер
Турция	155	112	110	112 – общий экстренный номер 154 – дорожная полиция
Япония	119	110	119	118 – ЧС на море

1.3 Организация служб оперативного реагирования в Российской Федерации

1.3.1 Традиционная схема реагирования на пожары и чрезвычайные ситуации

В СССР и затем в РФ право на жизнь гражданина, достоинство личности, охрану здоровья и благоприятную среду закреплено в Конституции РФ [1] – ст.20, 21, 41 и 42 соответственно. В этой связи в РФ ещё со времён СССР созданы и действуют службы экстренного реагирования – «01», «02», «03» и «04». Как обратиться в эти службы гражданам разъяснялось с детских лет: пожар – звонить по двузначному номеру «01», правонарушение – «02», проблемы со здоровьем – «03», запах газа – «04». При этом предусматривалось и взаимодействие между диспетчерами этих служб. Такие службы (рисунок 1.1 а) успешно действовали в РФ до начала XXI века, а в некоторых населённых пунктах продолжают действовать и до сих пор.

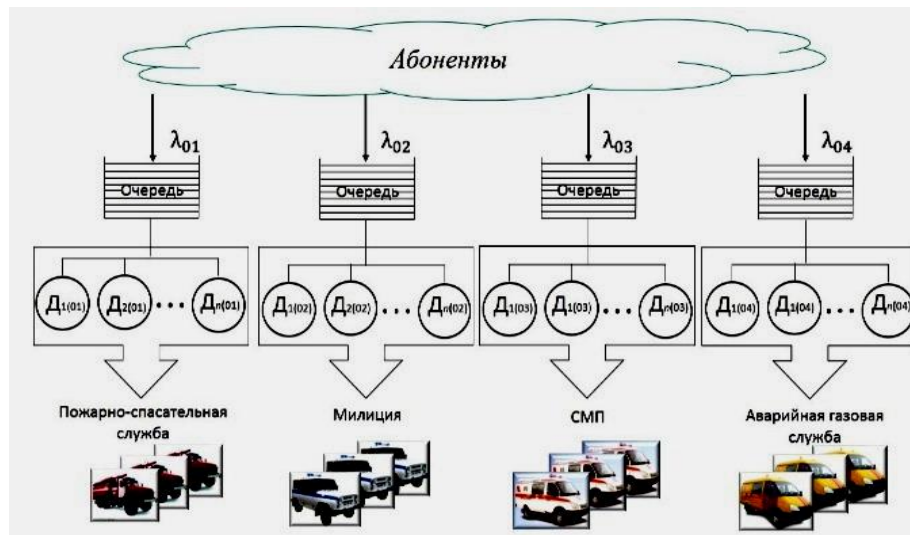
В тоже время за рубежом сложилась несколько иная система приёма сообщений от граждан – были созданы call-центры (рисунок 1.1 б), куда обращались заявители, а диспетчеры call-центров, уяснив суть дела, соединяли их с соответствующими экстренными службами (характерные особенности организации таких служб рассмотрены п. 1.2.1 -1.2.3). В таблице 1.4 приведены номера экстренных служб различных операторов мобильной (сотовой) связи в РФ.

Таблица 1.4 – Номера экстренных служб различных операторов мобильной (сотовой) связи в Российской Федерации

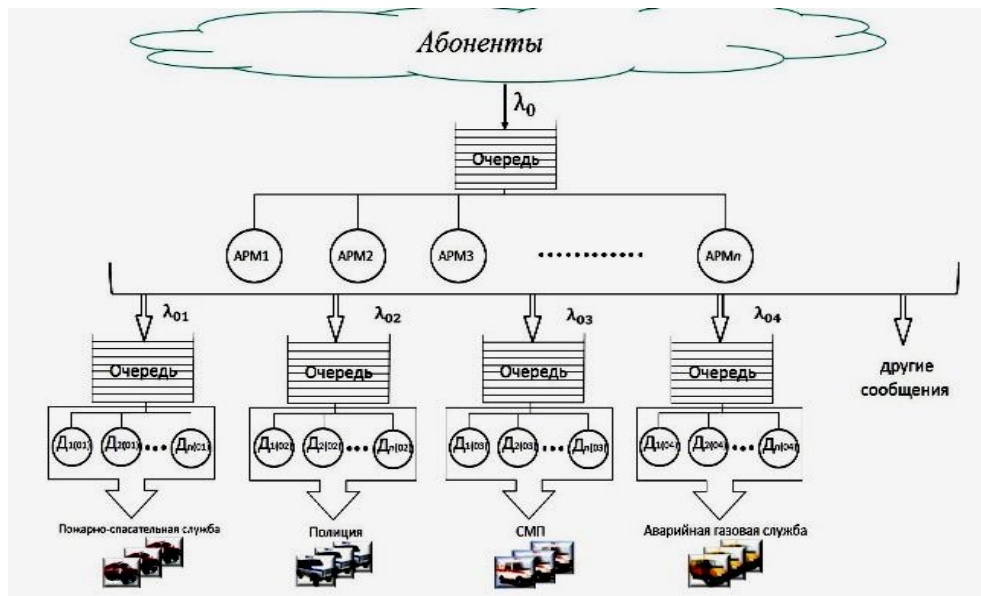
Оператор	Номера вызова экстренных служб
1	2
МТС	112 - единая служба спасения, 010 - аварийно-спасательная служба, 020 - полиция, 030 - скорая медицинская помощь, 040 - аварийная служба газа
Beeline	112 - единый номер экстренных служб 01/001 – пожарная охрана, 02/002 - полиция, 03/003 - скорая медицинская помощь

Таблица 1.4 – продолжение

1	2
Теле 2	01 - служба спасения, пожарная охрана 02 - полиция, 03 - скорая медицинская помощь 04 - аварийная служба газа
МегаФон	112 - единый номер экстренных служб, 01/010 - пожарная охрана 02/020 - полиция, 03/030 - скорая медицинская помощь 04/040 - служба газа



а



б

Рисунок 1.1 – Системы реагирования на пожары и ЧС

а – «традиционная», б – современная двухуровневая с call-центром

1.3.2 Современная структура службы экстренного реагирования (состав, назначение, основные задачи)

На современном этапе в РФ с конца 90-х годов XX века – в начале XXI века стала внедряться система приёма и обслуживания экстренных вызовов (Рисунок 1.16). Сначала на базе двузначного номера «01», по которому передавались сообщения в Центр управления силами и средствами (ЦУСС) пожарной охраны, создавались единые дежурно-диспетчерские службы (ЕДДС), затем центры управления в кризисных ситуациях (ЦУКС), а в последующем «Система-112».

Система-112 предназначена для информационного обеспечения ДДС экстренных оперативных служб, действующих на территории субъектов Российской Федерации, а также ЕДДС муниципальных образований.

Вызов экстренных оперативных служб также может быть обеспечен каждому пользователю услугами связи посредством набора номера, предназначенного для вызова соответствующей экстренной оперативной службы.

Основными целями создания «Системы-112» являются:

1. Организация вызова экстренных оперативных служб по принципу «одного окна».
2. Организация комплекса мер, обеспечивающих ускорение реагирования и улучшение взаимодействия экстренных оперативных служб при вызовах (сообщениях о происшествиях).
3. Реализация требований гармонизации способа вызова экстренных оперативных служб с законодательством Европейского союза.

«Система-112» предназначена для решения следующих основных задач:

1. Прием по номеру «112» вызовов (сообщений о происшествиях, заявок).
2. Получение от оператора связи сведений о местонахождении лица, обратившегося по номеру «112», и (или) абонентского устройства, с которого был осуществлен вызов (сообщение о происшествии), а также иных данных, необходимых для обеспечения реагирования по вызову (сообщению о происшествии).

3. Анализ поступающей информации о происшествиях.

4. Направление информации о происшествиях, в том числе вызовов (сообщений о происшествиях), в ДДС экстренных оперативных служб в соответствии с их компетенцией для организации экстренного реагирования.

5. Обеспечение дистанционной психологической поддержки лицу, обратившемуся по номеру «112».

6. Автоматическое восстановление соединения с пользовательским (оконечным) оборудованием лица, обратившегося по номеру «112», в случае внезапного прерывания соединения.

7. Регистрация всех входящих и исходящих вызовов (сообщений о происшествиях) по номеру «112».

8. Ведение базы данных об основных характеристиках происшествий, о начале, завершении и об основных результатах экстренного реагирования на полученные вызовы (сообщения о происшествиях).

9. Возможность приема вызовов (сообщений о происшествиях) на государственных языках Российской Федерации, а также иностранных языках согласно утвержденному перечню.

Ожидаются следующие положительные эффекты от внедрения «Системы-112»:

1. Использование единого номера снимет с населения задачу самостоятельно решать, какая аварийная служба нужна для ликвидации последствий происшествия, перекладывая данную обязанность на квалифицированного специалиста (оператора ЦОВ-112), в руках которого имеется высоко организационно и технически обеспеченная «Система-112».

2. «Система-112» позволит существенно расширить оперативность доступа к ряду служб, телефонные номера и сам факт существования которых может быть неизвестен населению.

3. Повышение качества работы диспетчеров ДДС за счет дополнительной подготовки снизит вероятность допущения ошибки при обслуживании населения (снижение безвозвратных потерь населения, степени вреда здоровью, размера

экономического ущерба).

4. Позволит снизить трудозатраты на проведение статистических и аналитических расчетов за счет перехода на автоматизированное формирование отчетности средствами «Системы-112».

5. Иницирует применение новых средств связи и автоматизации для информационного обмена и поддержки принятия решения при ликвидации происшествий, ЧС и т.п. (в частности, спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS).

6. Активизирует привлечение органов государственной власти субъектов и местного самоуправления к вопросам, связанным с обеспечением безопасности населения и защиты материальных ценностей на территории муниципальных образований.

7. Иницирует улучшение нормативного регулирования алгоритмов реагирования и информационного обеспечения принятия решений в случаях, требующих комплексного привлечения и координации взаимодействия сил и средств РСЧС на территории муниципальных образований при ликвидации происшествий, ЧС и т.п.

8. Позволит контролировать показатель ожидаемости экстренных оперативных служб.

9. Обеспечит гармонизацию способа вызова экстренных оперативных служб субъектов с законодательством РФ и ЕС.

1.4 Особенности функционирования служб экстренного реагирования в Республике Коми

1.4.1 Социально-географическая характеристика Республики Коми

Республика Коми является субъектом РФ и расположена на крайнем северо-востоке Европейской части России (рисунок 1.2).

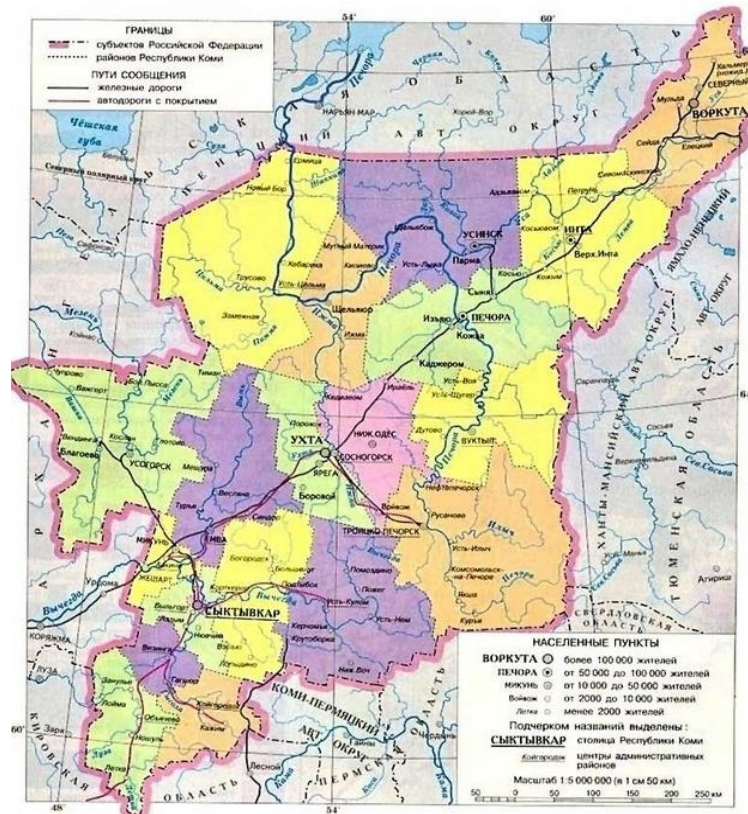


Рисунок 1.2 – Республика Коми

На востоке республика граничит с Тюменской областью, на западе, северо-западе и севере Республика Коми граничит с Архангельской областью, на юго-востоке - со Свердловской областью, на юге – с Пермским краем, на юго-западе – с Кировской областью. Столица Республики Коми – г. Сыктывкар.

Природные характеристики и ландшафтные особенности Республики Коми представлены в таблице 1.5 и на рисунке 1.3.

Крайний северо-восток республики занимает тундра (13 %).

Таблица 1.5 – Основные характеристики Республики Коми

Наименование показателей	По состоянию 01.01.2017 г.
Общая площадь территории (км ²)	416774
Количество населенных пунктов (всего)/без населения	720/36
Число муниципальных образований, в т.ч.	20
Муниципальных районов	15
Городских округов	5
Сельских поселений	168
Число городов	8
Число поселков городского типа	29
Численность населения - всего (тыс. чел.)	901,2
Средняя плотность населения, чел. на 1 км ²	2,2



а



б



в

Рисунок 1.3 – Природно-ландшафтные особенности Республики Коми:

а – тундра, б – леса, в – Приполярный Урал

Южнее располагается узкая полоса лесотундры (6%), сменяющаяся к югу лесными пространствами (80%) и отдельными луговыми массивами (1%) (рисунок 1.3б).

Площадь лесов занимает 94 % территории республики.

Основу гидрографической сети республики составляют: река Печора (1596 км, рисунок 1.4а), река Вычегда (870 км, рисунок 1.4б), река Мезень с притоком, река Вашка (400 км), река Уса (757 км), река Ижма (459 км), река Сысола (388 км).



а



б

Рисунок 1.4 – Реки Республики Коми (а – р. Печора, б – р. Вычегда)

На Полярном и Приполярном Урале (рисунок 1.3в) встречаются небольшие ледники и снежники.

Республика располагает уникальным по запасам и условиям залегания, разнообразию и качеству сочетанием минерально-сырьевых ресурсов.

Тем не менее, при всей значимости Республики Коми как промышленно-аграрного региона с огромными запасами полезных ископаемых и трудовыми ресурсами (рисунок 1.5), большой ущерб приносят пожары и различные ЧС природного и техногенного характера – в т.ч. лесные пожары, наводнения и др.



а



б



в



г



д

Рисунок 1.5 – Промышленные объекты Республики Коми: а - Печорский угольный бассейн, б - Ухтинский нефтеперерабатывающий завод, в - Сосногорский газоперерабатывающий завод, г - Печорская ГРЭС, д - ТЭЦ Сыктывкарского лесопромышленного комплекса

Для обеспечения устойчивости работы всех структур Республики Коми необходима бесперебойная, слаженная работы экстренных служб и территориального пожарно-спасательного гарнизона, организация структуры управления которого приведена ниже (рисунок 1.6).

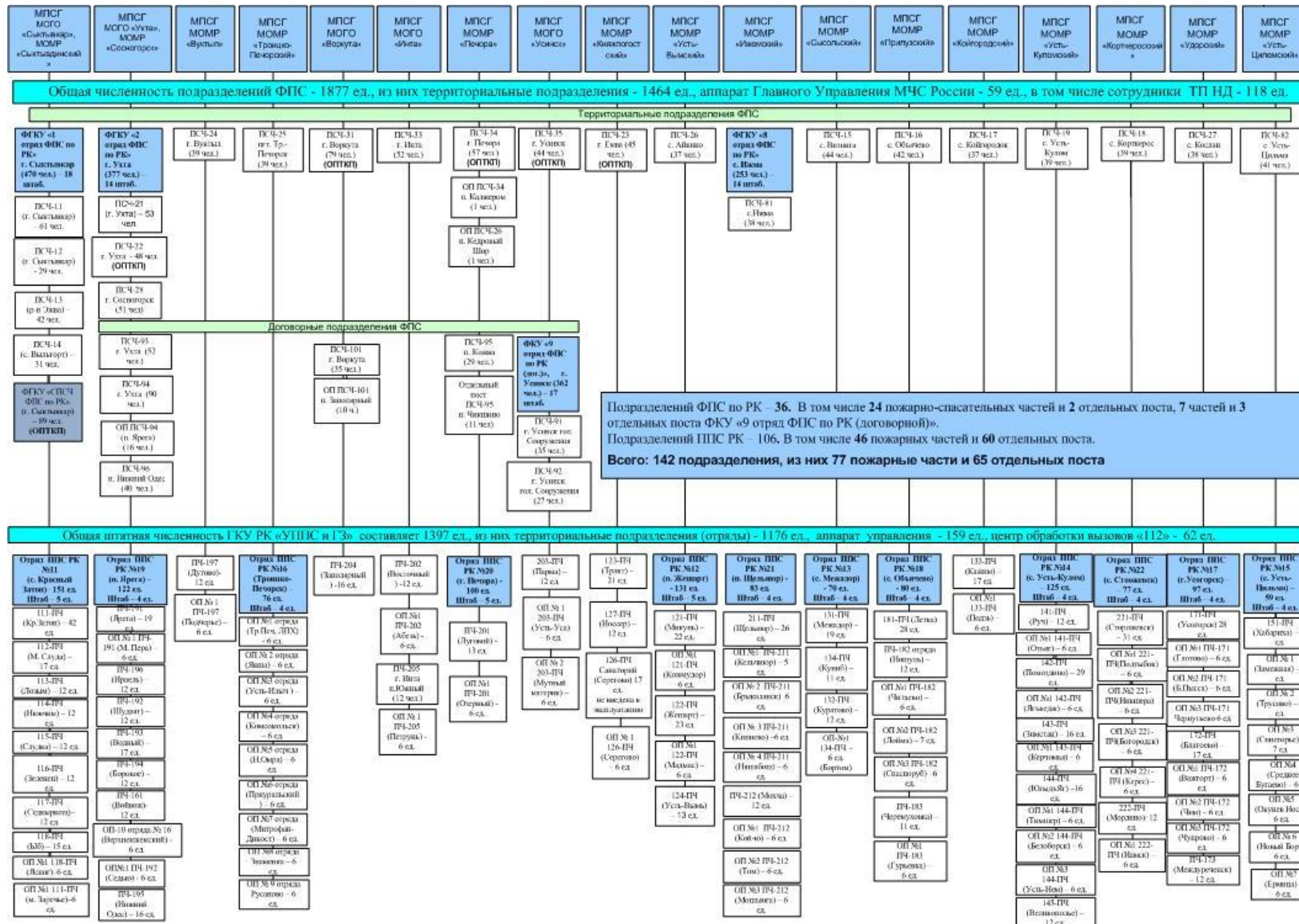


Рисунок 1.6 – Организационная структура управления территориальным пожарно-спасательным гарнизоном Республики Коми

1.4.2 Управление вызовом экстренных оперативных служб на региональном уровне на примере Республики Коми

Во исполнение Федерального закона «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [2], постановления Правительства Российской Федерации «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» [7] и в целях совершенствования Коми республиканской территориальной подсистемы единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (рисунок 1.7) правительство Республики утвердило Положение о Коми республиканской подсистеме единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (рисунок 1.8). Кроме того, внедряется современная двухуровневая Система – 112, позволяющая повысить оперативность и полноту реагирования подразделений экстренных оперативных служб на вероятные ЧС, происшествия социально-значимого характера и техногенные пожары на региональном уровне в соответствии с требованиями существующих нормативных документов [2-28].

На современном этапе в Республике Коми основной центр обработки вызовов экстренных оперативных служб по единому номеру «112» на территории Республики Коми создан и находится в городе Сыктывкаре. Введен в опытную эксплуатацию 26 ноября 2014 года.

Система-112 (рисунок 1.9) развернута в муниципальном образовании городской округ «Сыктывкар» и обслуживает население в количестве 250 874 человека, что составляет 29 % от общей численности населения Республики Коми.

Главное управление МЧС России по Республике Коми завершило работы по техническому оснащению АРМ всех 20 пунктов связи пожарно-спасательных частей (ЦППС) во всех муниципальных образованиях Республики Коми.

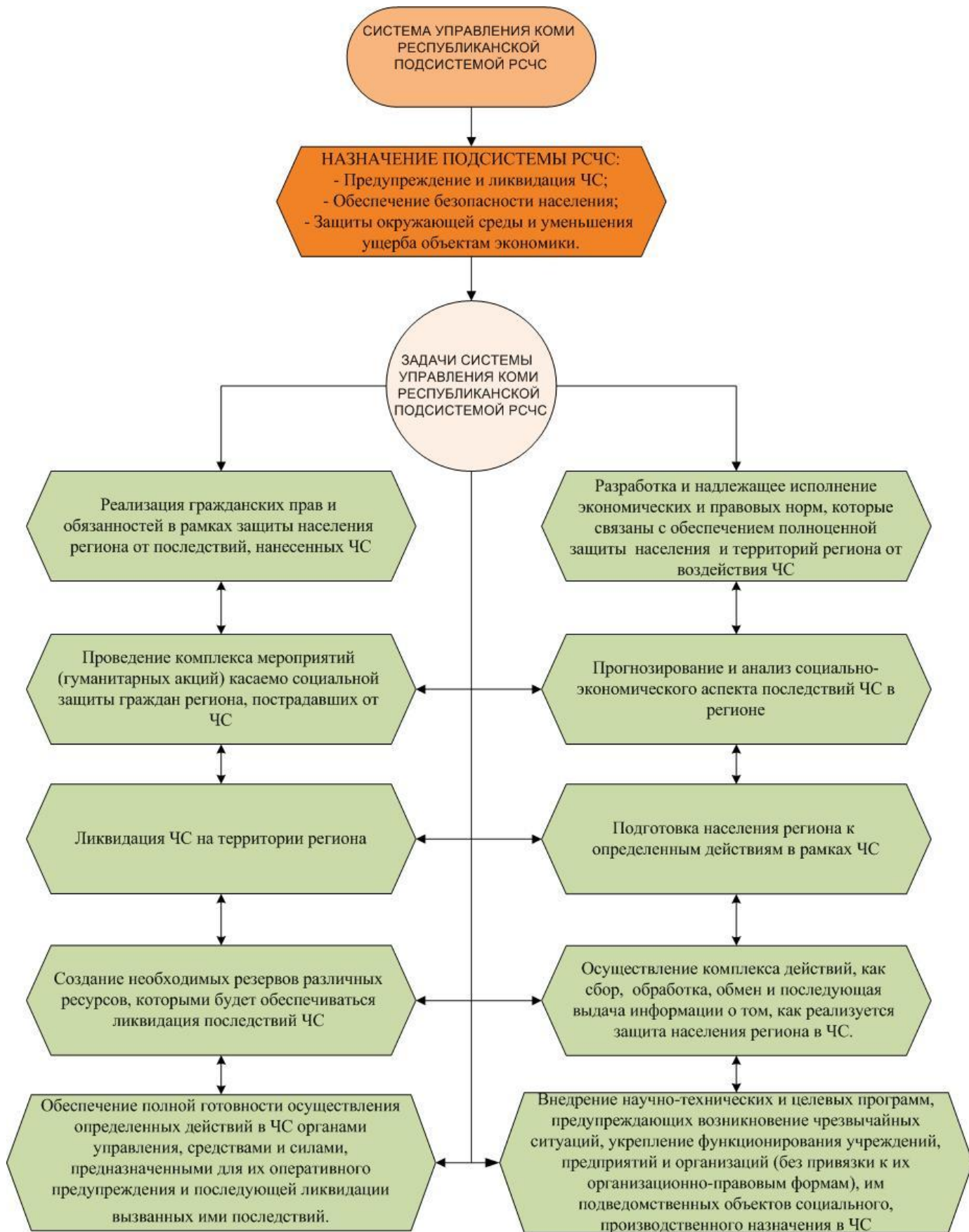


Рисунок 1.7 – Система управления Коми республиканской подсистемой РСЧС

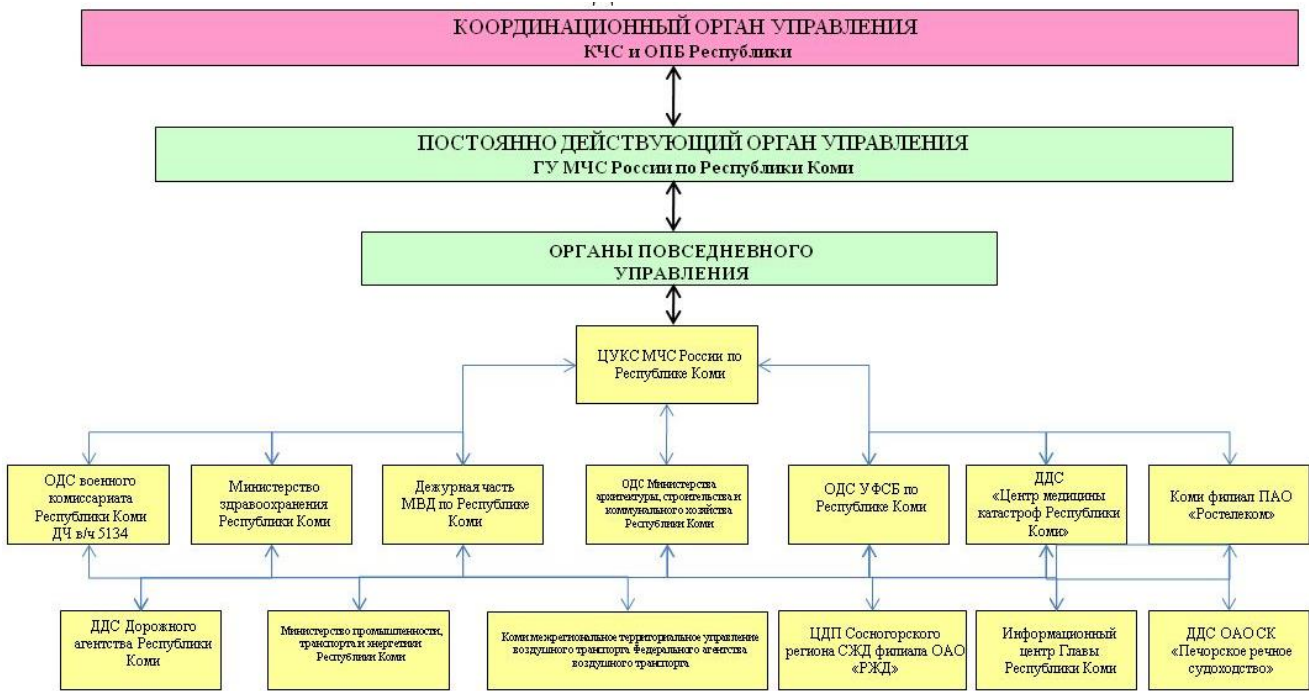


Рисунок 1.8 – Организационная структура управления Коми Республикой подсистемы РСЧС

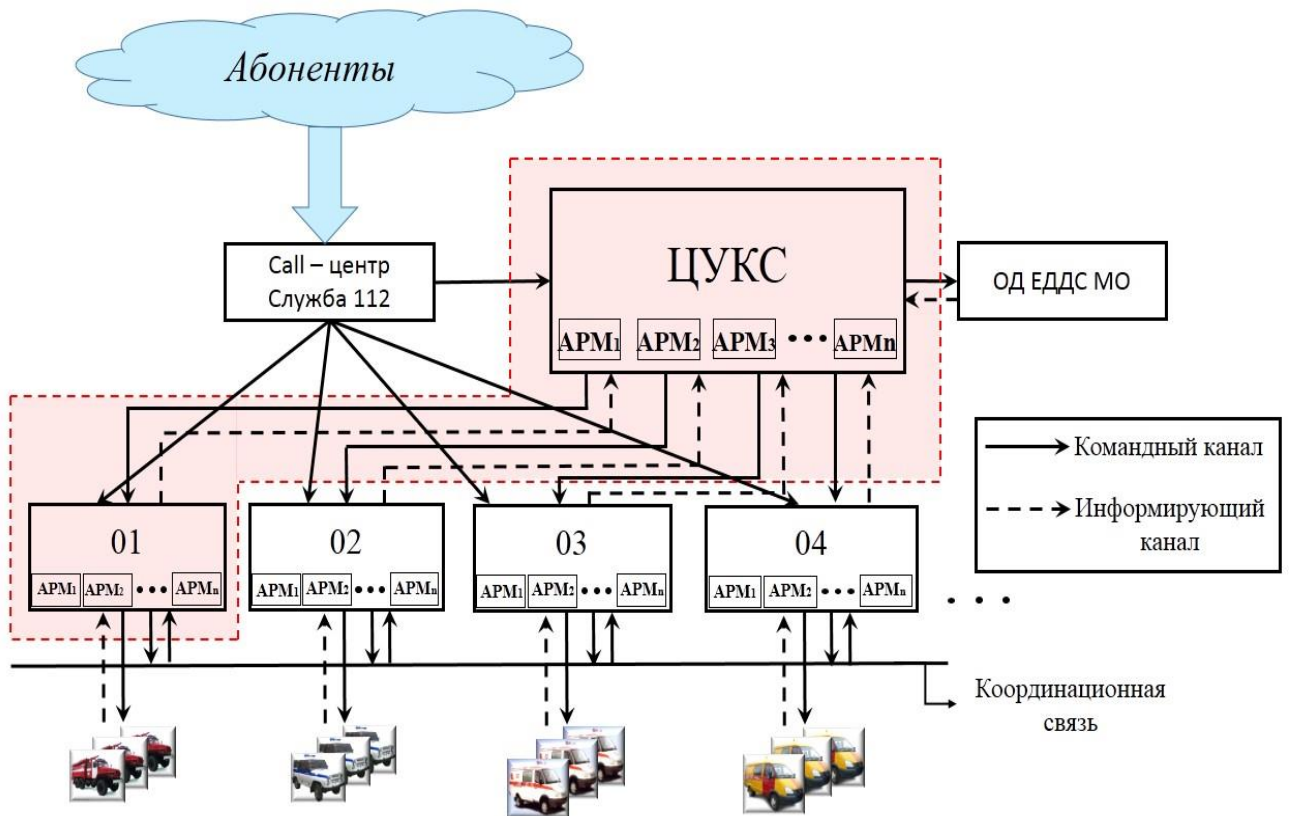


Рисунок 1.9 – Структурная схема Системы-112, развернутая в муниципальном образовании городской округ «Сыктывкар»

МВД по Республике Коми обеспечило техническое оснащение АРМ ДДС органов внутренних дел в 8-ми запланированных муниципальных образованиях Республики Коми.

В 2016 году завершён ввод Системы-112 (рисунок 1.10) в промышленную эксплуатацию в 11-ти муниципальных образованиях Республики Коми, что позволило ввести Систему-112 на всей территории Республики Коми в 4 квартале 2017 года.

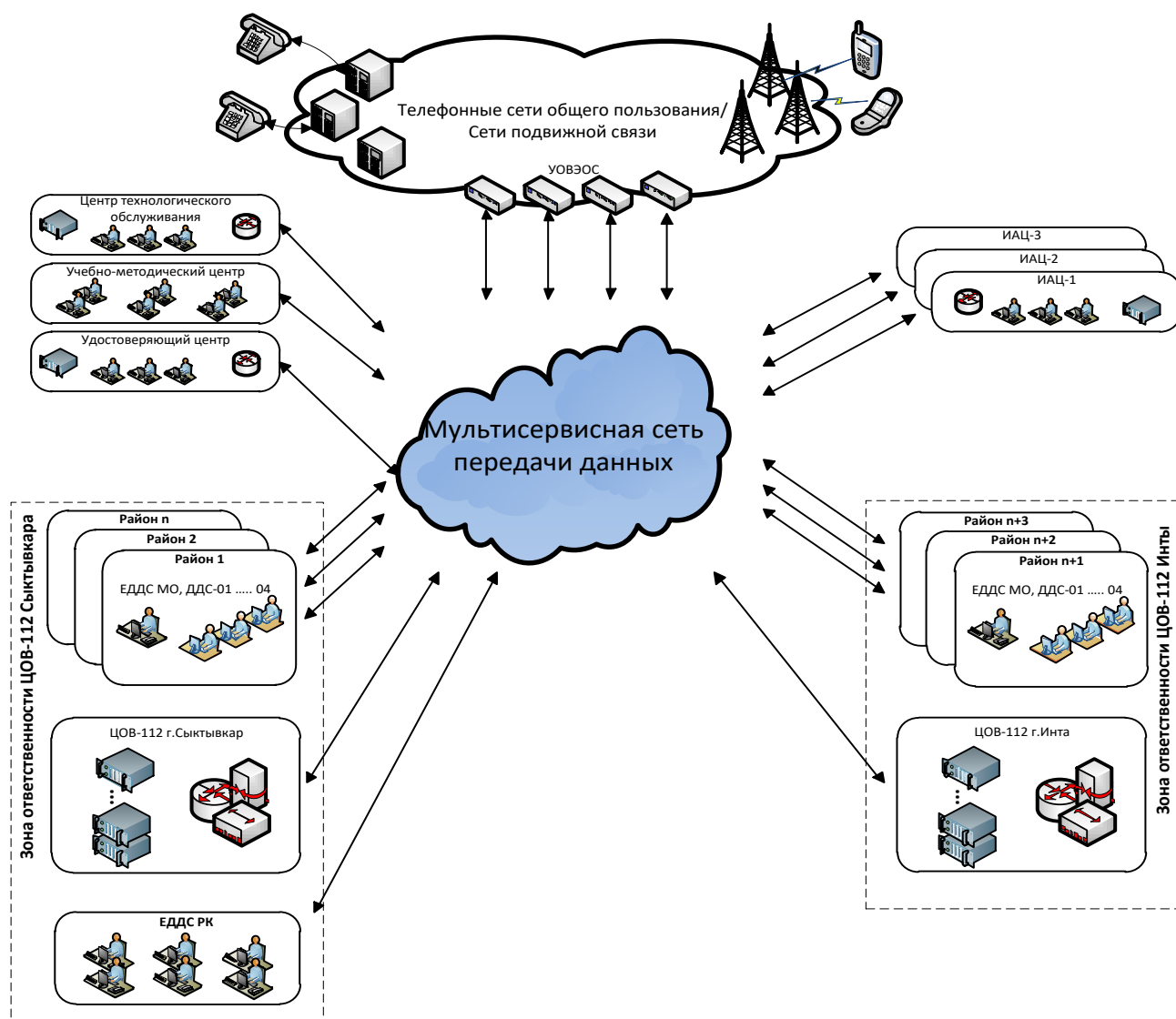


Рисунок 1.10 – Обобщенная схема управления программно-техническим комплексом автоматизированной Системы - 112 на территории Республики Коми

Решением Председателя КЧС и ОПБ Республики Коми эксплуатация

Системы-112 Республики Коми возложена на ГКУ Республики Коми «УПС и ГЗ», подведомственное Комитету по обеспечению мероприятий гражданской защиты Республики Коми.

Следует отметить, что в настоящее время в соответствии с «Методическими материалами по созданию Системы 112 в субъектах Российской Федерации» [22], одним из основных показателей для определения численности персонала Центра обработки вызовов (ЦОВ) Системы-112 является количество населения, проживающего на территории субъекта, обслуживаемого Системой-112. Количество населения Республики Коми по данным Госкомстата России на начало 2018 г. составляло 840 873 человека.

Согласно «Методических материалов по созданию системы обеспечения вызова экстренных оперативных служб по единому номеру 112 в субъекте Российской Федерации», «численность персонала Центра обработки вызовов и сопутствующих служб выбирается в соответствии с таблицами 1.6 и 1.7» [22].

Таблица 1.6 – «Минимальная численность персонала ЦОВ-112, в зависимости от количества населения, проживающего на обслуживаемой территории» [92]

Должность	Минимальная численность персонала, человек (в смене / по штату)				
	до 100 тыс.	от 100 тыс. до 250 тыс.	от 250 тыс. до 500 тыс.	от 500 тыс. до 1 млн.	от 1 млн. до 1.5 млн.
Старший оператор-112	1 / 4	1 / 4	1 / 4	1 / 5	1 / 5
Оператор-112	1 / 5	3 / 16	6 / 28	13 / 58	20 / 90
Системный администратор-112	1 / 5	1 / 5	1 / 5	1 / 5	2 / 10

Таблица 1.7 – «Минимальная численность персонала сопутствующих служб Системы-112, в зависимости от количества населения, проживающего на территории субъекта РФ» [92]

Должность	Минимальная численность персонала, человек (в смене / по штату)				
	до 100 тыс.	от 100 тыс. до 500 тыс.	от 500 тыс. до 1 млн.	от 1 млн. до 3 млн.	от 3 млн.
Переводчик-112	1 / 5	2 / 10	2 / 10	3 / 16	4 / 21
Психолог-112	1 / 5	3 / 16	6 / 28	13 / 58	20 / 90

Структурная схема поддержки принятия решения при управлении Системой -112 на региональном уровне (на примере Республики Коми), основанная на принятии решения по количественным показателям диспетчерской службы Системы – 112, выглядит следующим образом (рисунок 1.11):



Рисунок 1.11 – Структурная схема поддержки принятия решения при управлении Системой – 112 на региональном уровне

Штат ЦОВ-112 составляет 34 человека, в смену заступает 6 человек, среди них 1 психолог. В составе смены есть специалисты, владеющие иностранными языками, режим работы персонала сменный, по 12 часов.

Обучение персонала Системы-112 (рисунок 1.12) проводится на базе Санкт-Петербургского университета ГПС, учебных центров ФГБОУ ДПО «Сыктывкарский учебный центр ФПС», учебного центра ГКУ Республики Коми «УППС и ГЗ», преподаватели которых прошли обучение в Санкт-Петербургском университете ГПС, учебном центре Курской области.

В таблицах 1.8 – 1.10 приведены данные о поступивших сообщениях на номер «112» за 2016 – 2020 гг. Эти данные получены на основе анализа суточных данных о сообщениях, поступающих на номер «112».



Рисунок 1.12 – Основной центр обработки вызовов экстренных оперативных служб по единому номеру «112» (а – структура, б – операторы и АРМ)

В таблице 1.8 приведены данные о поступивших звонках на номер «112» за 2016 год. На рисунке 1.13 представлена гистограмма распределения интенсивности поступающих сообщений (сообщений в час) за 2016 – 2020 годы. Как видно из таблицы 1.8, всего за 2016 год было обработано свыше 150 000 сообщений, что составляет (в среднем) 440 сообщений в сутки или 18,5 сообщений в час. Однако следует заметить, что средняя интенсивность поступающих сообщений неоднородна по месяцам и изменяется от 10,91 сообщений в час (январь-февраль) до 19,91 сообщений в час (май).

За 2017 год (таблица 1.9) поступило более 403 000 сообщений, средняя интенсивность поступающих сообщений изменяется от 35,72 сообщений в час (январь) до 48,96 сообщений в час (ноябрь).

За 2018 год (таблица 1.10) поступило более 406000 сообщений, средняя интенсивность поступающих сообщений изменяется от 40,6 сообщений в час (январь) до 50,76 сообщений в час (октябрь).

Средняя интенсивность поступающих сообщений (вызовов в час) по месяцам исследуемого периода представлена на рисунке 1.13.

Данные за 2019 и 2020 гг. представлены соответственно в таблицах 1.11 и 1.12.

Таблица 1.8 – Данные о поступивших сообщениях на номер 112 в Республике Коми с 26 января по 31 декабря, 2016 год *

Период	Комплексное реагирование	01	02	03	04	ЕДДС	Ложные	Справочные	Повторные	Другие **	Итоговое значение
I-II		196 / 0,14	1611 / 1,12	1790 / 1,24	7 / 0,01	391 / 0,27	8281 / 5,75	2324 / 1,61	1034 / 0,72	69 / 0,05	15703 / 10,91
III		198 / 0,13	1558 / 2,09	1799 / 2,42	4 / 0,01	317 / 0,43	7420 / 9,97	1797 / 2,42	900 / 1,21	27 / 0,04	14020 / 18,84
IV		270 / 0,38	1737 / 2,41	1885 / 2,62	7 / 0,01	273 / 0,38	7188 / 9,98	1720 / 2,39	898 / 1,25	24 / 0,03	14002 / 19,45
V		499 / 0,67	1949 / 2,62	1925 / 2,59	5 / 0,01	307 / 0,41	7003 / 9,41	1946 / 2,62	1145 / 1,54	32 / 0,04	14811 / 19,91
VI		267 / 0,37	1593 / 2,21	1811 / 2,52	5 / 0,01	320 / 0,44	6357 / 8,83	1826 / 2,54	712 / 0,99	17 / 0,02	12908 / 17,93
VII		235 / 0,32	1341 / 1,8	1670 / 2,25	12 / 0,02	254 / 0,34	5961 / 8,01	1729 / 2,32	765 / 1,03	21 / 0,03	11988 / 16,11
VIII		252 / 0,34	1454 / 1,95	1681 / 0,92	7 / 0,01	272 / 0,37	6481 / 8,71	1830 / 2,46	681 / 0,92	50 / 0,07	12708 / 17,1
IX	268 / 0,37	250 / 0,35	1545 / 2,15	1822 / 2,53	6 / 0,01	300 / 0,42	7585 / 10,54	1443 / 2,0	755 / 1,05	30 / 0,04	13736 / 19,08
X	277 / 0,37	217 / 0,29	1709 / 2,3	1850 / 2,49	12 / 0,02	313 / 0,42	7829 / 10,52	1379 / 1,85	1043 / 1,4	10 / 0,01	14362 / 19,3
XI	303 / 0,42	205 / 0,29	1562 / 2,17	1780 / 2,47	23 / 0,03	305 / 0,42	4547 / 6,32	1253 / 1,74	3355 / 4,66	11 / 0,02	13041 / 18,11
XII	434 / 0,58	272 / 0,37	1887 / 2,54	1923 / 2,59	70 / 0,1	383 / 0,52	3887 / 5,23	1242 / 1,67	3970 / 5,34	95 / 0,13	13729 / 18,45
Σ	1282	2861	17946	19937	158	3435	72540	18490	15258	386	151011 / 16,27

* В левой части ячейки количество поступивших сообщений, в правой - значение интенсивности поступающих сообщений (вызовов в час), округленное до сотых. В итоговое значение не включена категория «Комплексное реагирование»

** Категория «другие» включает категории «психологические», «антитеррор», «тест».

Таблица 1.9 – Данные о поступивших сообщениях на номер 112 в Республике Коми в 2017 году *

Период	Комплексное реагирование	01	02	03	04	ЕДДС	Ложные	Справочные	Повторные	Другие **	Итоговое значение
I	1358 / 1,83	623 / 0,84	3405 / 4,58	4479 / 6,02	112 / 0,15	978 / 1,31	4253 / 5,72	5053 / 6,79	7330 / 9,85	341 / 0,46	26574 / 35,72
II	1158 / 1,72	486 / 0,72	3262 / 4,85	3320 / 4,94	129 / 0,19	687 / 1,02	4727 / 7,03	5164 / 7,68	13688 / 20,37	771 / 1,14	32234 / 47,97
III	1354 / 1,82	539 / 0,72	3404 / 4,58	3900 / 5,24	77 / 0,1	920 / 1,24	5348 / 7,19	5626 / 7,56	14951 / 20,1	772 / 1,04	35537 / 47,76
IV	1548 / 2,15	607 / 0,84	3481 / 4,84	3960 / 5,5	72 / 0,1	665 / 0,92	5005 / 6,95	5361 / 7,45	14290 / 19,85	639 / 0,85	34080 / 47,33
V	1804 / 2,43	802 / 1,08	3417 / 4,59	3788 / 5,09	81 / 0,11	528 / 0,71	5297 / 7,12	5230 / 7,03	15163 / 20,38	608 / 0,81	34912 / 46,93
VI	1775 / 2,47	780 / 1,08	3617 / 5,02	3659 / 5,08	107 / 0,15	620 / 0,86	4649 / 6,46	5035 / 6,99	15128 / 21,01	523 / 0,72	34118 / 47,39
VII	1999 / 2,69	991 / 1,33	3786 / 5,09	4027 / 5,41	100 / 0,13	752 / 1,01	4776 / 6,42	5259 / 7,07	13653 / 18,35	472 / 0,64	33816 / 45,45
VIII	1846 / 2,48	844 / 1,13	3800 / 5,11	3994 / 5,37	91 / 0,12	698 / 0,94	4773 / 6,42	4961 / 6,67	14328 / 19,26	362 / 0,49	33851 / 45,5
IX	1640 / 2,28	705 / 0,98	3481 / 4,83	4198 / 5,83	79 / 0,11	979 / 1,36	5100 / 7,08	5251 / 7,29	14619 / 20,3	375 / 0,52	34787 / 48,32
X	1729 / 2,32	654 / 0,88	3836 / 5,16	4861 / 6,53	180 / 0,24	650 / 0,87	5293 / 7,11	5229 / 7,03	13808 / 18,56	369 / 0,5	34880 / 46,88
XI	1504 / 2,09	544 / 0,76	3650 / 5,07	5109 / 7,1	120 / 0,17	787 / 1,09	4746 / 6,59	4978 / 6,91	14886 / 20,68	434 / 0,6	35254 / 48,96
XII	1496 / 2,01	515 / 0,69	3889 / 5,23	5154 / 6,93	103 / 0,14	779 / 1,05	5152 / 6,92	4757 / 6,39	13268 / 17,28	54 / 0,07	33671 / 45,26
Σ	19211	8090	43028	50449	1251	9043	59119	61904	165112	5718	403714 / 46,12

* В левой части ячейки количество поступивших сообщений, в правой - значение интенсивности поступающих сообщений (вызовов в час), округленное до сотых. В итоговое значение не включена категория «Комплексное реагирование».

** Категория «другие» включает категории «психологические», «злонамеренные», «антитеррор», «тест».

Таблица 1.10 – Данные о поступивших сообщениях на номер 112 в Республике Коми в 2018 году *

Период	Комплексное реагирование	01	02	03	04	ЕДДС	Ложные	Справочные	Повторные	Другие **	Итоговое значение
I	1332 / 1,79	477 / 0,64	3493 / 4,69	5374 / 7,22	101 / 0,14	740 / 0,99	4218 / 5,67	4117 / 5,53	11600 / 15,59	103 / 0,2	30217 / 40,6
II	1170 / 1,74	426 / 0,63	3442 / 5,12	4767 / 7,09	91 / 0,14	668 / 0,99	4103 / 6,11	4057 / 6,04	10601 / 15,78	69 / 0,1	28219 / 41,99
III	1349 / 1,81	529 / 0,71	3902 / 5,24	5647 / 7,59	89 / 0,12	853 / 1,15	4546 / 6,11	4512 / 6,06	12237 / 16,45	54 / 0,07	32360 / 43,49
IV	1638 / 2,28	658 / 0,91	4131 / 5,74	6308 / 8,76	120 / 0,17	1212 / 1,68	4857 / 6,75	4986 / 6,93	13884 / 19,28	55 / 0,07	36205 / 50,28
V	1850 / 2,49	832 / 1,12	4352 / 5,84	6017 / 8,09	112 / 0,15	812 / 1,09	5192 / 6,98	5262 / 7,07	12728 / 17,11	31 / 0,04	35328 / 47,48
VI	17,64 / 2,45	684 / 0,95	4317 / 6,0	5786 / 8,04	95 / 0,13	797 / 1,11	4923 / 6,84	5073 / 7,05	12240 / 17,00	31 / 0,04	33939 / 47,14
VII	1991 / 2,68	880 / 1,18	4328 / 5,82	5705 / 7,67	99 / 0,13	896 / 1,2	4699 / 6,32	4961 / 6,67	12515 / 16,82	33 / 0,04	34112 / 45,85
VIII	2064 / 2,77	751 / 1,01	4040 / 5,43	5689 / 7,65	160 / 0,22	611 / 0,82	4665 / 6,27	4825 / 6,49	13261 / 17,82	136 / 0,18	34022 / 45,73
IX	1953 / 2,63	699 / 0,94	4137 / 5,56	5957 / 8,01	91 / 0,12	920 / 1,24	5238 / 7,04	4834 / 6,5	15096 / 20,29	185 / 0,25	36996 / 49,73
X	1801 / 2,5	516 / 0,72	4165 / 5,78	5984 / 8,31	147 / 0,2	812 / 1,13	5318 / 7,39	5167 / 7,18	14410 / 20,01	366 / 0,51	36547 / 50,76
XI	1647 / 2,21	488 / 0,66	4076 / 5,48	5781 / 7,77	154 / 0,21	959 / 1,29	4862 / 6,53	4789 / 6,44	13495 / 18,14	461 / 0,64	34644 / 46,56
XII	1688 / 2,27	461 / 0,62	4338 / 5,83	6079 / 8,17	167 / 0,22	916 / 1,23	5013 / 6,74	4754 / 6,39	11867 / 15,95	373 / 0,5	33633 / 45,21
Σ	20247	7401	48711	69094	1426	10196	57634	57337	153934	1897	406222

* В левой части ячейки количество поступивших сообщений, в правой - значение интенсивности поступающих сообщений (вызовов в час), округленное до сотых. В итоговое значение не включена категория «Комплексное реагирование».

** Категория «другие» включает категории «психологические», «злонамеренные», «антитеррор», «тест», «SMS», «ЭРА – ГЛОНАСС»

Таблица 1.11 – Данные о поступивших сообщениях на номер 112 в Республике Коми в 2019 году *

Период	Комплексное реагирование	01	02	03	04	ЕДДС	Ложные	Справочные	Повторные	Другие **	Итоговое значение
I	1732/2,33	488/0,66	4271/5,74	7622/1025	187/0,25	1014/1,36	4440/5,97	4604/6,19	11703/15,73	36/0,06	34365/46,19
II	2378/3,54	439/0,65	4088/6,08	8261/12,29	150/0,22	1136/1,69	4434/6,6	4333/6,45	12508/18,61	37/0,06	35386/52,66
III	3126/4,2	501/0,67	4698/6,32	7816/10,51	161/0,22	1496/2,01	4989/6,71	4458/5,99	14200/19,09	58/0,08	38377/51,58
IV	1949/2,71	498/0,69	4217/5,86	6713/9,32	119/0,17	883/1,23	4987/6,93	4227/5,87	11900/16,53	48/0,07	33592/46,66
V	2436/3,27	885/1,19	4367/5,87	7044/9,47	154/0,21	1116/1,5	5431/7,3	4518/6,07	13287/17,86	26/0,04	36828/49,5
VI	1972/2,74	617/0,86	4054/5,63	6424/8,92	141/0,19	1097/1,52	4845/6,73	4262/5,92	11371/15,79	24/0,03	32835/45,6
VII	2090/2,9	580/0,81	4298/5,97	6585/9,15	153/0,21	1108/1,49	4925/6,62	4165/5,6	12155/16,34	91/0,12	34060/45,78
VIII	1846/2,48	581/0,78	3868/5,2	6251/8,4	131/0,18	963/1,29	4727/6,35	4053/5,45	13108/17,62	56/0,08	33738/45,35
IX	1772/2,46	528/0,73	4005/5,56	6611/9,18	106/0,15	1102/1,53	5323/7,39	4050/5,63	11220/15,58	61/0,09	33006/45,84
X	1835/2,47	452/0,61	4014/5,4	6840/9,19	218/0,29	905/1,22	5705/7,67	4218/5,67	12309/16,54	89/0,12	34750/46,71
XI	1830/2,54	463/0,64	4056/5,63	7246/10,06	288/0,39	1153/1,6	5199/7,22	4200/5,83	12989/18,04	42/0,06	35636/49,5
XII	1812/2,44	440/0,59	4652/6,25	7776/10,45	171/0,23	1040/1,4	5481/7,37	4444/5,97	13411/18,03	61/0,08	37476/50,37
Σ	24778	6472	50588	85189	1979	13013	60486	51532	150161	629	420049

* В левой части ячейки количество поступивших сообщений, в правой - значение интенсивности поступающих сообщений (вызовов в час), округленное до сотых. В итоговое значение не включена категория «Комплексное реагирование».

** Категория «другие» включает категории «психологические», «злонамеренные», «антитеррор», «тест», «SMS»

Таблица 1.12 – Данные о поступивших сообщениях на номер 112 в Республике Коми в 2020 году *

Период	Комплексное реагирование	01	02	03	04	ЕДДС	Ложные	Справочные	Повторные	Другие **	Итоговое значение
I	1741/ 2,34	391/0,53	4623/6,21	8285/11,14	168/0,23	1053/1,42	5021/6,75	4490/6,03	12450/1673	1206/1,62	39428/52,99
II	1590/ 2,28	363/0,52	4200/6,03	7507/10,79	134/0,19	1131/1,63	5072/7,29	4219/6,06	11643/16,73	1013/1,46	36872/52,98
III	1789/ 2,4	435/0,58	4477/6,02	8735/11,74	151/0,2	1345/1,81	5056/6,8	5415/7,28	13482/18,12	1197/1,62	42082/56,56
IV	1442/ 2,0	430/0,60	4665/6,48	7827/10,87	145/0,2	1375/1,91	4249/5,9	6085/8,45	13508/18,76	1165/1,61	40891/56,79
V	2025/ 2,72	676/0,91	5210/7,0	7274/9,78	134/0,18	1285/1,73	4743/6,38	5603/7,53	12879/17,31	805/1,08	40634/54,62
VI	1760/ 2,44	582/0,81	4282/5,95	7306/10,15	139/0,19	924/1,28	4501/6,25	5238/7,28	11542/16,03	949/1,32	37223/51,7
VII	2034/ 2,73	684/0,92	4891/6,57	7568/10,17	138/0,19	1112/1,49	4153/5,58	5609/7,54	10621/14,28	771/1,04	37581/50,51
VIII	1808/ 2,43	612/0,82	4348/5,84	7546/10,14	184/0,25	955/1,28	3540/4,76	5531/7,43	12180/16,37	610/0,82	37314/50,15
IX	1773/ 2,46	561/0,78	4167/5,79	8005/11,12	190/0,26	1134/1,58	3434/4,77	5581/7,75	8165/11,34	534/0,74	33544/46,59
X	1721/ 2,31	480/0,65	4423/5,94	9821/13,20	166/0,22	846/1,14	3516/4,73	5782/7,77	11203/15,06	648/0,87	38606/51,89
XI	1555/2,16	462/0,64	3935/5,47	9889/13,73	148/0,21	820/1,14	3039/4,22	5452/7,57	11961/16,61	333/0,46	37594/52,21
XII	1685/ 2,26	551/0,74	4281/5,75	8270/11,12	150/0,2	1147/1,54	3126/4,2	5754/7,73	13894/18,76	458/0,62	39316/52,84
Σ	20923	6227	53502	98033	1847	13127	49450	64759	143528	9689	461085

* В левой части ячейки количество поступивших сообщений, в правой - значение интенсивности поступающих сообщений (вызовов в час), округленное до сотых. В итоговое значение не включена категория «Комплексное реагирование».

** Категория «другие» включает категории «психологические», «злонамеренные», «антитеррор», «тест», «SMS»

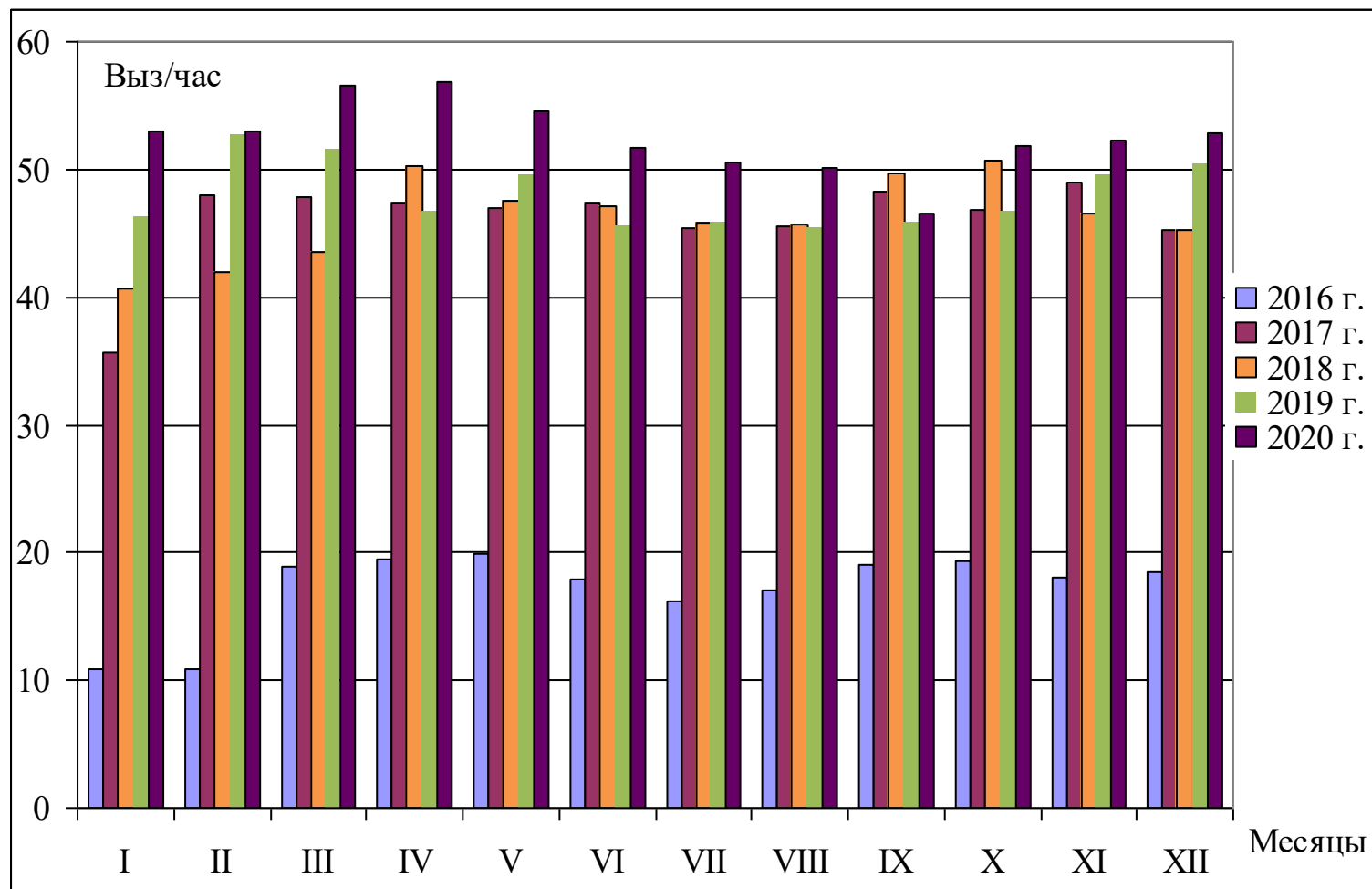


Рисунок 1.13 – Средняя интенсивность поступающих сообщений (вызовов в час) за 2016 – 2020 гг. *

* 2016 год – год ввода системы в эксплуатацию

1.5 Анализ исследований в области организации и управления экстренными оперативными службами

В исследованиях, проводимых в рассматриваемой области, предлагались различные пути решения задач, связанных с повышением оперативности реагирования на возможные ЧС и происшествия техногенного и природного характера.

Значительное внимание уделялось размещению сил и средств пожарной охраны, а также моделированию оперативной деятельности пожарной службы [35, 36, 68].

Особое место занимают исследования [34, 62, 76-78, 94-97], которые дают статистическое обоснование и являются основой для работ, связанных с планированием, управлением и моделированием большинства процессов, протекающих в службах реагирования на пожары, происшествия и ЧС.

В качестве решающего показателя оперативности реагирования рассматривалось время прибытия первых подразделений сил и средств реагирования и оптимизация границ районов их передвижения [33]. Решение первой задачи позволяло, применительно к определению оптимальных границ передвижения подразделений, значительно упростить математическую модель и свести ее к геометрической формулировке, решение второй задачи учитывало неоднородность уровня опасности объектов, степень их огнестойкости, категоричность по взрывопожарной и пожарной опасности и обеспечивало гибкое реагирование на изменение оперативной обстановки.

Кроме того, в последнее время актуальной стала задача обеспечения безопасности индустриальных парков. Закономерности поступления и обслуживания сообщений в диспетчерских службах систем безопасности индустриальных парков рассматривались в работе [79].

В комплексе этих задач самостоятельное значение приобретают вопросы повышения оперативности функционирования дежурно-диспетчерских служб и обоснования их количественных характеристик как центров обеспечения

безопасности.

В работе [126] рассматривается модель M/M/S – многоканальной системы массового обслуживания с ожиданием и бесконечным числом источников для необходимого числа операторов в каждый час суток в диспетчерском пункте экстренной службы «911». В указанной работе предполагается, что входящий поток вызовов подчиняется закону Пуассона, а время обслуживания вызовов – экспоненциальному закону, все каналы обслуживания имеют одинаковые характеристики и обслуживание вызовов осуществляется в порядке их поступления. Рассматривается возможность обслуживания вызовов с приоритетом, когда необходимо минимизировать время обслуживания наиболее важных требований. Показано, что экстренные службы имеют различное количество входящих сообщений, не требующих экстренного обслуживания.

В работе [128] представлена модель оперативного управления системами экстренного обслуживания населения как систем с очередями. Предлагается автоматизация диспетчерского пункта на основе децентрализации. Приводится критерий для обоснования величины вероятности отказа, исходя из затрат на создание диспетчерского пункта. Однако следует заметить, что в настоящее время используются критерии, устанавливаемые нормативными документами, поскольку везде, где идет речь о спасении жизни людей, экономический критерий не является основополагающим.

В работе [129] исследуются вопросы совершенствования деятельности диспетчеров пожарно-спасательной службы. Рассматриваются основные характеристики функционирования диспетчерского пункта на примере г. Москвы. Диспетчерский пункт рассматривается как многоканальная система массового обслуживания с отказами в предположении, что число линий связи совпадает с числом диспетчеров. В качестве рекомендаций по уменьшению вероятности отказа в обслуживании предлагается создать диспетчерский пункт с ограничением на время ожидания или длину очереди.

В работах [49, 98, 99] рассматриваются вопросы «совершенствования приема и обслуживания вызовов, поступающих в экстренные службы на основе

интеграции экстренных служб и создания единого диспетчерского пункта», оцениваются вероятностные характеристики функционирования такого пункта. На основе разработанных алгоритмов и программ оценивается возможность интеграции диспетчерских пунктов экстренных служб административного округа г. Москвы.

В работах [82, 103-107, 112, 114, 120-124] исследовалось поступление и формирование потоков сообщений в диспетчерские службы и моделировалось их обслуживание при условиях, отличных от стандартных допущений («входной поток пуассоновский – закон обслуживания экспоненциальный»). Для этого применялись методы статистической идентификации и статистических испытаний. На основании проведенного моделирования получены аналитические зависимости для аппроксимации результирующей функции распределения при слиянии потоков, имеющих различные законы распределения. Исследованы закономерности обслуживания в одноканальной СМО без очереди и с бесконечной очередью простейшего потока, регулярного потока и потока с равномерно распределенным временем между событиями.

Разработке и совершенствованию моделей и методик управления высылкой сил и средств пожарной охраны на региональном уровне, а также повышению устойчивости работы центров обработки сообщений в периоды наибольшей нагрузки посвящены работы [101, 102, 105]. При этом решались задачи «разработки моделей двухфазного обслуживания сообщений и процесса «дозвона» при большой загруженности сети» [101].

«Выбор рационального количества линий связи и диспетчеров» обосновывался в работах [32, 66, 93, 110, 111, 113, 115, 129 - 133] при оптимизации управления оперативной деятельностью гарнизонов пожарной охраны городов с численностью населения до 500 000 человек. Предложенная в этих работах методика является оригинальной и учитывает такие основные особенности функционирования диспетчерских служб, как ограниченную аппаратную надежность технических средств и утомляемость операторов.

Проблемы организации информационного взаимодействия дежурно-

диспетчерских служб экстренных оперативных служб в процессе создания системы-112 рассматривались в работах [52, 90-92, 100].

Математическое описание функционирования ДДС, как показал анализ вышеперечисленных работ, может быть успешно представлено в виде моделей, которые обладают вероятностным характером распределения поступающих сообщений на обслуживание и вероятностным характером обслуживания.

Основная идея использования таких моделей при принятии управленческих решений состоит в определении необходимого количества элементов ДДС (каналов обслуживания, их необходимого быстродействия и порядка работы, количества фаз обслуживания), при котором будет гарантировано с заданной вероятностью минимальное время ожидания для обслуживания поступающего сообщения, или вероятность отказа в немедленном обслуживании не превысит установленного значения.

Большинство моделей, разработанных в анализируемых работах, строится на том допущении, что потоки сообщений являются стационарными пуассоновскими, а время обслуживания описывается показательным законом распределения.

Проведенный анализ работ в области организации служб оперативного реагирования показал, что, несмотря на многочисленные исследования и отдельные решения, отсутствуют расчетные нормативные документы и не существует однозначных рекомендаций, позволяющих рационально обосновать количественные характеристики АРМ в ДДС. Предпринимались попытки разработки методик, позволяющих рассчитать количество операторов и линий связи, но в этом случае не учитывались особенности функционирования ДДС в рамках Системы – 112, но в настоящее время нормативные документы с соответствующими расчетными методиками отсутствуют.

Таким образом, разработка моделей и алгоритмов поддержки управления системой вызова экстренных служб на региональном уровне, позволяющих повысить эффективность ее функционирования, является целью данной работы и способствует решению актуальной задачи – совершенствованию управления

системой вызова экстренных служб на региональном уровне, имеющей существенное значение для повышения уровня защищенности объектов национальной экономики, собственности и жизни граждан от угроз техногенного и природного характера.

Выводы по первой главе

1. Рассмотрена организация зарубежных систем экстренного реагирования – американской, европейской и др. экономически развитых стран. Установлено, что в зарубежных системах широко используется трёхзначный номер единого call-центра с последующей переадресацией в соответствующие экстренные службы. Проанализирована традиционная советская и российская система связи абонентов с экстренными службами «01» - «04» по двузначному номеру. Показано, что в регионах Российской Федерации (в частности, Республике Коми) внедряется современная двухуровневая Система-112, позволяющая повысить оперативность и минимизировать ущерб от пожаров и ЧС природного и техногенного характера, в соответствии с требованиями нормативных документов [2-28].

2. Установлено, что современные диспетчерские службы являются двухуровневыми системами и принципиально отличаются от существовавшей ранее системы приема и обработки сообщений. Их особенность заключается в том, что абонент сначала связывается с call-центром, диспетчер которого переадресовывает звонок в соответствующую экстренную службу, что и позволяет координировать действия нескольких экстренных служб. По результатам анализа работы Системы–112 на территории РФ сделан вывод о том, что по аналогии с зарубежными системами она также является двухуровневой.

3. В результате проведенного анализа современного состояния управления службами экстренного реагирования установлено, что необходимым является повышение эффективности функционирования Системы-112, и для реализации этого следует решить ряд задач, таких как:

- разработать математическую модель дежурно-диспетчерской службы, учитывающую связь вероятностных характеристик с количественными показателями и двухуровневый характер обслуживания поступающих сообщений;
- разработать математическую модель дежурно-диспетчерской службы как многоканальной системы массового обслуживания с ограниченным временем ожидания абонентов;

- разработать методику обеспечения устойчивой работы дежурно-диспетчерской службы в системе экстренного реагирования.

Это, в свою очередь, позволит исследовать работу Системы-112, как на этапе проектирования, так и при совершенствовании ее функционирования.

4. Проведен анализ работ в области организации служб оперативного реагирования. Установлено, что, несмотря на многочисленные исследования и отдельные решения [32, 61, 66, 92, 93, 110, 111, 113, 115], не существует рекомендаций, позволяющих рационально обосновать количественные характеристики Центра обработки вызовов Системы - 112.

5. Таким образом, разработка моделей и алгоритмов поддержки управления системой вызова экстренных служб на региональном уровне, позволяющих повысить эффективность ее функционирования, является целью данной работы и способствует решению актуальной задачи – совершенствованию управления системой вызова экстренных служб на региональном уровне, имеющей существенное значение для повышения уровня защищенности объектов национальной экономики, собственности и жизни граждан от угроз техногенного и природного характера.

ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДЕЖУРНО-ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СЛУЖБЫ СИСТЕМЫ-112

В главе показано, что диспетчерские службы (ДС) систем экстренного реагирования, которой является и Центр обработки вызовов, могут быть описаны с использованием математического аппарата ТМО. При этом ДС рассматривается в качестве СМО. Излагаются основные положения ТМО, позволяющие решать практические задачи по моделированию работы ДС. Приводятся математические модели двухуровневой СМО, соответствующей «Системе-112» с call-центром, и СМО с «нетерпеливыми» заявками, а также построенные по этим моделям номограммы, позволяющие решать задачи синтеза обоих видов СМО.

2.1 Основные положения, используемые при моделировании

В общепринятом понимании [29-32, 36, 38, 40, 41, 44-51, 55, 59, 60, 65, 67, 70, 71, 72, 75, 80, 83, 85, 86, 88, 89] СМО – это система, содержащая один или несколько (n) каналов обслуживания (КО), в которые от источника (источников) заявок (ИЗ) поступает *входной поток* заявок, и там принимаются к обслуживанию либо немедленно, либо после ожидания в m -мерном накопителе. Обслуживание заявок в КО может происходить либо индивидуально (т.е. каждый КО обслуживает принятую заявку самостоятельно), либо имеет место взаимопомощь каналов (ВПК). По мере окончания обслуживания в КО заявки покидают СМО, образуя *выходной поток*. Пример временной диаграммы работы показан на рисунке 2.1 [32], а классификация СМО приведена на рисунке 2.2 [32]. Примеры СМО и КО приведены в таблице 2.1 [32]. Следует заметить, что некоторые авторы именуют КО *приборами, линиями* или *узлами* обслуживания, а заявки – *требованиями, сигналами, сообщениями, клиентами* и т.п.

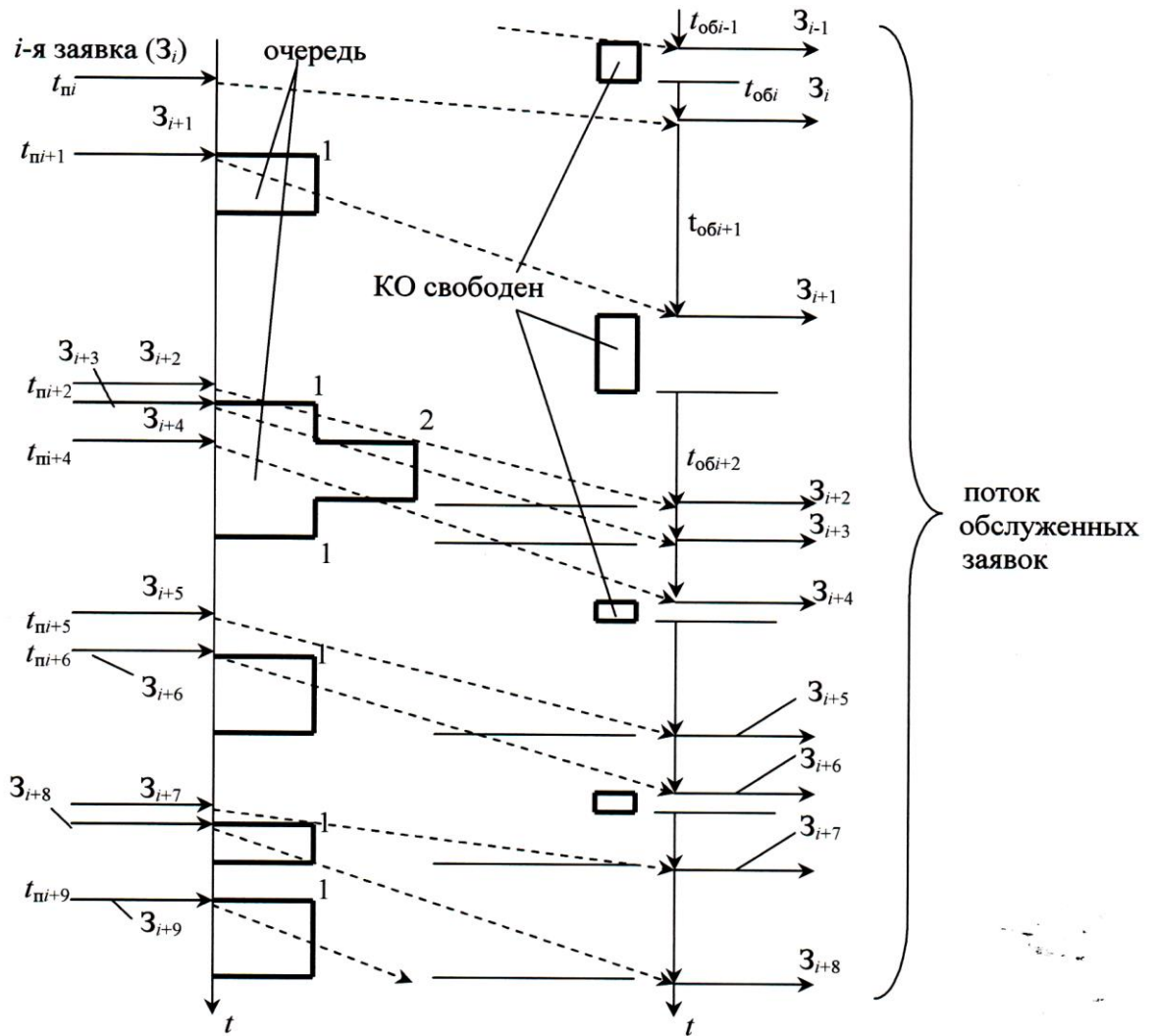


Рисунок 2.1 – Временная диаграмма работы СМО



Рисунок 2.2 – Примерная классификация СМО

Таблица 2.1 – Примеры СМО, потоков заявок и КО

№ п/п	СМО	Поток заявок	КО
1	Технологический процесс	Сигналы с АСУТП	Аварийно-наладочные бригады (АНБ)
2	Диспетчерский пункт (ДП)	Сообщения, вызовы	Операторы
3	Ликвидация аварийной ситуации (пожара)	Сообщения с участков (боевых) работ	Руководитель проведения работ (тушения пожара – РТП)
4	Организация, предприятие	Внешняя информация, указания руководителя	Руководитель; начальники подразделений; лицо, принимающее решения (ЛПР)

Применительно к задачам пожарной охраны [33, 36, 61, 96, 98] и систем безопасности (СБ) в целом [79, 82, 92, 102, 103, 108, 114, 118] чаще всего используются незамкнутые и замкнутые СМО (а иногда и смешанные), схемы которых представлены на рисунке 2.3. Незамкнутые СМО (рисунок 2.3а) характеризуются наличием неограниченного ИЗ (например, абоненты крупного города) и, как правило, накопителем; замкнутые СМО (рисунок 2.3б) – несколькими (числом N) ИЗ, когда, например, N автоматизированных рабочих мест (АРМ) в ДП обслуживаются n ($<N$) аварийно-наладочными бригадами (АНБ). Смешанные СМО (рисунок 2.3в), представляющие собой, например, ДДС, характеризуются наличием неограниченного ИЗ (например, абоненты города) и N других ИЗ (например, производственные объекты, сигналы с которых выводятся на пульт диспетчера). В незамкнутой или смешанной СМО, если накопитель переполнен, заявки покидают СМО, образуя "отказной" поток. В замкнутой СМО отказанной поток, как правило, отсутствует.

Одним из важных допущений, используемых в ТМО [29-32], является то, что события в СМО (поступление-обслуживание заявок) являются *марковскими*, а конкретно - *стационарными* (т.е. на любом случайно взятом отрезке времени работы СМО характеристики процессов одинаковы), *ординарными* (в один момент времени происходит только одно событие) и *без последствия* (из какого-либо состояния S_i СМО она может переходить в другое состояние только при поступлении заявки или завершения обслуживания в КО). Такие потоки событий (поступление-обслуживание заявок) являются *простейшими*, что соответствует экспоненциальному закону [29, 32, 75, 81] распределения промежутков времени Δt между событиями с плотностью [59]:

$$\varphi(\Delta t) = \Lambda e^{-\Lambda \Delta t}, \tag{2.1}$$

где $\Lambda = \text{const}$ - параметр распределения, называемый также *частотой* потока событий.

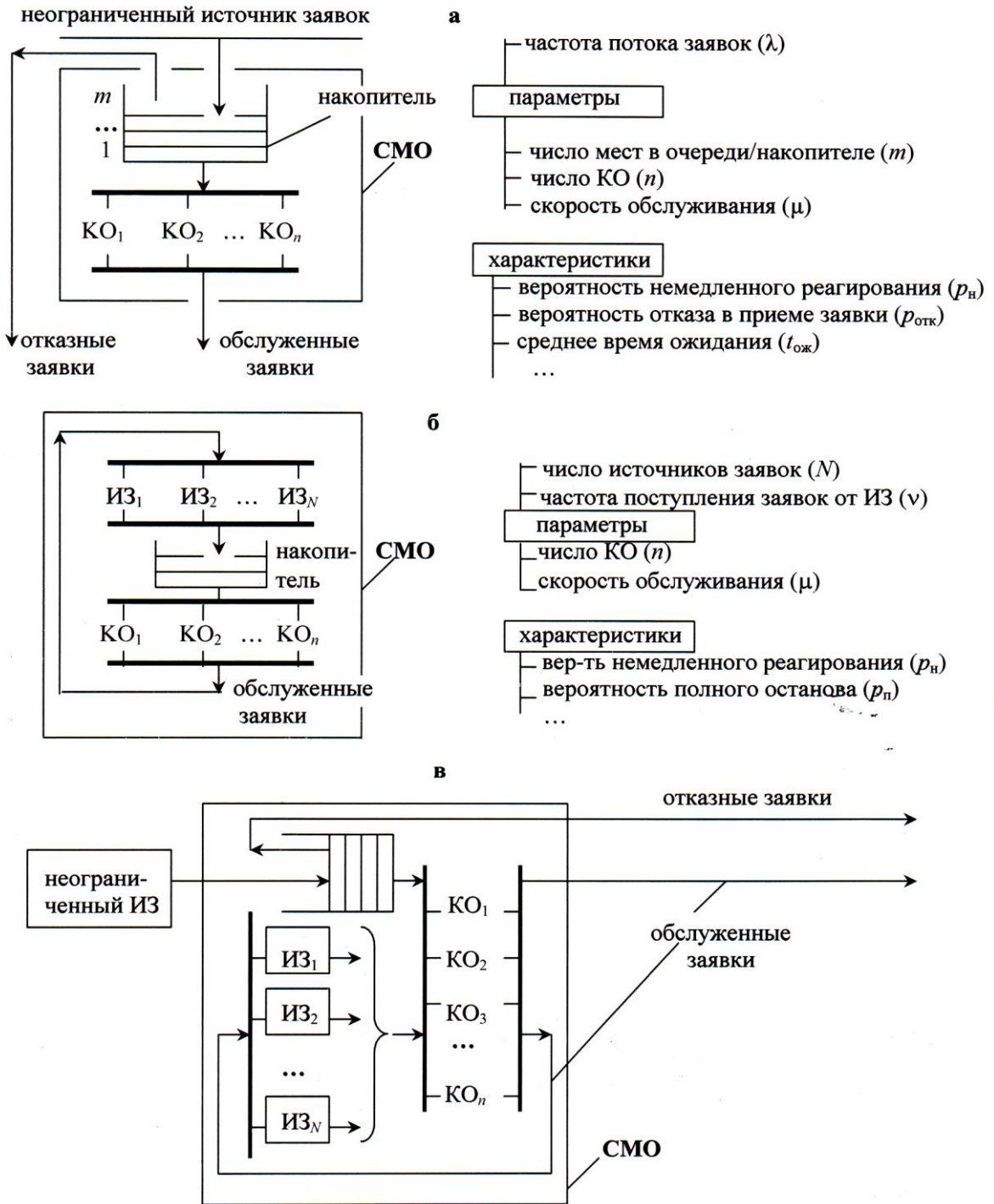


Рисунок 2.3 – Условное представление незамкнутой (а), замкнутой (б) и смешанной (в) СМО

В случае входного потока заявок

$$\Lambda = \lambda = 1 / t_3 \quad (2.2)$$

(где λ – интенсивность/частота поступления заявок, t_3 - среднее время между поступлением заявок). В случае обслуживания заявок

$$\Lambda = \mu = 1 / t_{об} \quad (2.3)$$

(μ – интенсивность/скорость обслуживания заявок, $t_{об}$ - среднее время обслуживания).

Важное свойство простейшего потока событий заключается в том, что при слиянии нескольких простейших потоков суммарный поток также является простейшим с частотой, равной сумме частот каждого из потоков [29,32,40,54,78]:

$$\Lambda = \Lambda_1 + \Lambda_2 + \Lambda_3 + \dots \quad (2.4)$$

На рисунке 2.4 представлен граф переходов из одного состояния в другое состояние для простой СМО [32]. Полагая, что каждое состояние S_i характеризуется вероятностью p_i нахождения СМО в нём, а общее число состояний $C+1$. цепочному графу переходов (рисунок 2.4) соответствует система линейных алгебраических уравнений [29,32]:

$$\begin{cases} p_0 = -\lambda_0 p_0 + \mu_1 p_1, \\ p_i = \lambda_{i-1} p_{i-1} - (\lambda_i + \mu_i) p_i + \mu_{i+1} p_{i+1}, \quad i \in [1, C-1], \\ p_C = \lambda_{C-1} p_{C-1} - \mu_C p_C. \end{cases} \quad (2.5)$$

Система уравнений (2.5) имеет аналитическое решение [31,102]:

$$p_0^{-1} = 1 + \sum_{k=1}^C \prod_{i=1}^k \frac{\lambda_{i-1}}{\mu_i}, \quad (2.6)$$

$$p_k = p_0 \prod_{i=1}^k \frac{\lambda_{i-1}}{\mu_i}, k \in [1, C]. \quad (2.7)$$

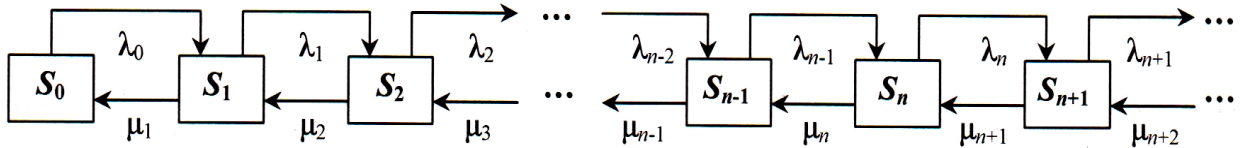


Рисунок 2.4 – Обобщенный граф переходов для простой СМО

Для незамкнутых и замкнутых СМО с ВПК и без графы переходов приведены на рисунке 2.5 [32], а соответствующие им вероятности состояний СМО (таблица 2.2).

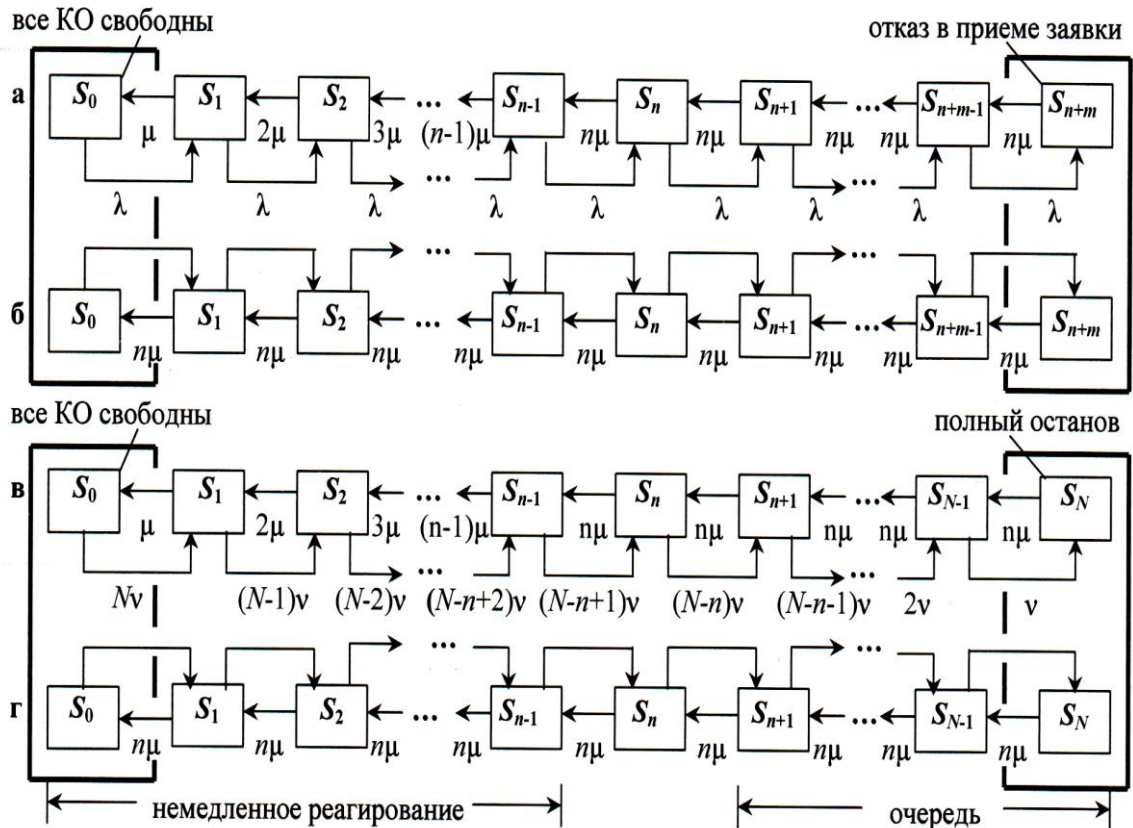


Рисунок 2.5 – Графы переходов для незамкнутой СМО с m -местной очередью без ВПК (а) и с ВПК (б) и для замкнутой СМО без ВПК (в) и с ВПК (г) соответственно

Таблица 2.2 – Сводная таблица состояний простых СМО

Вид	{S}	СМО без ВПК		СМО с ВПК		Оче- редь	N _o
		p _i	n _к	p _i	n _к		
1	2	3	4	5	6	7	8
н е з а м к н у т а я	S ₀	$p_0^{-1} = \sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\rho \alpha^n (1 - \rho^m)}{n!(1 - \rho)}$	0	$p_0 = (1 - \rho) / (1 - \rho^{n+m+1})$	0	0	-
	S ₁	$p_1 = p_0 \alpha$	1	$p_1 = p_0 \rho$	n		
	S ₂	$p_2 = p_0 \alpha^2 / 2$	2	$p_2 = p_0 \rho^2$			
	S ₃	$p_3 = p_0 \alpha^3 / 6$	3	$p_3 = p_0 \rho^3$			
			
	S _{n-1}	$p_{n-1} = p_0 \alpha^{n-1} / (n-1)!$	n-1	$p_{n-1} = p_0 \rho^{n-1}$			
	S _n	$p_n = p_0 \alpha^n / n!$	n	$p_n = p_0 \rho^n$		1	
	S _{n+1}	$p_{n+1} = p_0 \alpha^{n+1} n^{-1} / n!$		$p_{n+1} = p_0 \rho^{n+1}$		2	
	S _{n+2}	$p_{n+2} = p_0 \alpha^{n+2} n^{-2} / n!$		$p_{n+2} = p_0 \rho^{n+2}$...	
		m-1	
	S _{n+m-1}	$p_{n+m-1} = p_0 \alpha^{n+m-1} n^{-m+1} / n!$		$p_{n+m-1} = p_0 \rho^{n+m-1}$		m	
S _{n+m}	$p_{n+m} = p_0 \alpha^{n+m} n^{-m} / n!$	$p_{n+m} = p_0 \rho^{n+m}$					

Примечания: $N_o = N - M_3$ - число "молчащих" ИЗ; $\alpha = \lambda / \mu$ - приведённая нагрузка; $\rho = \alpha / n$ - нагрузка на КО; $B = v / \mu n$; v - частота заявок от ИЗ замкнутой СМО; $b = v / \mu$;

$$C_N^k = \frac{N!}{k!(N-k)!}$$

Таблица 2.2 – продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	
з а м к н у т а я	S_0	$p_0^{-1} = \sum_{k=0}^n C_N^k b^k + \frac{n^n}{n!} \sum_{k=n+1}^N C_N^k k! B^k$	0	$p_0^{-1} = N! \sum_{k=0}^N \frac{B^k}{(N-k)!}$	0	0	N	
	S_1	$p_1 = p_0 N b$	1	$p_1 = p_0 N B$	n		$N-1$	
	S_2	$p_2 = p_0 C_N^2 b^2$	2	$p_2 = p_0 N(N-1) B^2$			$N-2$	
	S_3	$p_3 = p_0 C_N^3 b^3$	3	$p_3 = p_0 N(N-1)(N-2) B^3$			$N-3$	
	
	S_{n-1}	$p_{n-1} = p_0 C_N^{n-1} b^{n-1}$	$n-1$	$p_{n-1} = p_0 N! B^{n-1} / (N-n+1)!$			$N-n+1$	
	S_n	$p_n = p_0 C_N^n b^n$	n	$p_n = p_0 N! B^n / (N-n)!$			$N-n$	
	S_{n+1}	$p_{n+1} = p_0 n^n C_N^{n+1} b^{n+1} (n+1)! / n!$		$p_{n+1} = p_0 N! B^{n+1} / (N-n-1)!$			1	$N-n-1$
	S_{n+2}	$p_{n+2} = p_0 n^n C_N^{n+2} b^{n+2} (n+2)! / n!$		$p_{n+2} = p_0 N! B^{n+2} / (N-n-2)!$			2	$N-n-2$

	S_{N-1}	$p_{N-1} = p_0 n^n N b^{N-1} (N-1)! / n!$		$p_{N-1} = p_0 N! B^{N-1}$			$N-n-1$	1
	S_N	$p_N = p_0 n^n b^N N! / n!$		$p_N = p_0 N! B^N$			$N-n$	0

Вероятности состояний $\{p\}$ обуславливают основные характеристики СМО – вероятность незанятости КО - p_0 ; вероятность немедленного приёма заявки к обслуживанию p_n ; средняя длина очереди - $m_{оч}$; среднее время ожидания заявки в очереди - $t_{ож}$; среднее число обслуживаемых заявок - M_3 ; среднее число задействованных КО - n_K ; вероятность отказа в приёме заявки $p_{отк}$ (для незамкнутых СМО); вероятность полного останова $p_{п}$ (для замкнутых СМО, когда все N ИЗ подали заявки, из них n обслуживаются, остальные ожидают), нагрузка ρ на КО, среднее время нахождения заявки в СМО $t_{ср}$ и др. В таблице 2.3 приведены выражения для основных характеристик незамкнутых и замкнутых СМО с ВПК и без.

Таблица 2.3 – Выражения для основных характеристик простых СМО

p_n	$m_{оч}$	$\tau_{ож}=\mu t_{ож}$	M_3	n_K	$p_{отк}$	$p_{п}$
$\sum_{i=0}^{n-1} p_i$	$k_m \sum_{i=n+1}^C (i-n) p_i$	$\frac{k_m}{A} \sum_{i=n}^C (i-n+1) p_i$	$\sum_{i=1}^C i p_i$	$\sum_{i=1}^n \varphi_i + k_m n \sum_{i=n+1}^C p_i$	p_C	
СМО	незамкнутая без ВПК ($E_{k_\lambda} \setminus^n E_{k_\mu} \setminus m$)	замкнутая без ВПК (${}^N E_{k_\nu} \setminus^n E_{k_\mu}$)		незамкнутая с ВПК ($E_{k_\lambda} \setminus^{n+} E_{k_\mu} \setminus m$)	замкнутая с ВПК (${}^N E_{k_\nu} \setminus^{n+} E_{k_\mu}$)	
C	$n+m$	N		$n+m$	N	
α, b	$\alpha=\lambda/\mu$	$b=\nu/\mu$		$\alpha=\lambda/\mu$	$b=\nu/\mu$	
k_m	0 при $m=0$ 1 при $m>0$	0 при $n=N$ 1 при $n>N$		0 при $m=0$ 1 при $m>0$	0 при $n=N$ 1 при $n>N$	
t, J	$t=i; J=1$			$t=n; J= i/n$		

Среднее время нахождения заявки в СМО может быть найдено по выражению:

$$t_{cp} = t_{ож} + t_{об}. \quad (2.8)$$

Были обобщены графические зависимости для различных видов СМО [131, 134]. В частности, на рисунке 2.6 и 2.7 представлены графические зависимости «приведённая нагрузка – приведённое время ожидания» для незамкнутых СМО без ВПК и с ВПК при нормативном ограничении [28] на вероятность отказа $p_{отк} \leq 0,001$. Данные графические зависимости позволили решать задачи нахождения требуемого числа КО n и размера накопителя m для заданных значений λ, μ, ρ и $t_{ож}$ (рисунок 2.8).

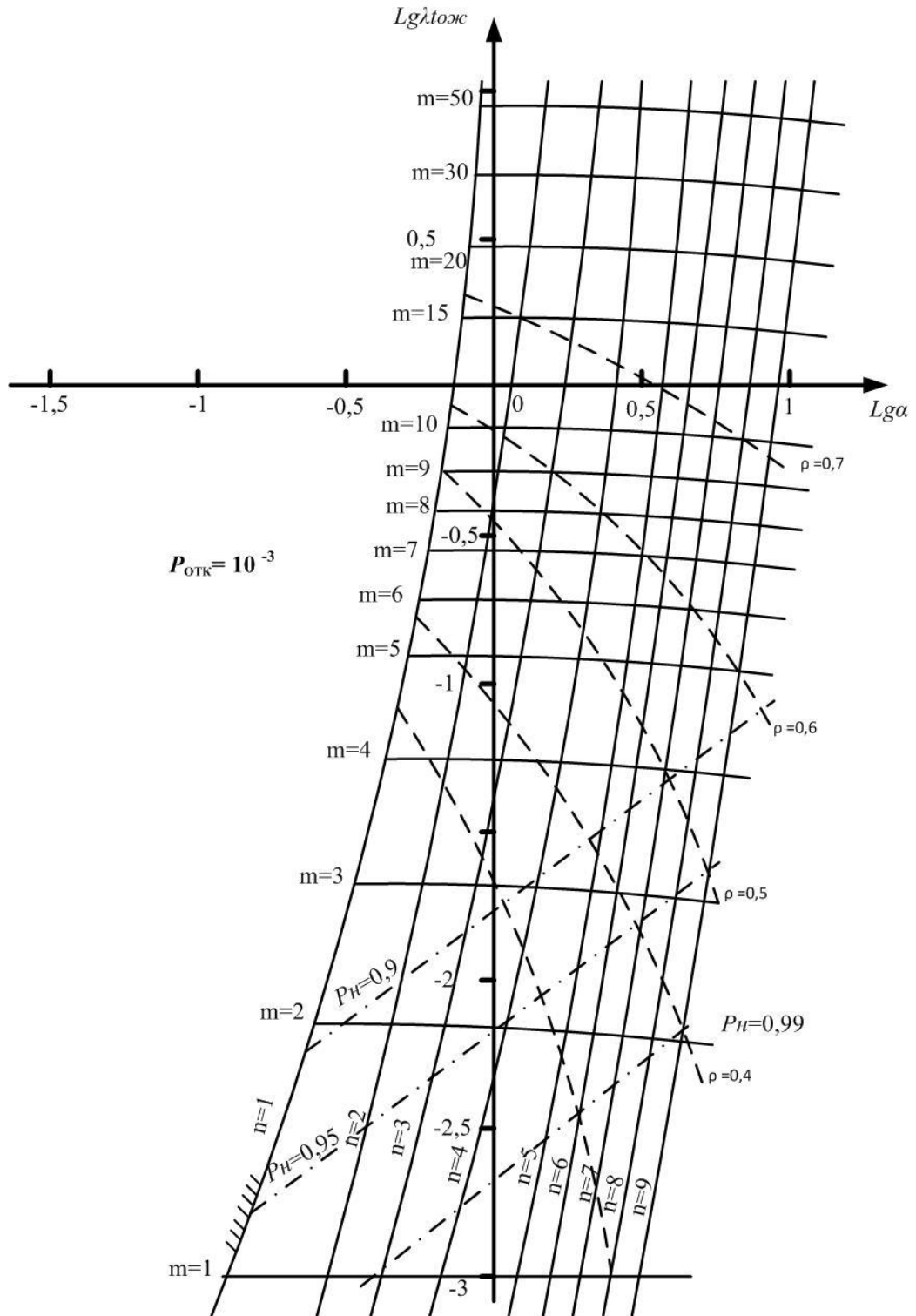


Рисунок 2.6 – Графическая зависимость «приведённая нагрузка – приведённое время ожидания» для СМО без ВПК ($E_{k_1} \setminus^n E_{k_2} \setminus m$) при вероятности отказа $p_{отк}=0,1\%$ с линиями равных значений числа КО n , числа мест в очереди m , нагрузки на КО ρ и вероятности немедленного реагирования p_n

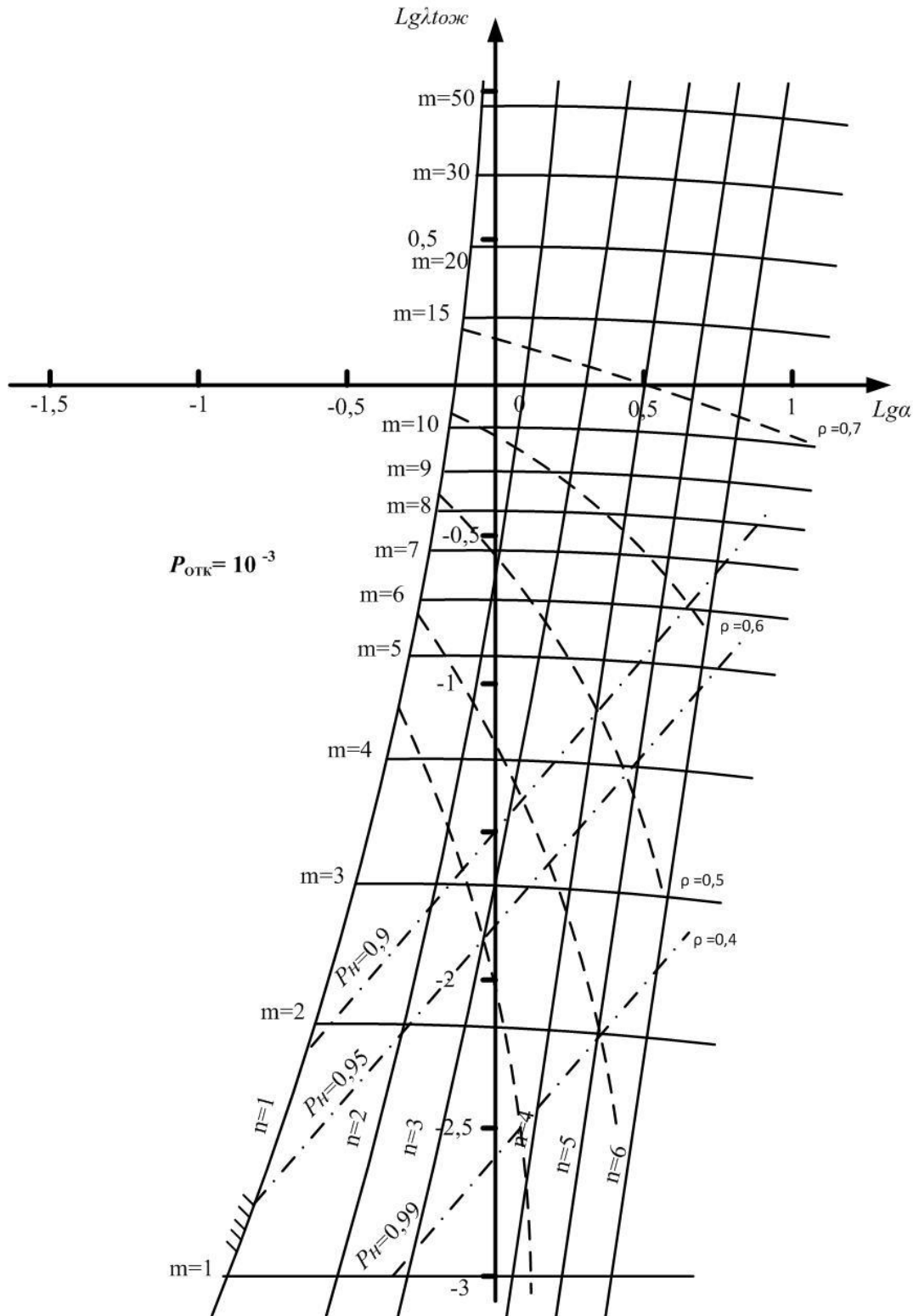


Рисунок 2.7 – Графическая зависимость «приведённая нагрузка – приведённое время ожидания» для СМО с ВПК ($E_k\lambda^n + E_k\mu/m$) при вероятности отказа $p_{отк}=0,1\%$ с линиями равных значений числа КО n , числа мест в очереди m , нагрузки на КО ρ и вероятности немедленного реагирования p_n

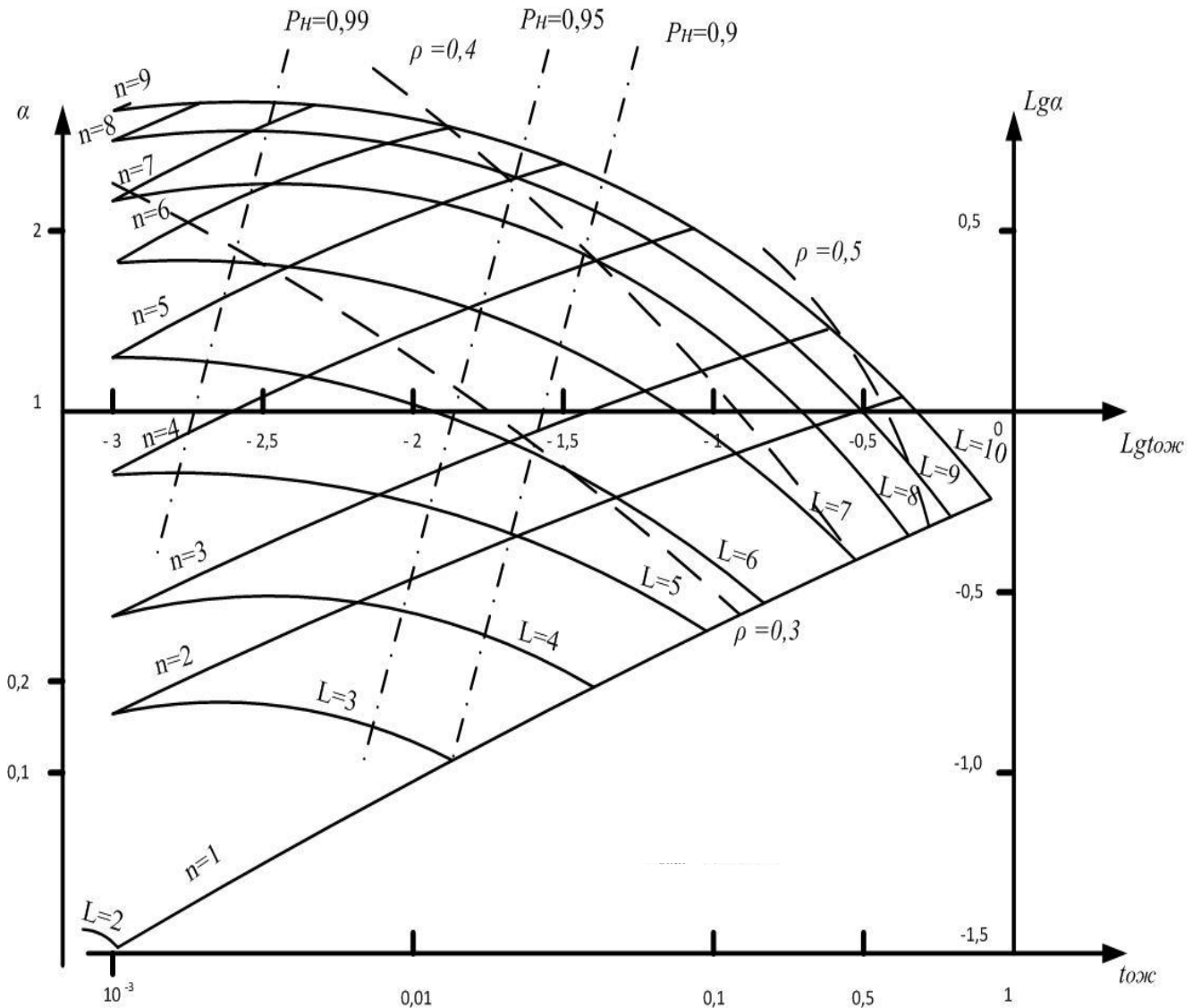


Рисунок 2.8 – Графическая зависимость «приведённая нагрузка – приведённое время ожидания» с изолиниями n , L и ρ при вероятности отказа в приёме заявки $p_{отк}=0,1\%$

При стандартных допущениях [29-32] зависимости между характеристиками незамкнутой СМО (вероятность отказа в приёме заявки ввиду переполненности очереди $p_{отк}$, вероятность немедленного принятия заявки в КО p_H , нагрузка на КО ρ и среднее время ожидания заявки в очереди $t_{ож}$) и параметрами СМО (число КО n , число ЛС $L=m+n$ и среднее время обслуживания заявки $t_{об}$) могут быть описаны выражениями (таблица 2.2 и 2.3, см. выше):

$$p_{omk} = p_0 \frac{\alpha^n \rho^m}{n!}, \quad (2.10)$$

$$p_n = p_0 \sum_{i=0}^{n-1} \frac{\alpha^i}{i!}, \quad (2.11)$$

$$t_{ож} = p_0 \frac{\alpha^n \rho [1 - (m+1)\rho^m + m\rho^{m+1}]}{\lambda n!(1-\rho)^2} = \frac{m_{оц}}{\lambda}, \quad (2.12)$$

$$\rho = \frac{\alpha}{n}, \quad (2.13)$$

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!} + \frac{\alpha^n \rho (1-\rho^n)}{n!(1-\rho)}}. \quad (2.14)$$

Однако применительно к задачам ДС опыт показал [132], что вместо размера накопителя m целесообразно использовать параметр L , представляющий собой сумму $n+m$ и имеющий физический смысл числа линий связи (ЛС). Для незамкнутых СМО без ВПК, являющихся моделями ДДС, был проведен комплекс расчётов (таблица 2.4) по компьютерной программе **grafik.exe** (см. Приложение Б), и построена графическая зависимость (рисунок 2.8) «приведённая нагрузка – приведённое время ожидания» с изолиниями n , L и ρ при вероятности отказа $p_{отк}=0,1\%$ [28], которая вошла в проект нормативного документа в части проектирования ЕДДС [113, 131, 132].

Как показал опыт применения графических зависимостей, целесообразно использовать упрощённый вариант, введя такое понятие для вероятности p_n , как «число девяток после запятой»

$$K_9 = \lg \frac{1}{1 - p_n}, \quad (2.15)$$

Например, при $p_n=0,9$ $K_9=1$, при $p_n=0,99$ $K_9=2$, при $p_n=0,999$ $K_9=3$ и т.п. Номограмма в координатах « $\lg \alpha - K_9$ » приведена на рисунке 2.9.

С использованием выражений (таблица 2.2) были построены графические зависимости для крайних случаев незамкнутых СМО без ВПК – при отсутствии накопителя ($m=0$, в обозначениях [32] - $E_{k_\lambda} \setminus^n E_{k_\mu} \setminus 0$) и при возможности бесконечной очереди ($m \rightarrow \infty$, в обозначениях [32] - $E_{k_\lambda} \setminus^n E_{k_\mu} \setminus \infty$) (рисунок 2.10 и 2.11).

Следует отметить, что для СМО без накопителя справедливо соотношение:

$$p_n = 1 - p_{отк} \quad (2.16)$$

Данные номограммы могут использоваться для синтеза незамкнутых СМО. Например, «традиционная» система экстренного реагирования, характерная для СССР и РФ 90-х годов XX века, предполагала самостоятельную работу ДДС «01», «02», «03» и «04» (рисунок 2.12) с общим каналом взаимодействия (при необходимости) [57, 59, 71, 89] между этими службами. Для нахождения основных характеристик этих служб могут использоваться выражения (2.10) - (2.14) с учётом того, что приведённые нагрузки α находятся по выражениям:

$$\alpha_{0i} = \lambda_{0i} / \mu_{0i}, \quad i = 1, \dots, 4, \quad (2.17)$$

где индекс $0i$ означает принадлежность к соответствующей экстренной службе.

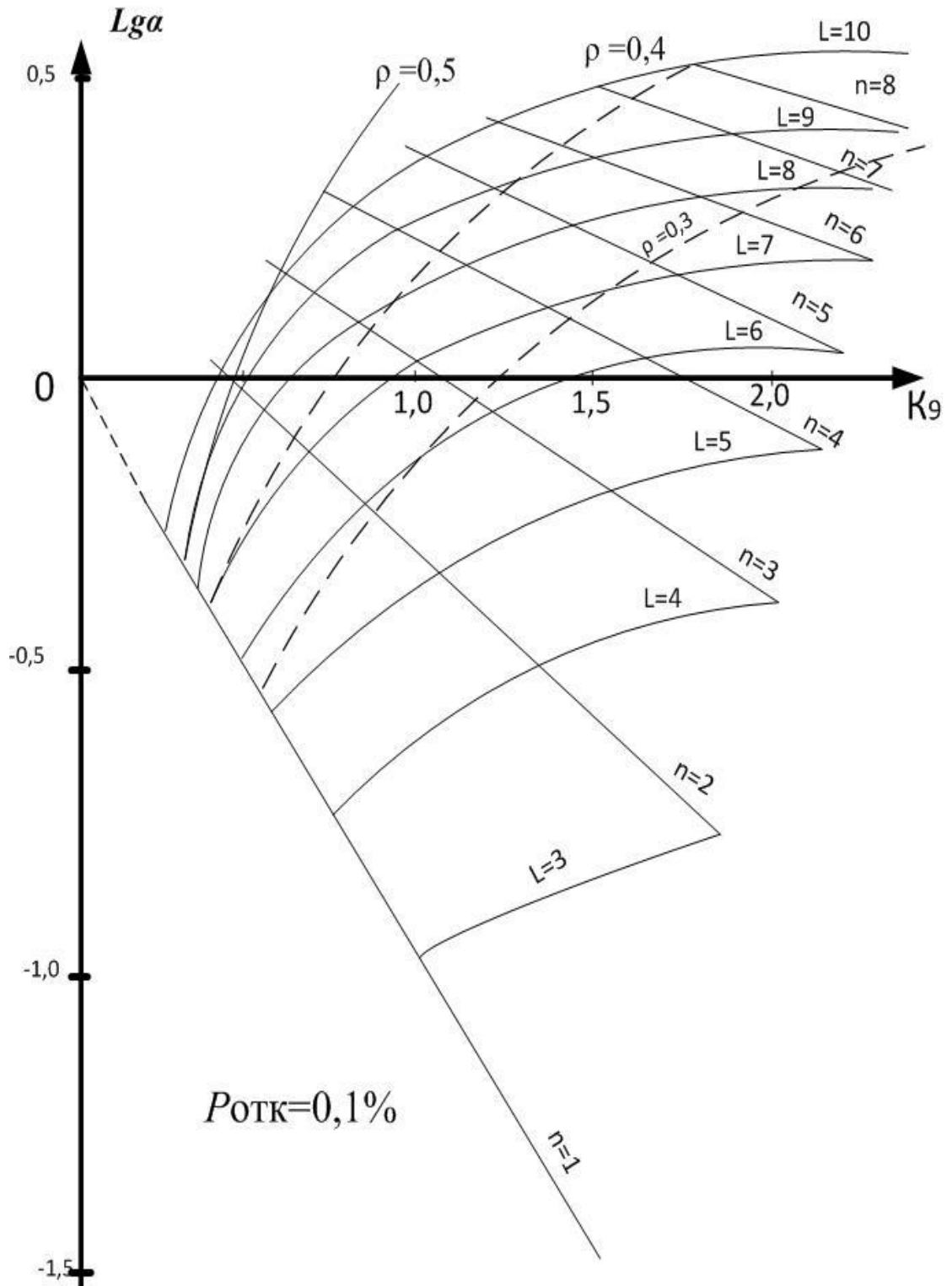


Рисунок 2.9 – Графическая зависимость для определения числа АРМ n и ЛИС L при $p_{отк}=0,1\%$

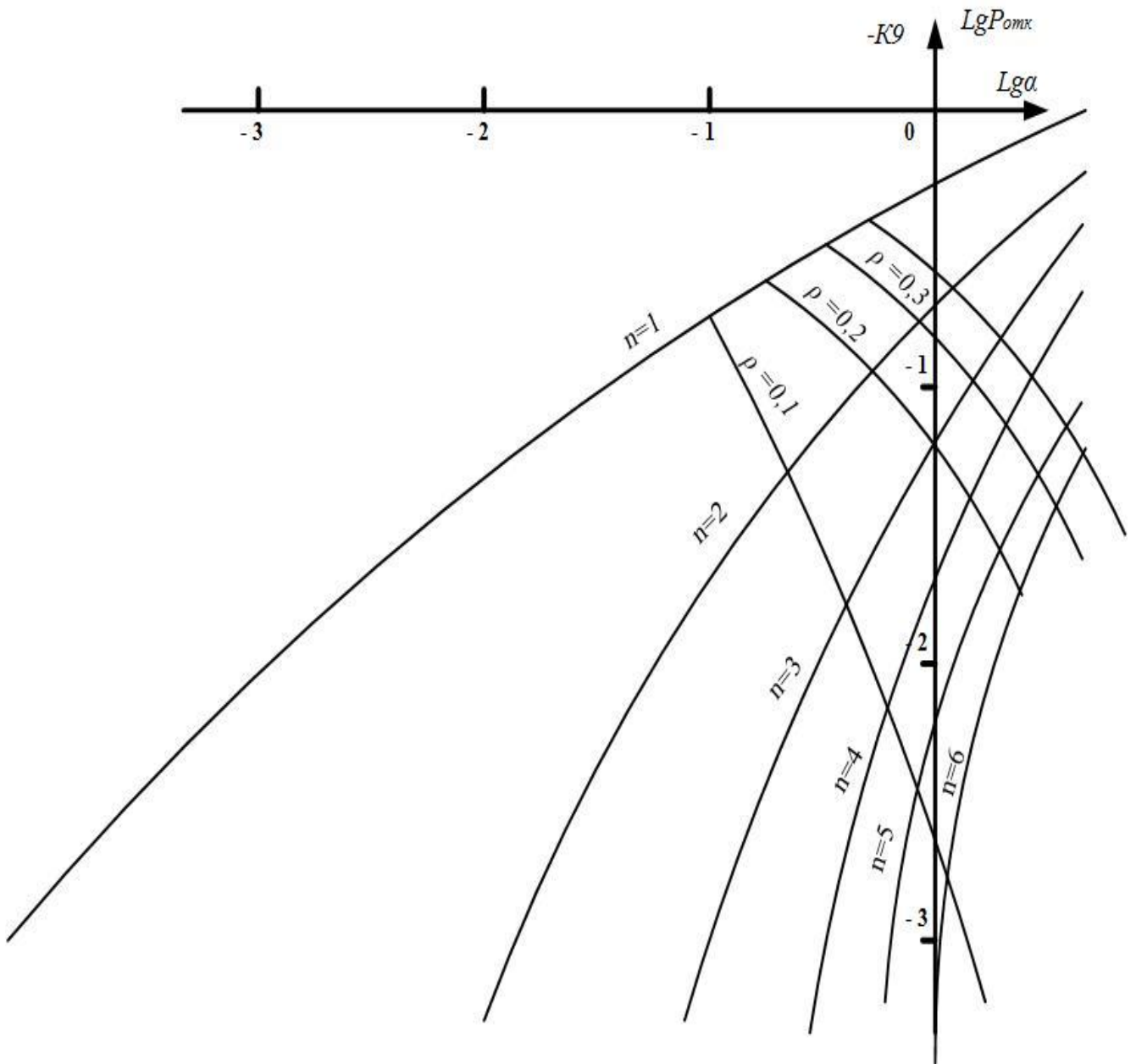


Рисунок 2.10 – Графическая зависимость «вероятность $p_{отк}$ и параметр K_9 - приведённая нагрузка α » для незамкнутой СМО без ВПК при $m=0$

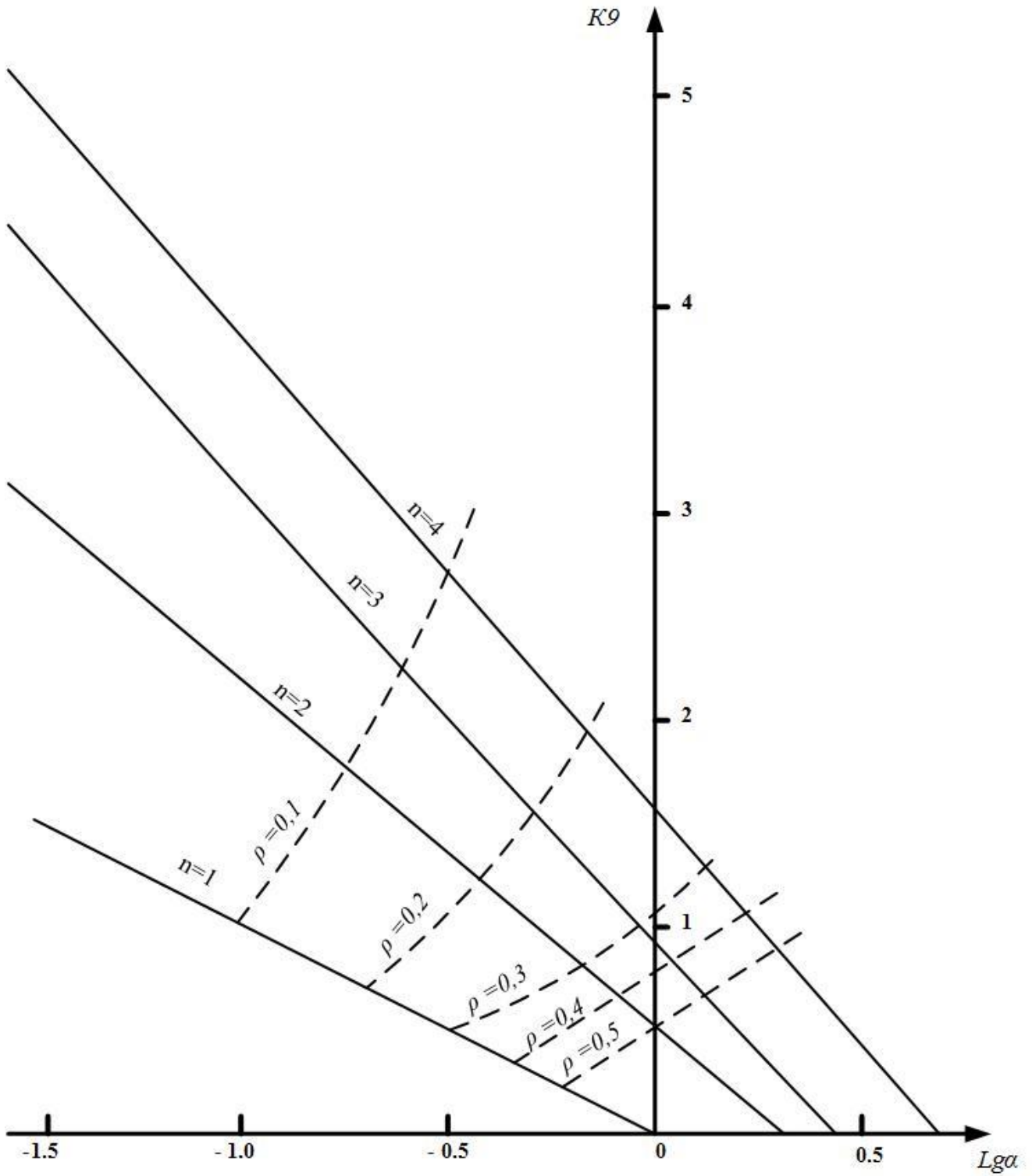


Рисунок 2.11 – Графическая зависимость «параметр K_9 - приведённая нагрузка α » для незамкнутой СМО без ВПК с бесконечной ёмкостью накопителя ($m \rightarrow \infty$)

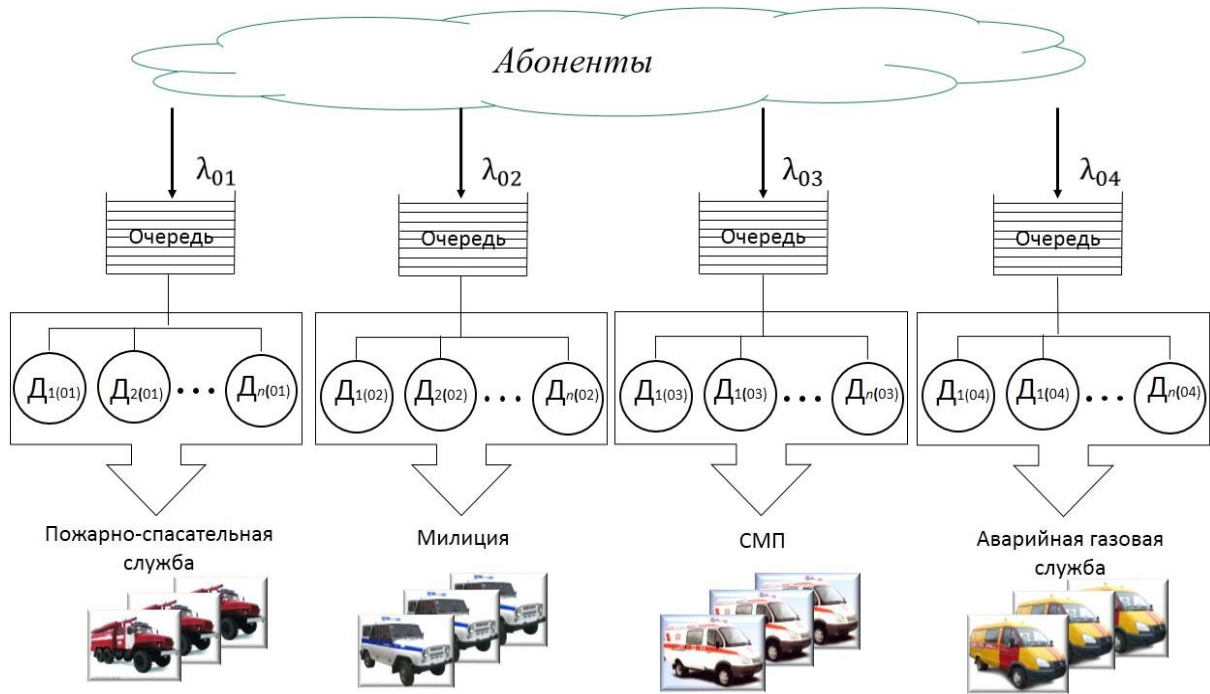


Рисунок 2.12 – Традиционная схема реагирования на пожары и ЧС ($\{\lambda\}$ – интенсивности сообщений абонентов, D – диспетчеры)

Общее количество диспетчеров n_T и ЛС L_T для традиционной схемы (рисунок 2.12) определяется из выражений соответственно [113]:

$$n_T = n_{01} + n_{02} + n_{03} + n_{04}, \quad (2.18)$$

$$L_T = L_{01} + L_{02} + L_{03} + L_{04}, \quad (2.19)$$

где $n_{01}, n_{02}, n_{03}, n_{04}$ – число диспетчеров соответствующих экстренных служб; $L_{01}, L_{02}, L_{03}, L_{04}$ – число ЛС соответствующих экстренных служб.

Применительно к замкнутым СМО [32, 105, 109] с использованием соотношений таблицы 2.2 также были построены графические зависимости при условии неперевышения вероятности $p_{\Pi} = 0,001$ допустимого значения [28] (рисунок 2.13-2.15), здесь $\rho = N\nu/\mu n$.

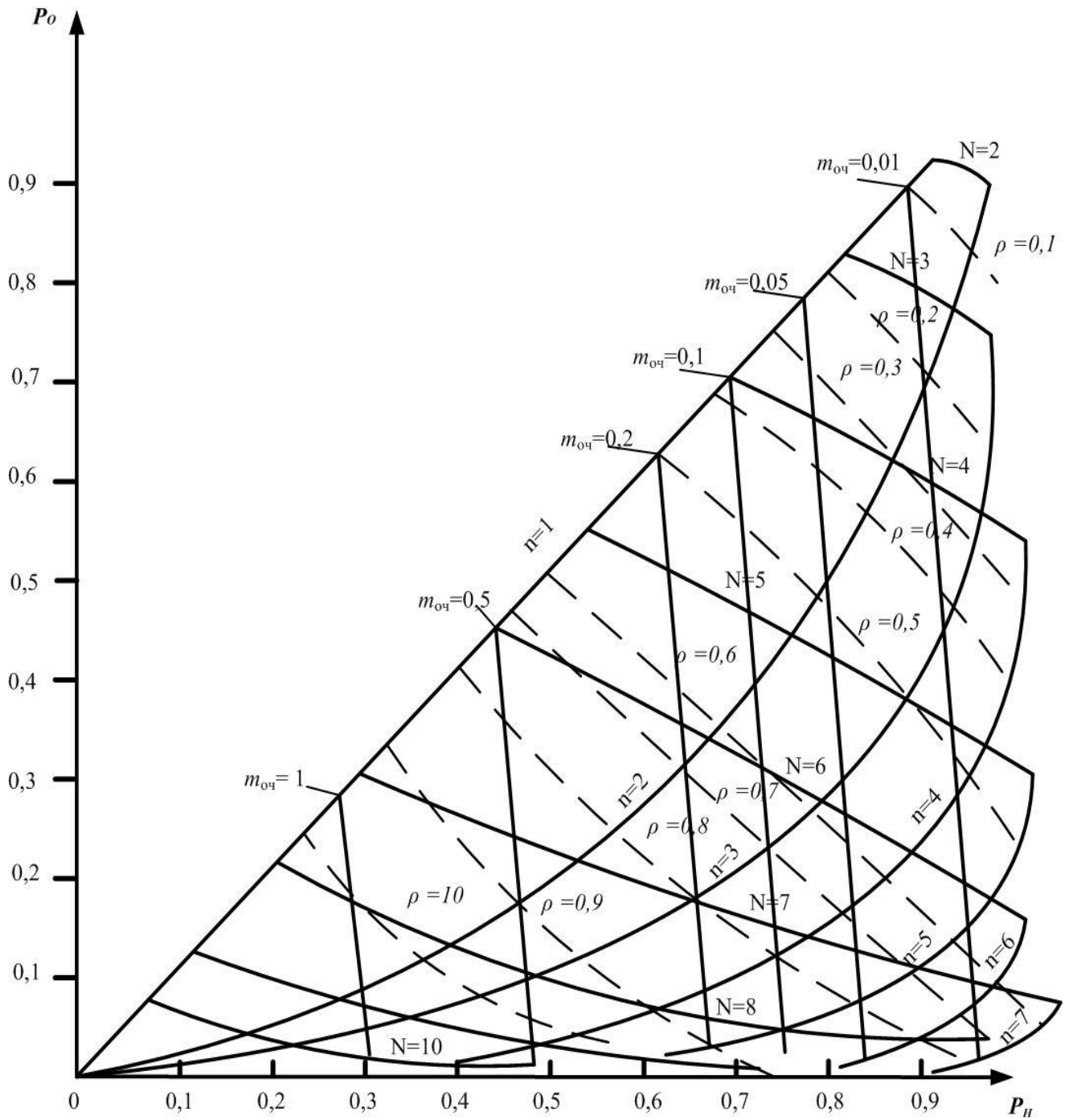


Рисунок 2.13 – Графическая зависимость «вероятность незнания КО p_0 – вероятность немедленного реагирования p_{II} » с изолиниями n , N , $m_{оч}$ и ρ для замкнутой СМО без ВПК при $p_{II}=0,001$

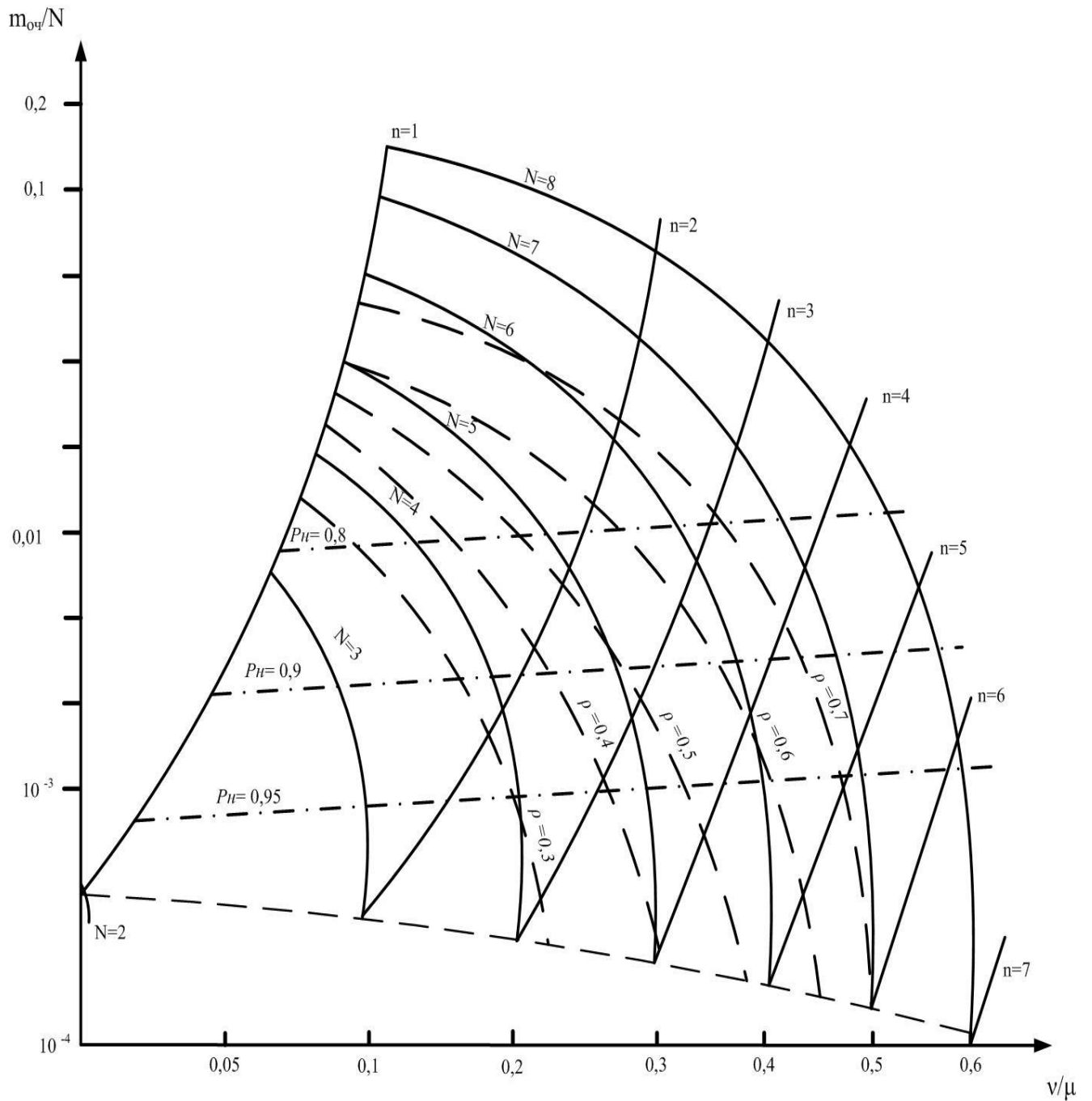


Рисунок 2.14 – Графическая зависимость «относительная очередь $m_{оч}/N$ – приведённая нагрузка от ИЗ v/μ » с изолиниями n , N , p_n и ρ для замкнутой СМО без ВПК при $p_n=0,001$

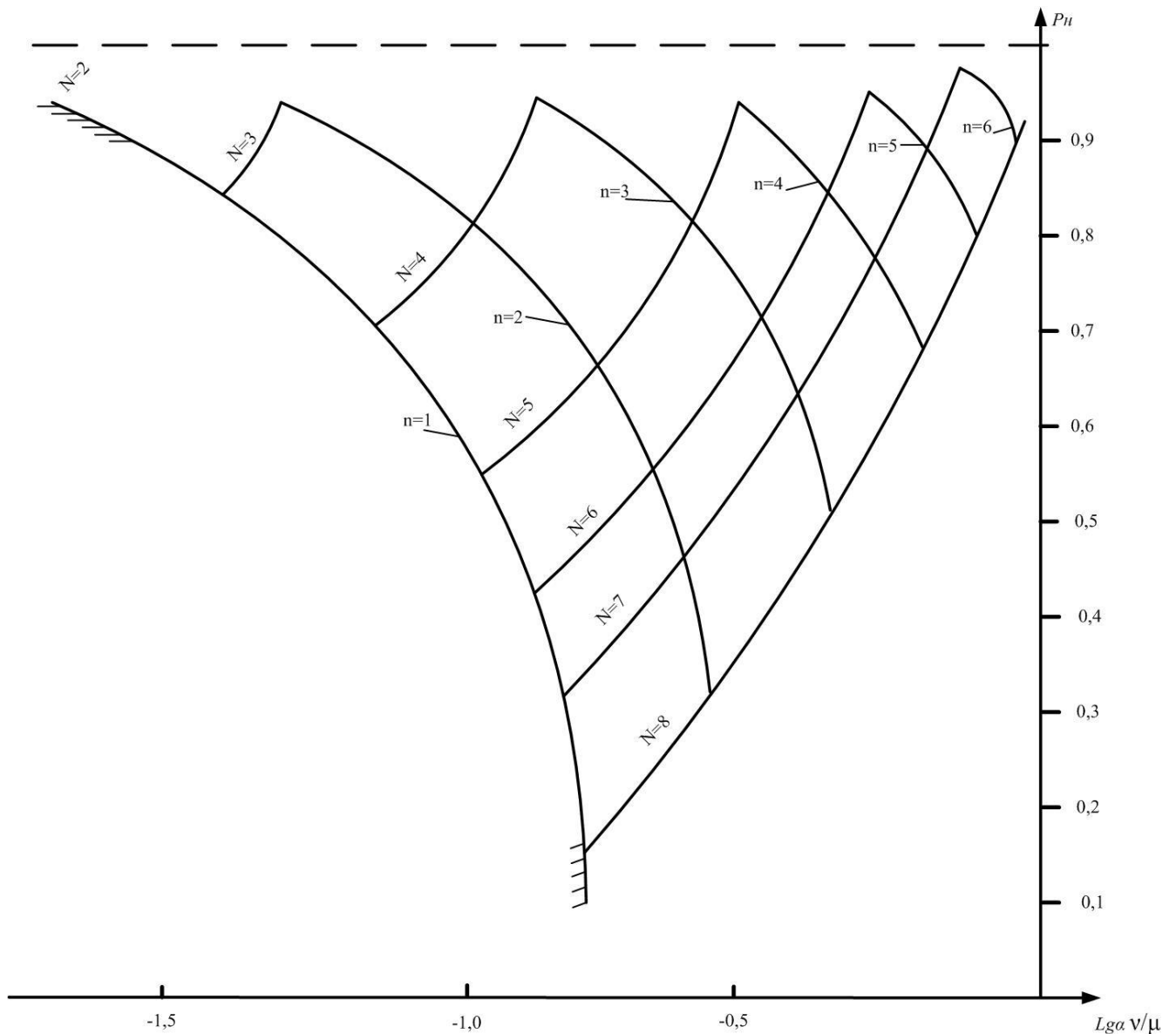


Рисунок 2.15 – Графическая зависимость «вероятность немедленной принятия заявки p_n – приведённая нагрузка от ИЗ v/μ » с изолиниями N и n для замкнутой СМО без ВПК при $p_n=0,001$

Данные графические зависимости могут использоваться применительно к обслуживанию N АРМ ДДС n бригадами [64, 69], либо N объектов или категорированных технологических установок, информация о предаварийных или аварийных режимах которых выводится в специализированную ДДС.

Графическую зависимость на рисунке 2.13 можно применять для анализа вышеуказанных систем без применения ЭВМ.

Исходя из ограничений, предъявляемых к вероятностям $p_0=p_{св}$, $p_{нв}$, числу мест в очереди $m_{оч}$, нагрузке ρ и числу источников заявок N выбирается

соответствующее сочетание N и n .

Далее с использованием таблицы 2.5 находится приведенная нагрузка $b=v/\mu$ от источников заявок с учетом величины b и частоты v рассчитывается интенсивность обслуживания $\mu=v/b$;

По найденным параметрам n , N и μ СМО и по следующим выражениям [29, 37]:

$$p_0^{-1} = \sum_{k=0}^n C_N^k b^k + \frac{n^n}{n!} \sum_{k=n+1}^N C_N^k k! B^k, \quad (2.20)$$

$$p_{\Pi} = p_0 \frac{n^n N!}{n!} b^N, \quad (2.21)$$

$$m_{оч} = p_0 \frac{n^n}{n!} \sum_{k=n+1}^N \frac{C_N^k}{k!} (k-n) b^k, \quad (2.22)$$

$$M_3 = p_0 N! \sum_{k=1}^N \frac{b^k}{(N-k)!(i-1)!} \quad (2.23)$$

($B=Nv/\mu$) определяются основные характеристики замкнутых СМО без ВПК и тем самым проверяется правильность решения задачи синтеза.

Аналогично по графической зависимости на рисунке 2.14, зная приведённую нагрузку v/μ , числу ИЗ N и требованиям к величине $m_{оч}$ и ρ , можно определить необходимое число n КО.

Графическая зависимость на рисунке 2.15 является упрощённой, но также позволяет по величинам N и v/μ найти необходимое число n КО, когда задано ограничение на вероятность p_{Π} немедленного принятия заявки к обслуживанию при $p_{\Pi} \leq 0,001$.

Таблица 2.5 – Соотношения между параметрами n , N и b замкнутой СМО при $p_n=0,001$

N	n	b	N	n	b	N	n	b	N	n	b
2	1	0,0229	6	1	0,1233	8	1	0,1375	9	7	0,8012
	2	0,0327		2	0,2352		2	0,2700		8	0,8455
3	1	0,0585		3	0,3286		3	0,3935		9	0,8662
	2	0,0957		4	0,3984		4	0,5036	10	1	0,1426
	3	0,1111		5	0,4425		5	0,5952		2	0,2834
4	1	0,0884		6	0,4625		6	0,6642		3	0,4206
	2	0,1565	7	1	0,1320		7	0,7086		4	0,5518
	3	0,1983		2	0,2564		8	0,7292		5	0,6735
	4	0,2163		3	0,3676	9	1	0,1407		6	0,7816
5	1	0,1095	4	0,4601	2		0,2784	7		0,8716	
	2	0,2029	5	0,5296	3		0,4102	8	0,9397		
	3	0,2727	6	0,5739	4		0,5329	9	0,9839		
	4	0,3162	7	0,5943	5		0,6419	10	1,0048		
	5	0,3355			6		0,7326				

2.2 Моделирование дежурно-диспетчерской службы как двухуровневой системы массового обслуживания

В современных условиях за рубежом и с начала XXI века в РФ применяется двухуровневая схема приёма-обслуживания сообщений от абонентов о пожарах, ЧС, правонарушениях, проблемах со здоровьем и т.п. с посредником в виде call-центра [46, 57, 72, 89, 106, 108, 132] – рисунок 2.16. Деятельность структур «абоненты – диспетчеры call-центра» и «диспетчеры call-центра – диспетчеры экстренных служб» также может быть описана с помощью математического аппарата теории массового обслуживания [29-32, 80, 81, 93, 98 101-107, 113-119, 130-133]. Это позволяет решить такую важную задачу, как рациональный выбор количества диспетчеров / АРМ и ЛС, что с одной стороны обеспечит требуемое качество приёма и обработки сообщений, а с другой не приведёт к

неоправданному увеличению штатной структуры системы экстренного реагирования [24, 27, 28, 61, 66, 93, 99, 113, 125, 132-134].

Указанные структуры экстренной службы могут быть представлены в виде n -канальных незамкнутых СМО с m -местной очередью [102, 110, 113, 117, 130-134]. КО при этом являются диспетчеры/АРМ call-центра или экстренных служб, а m -местной очередью/накопителем – число ЛС, на которых могут удерживаться абоненты/заявки, когда заняты все n КО. Как и в случае «традиционной» одноуровневой схемы (рисунок 2.12), могут быть использованы выражения (2.10)-(2.14) и построены соответствующие графические зависимости.

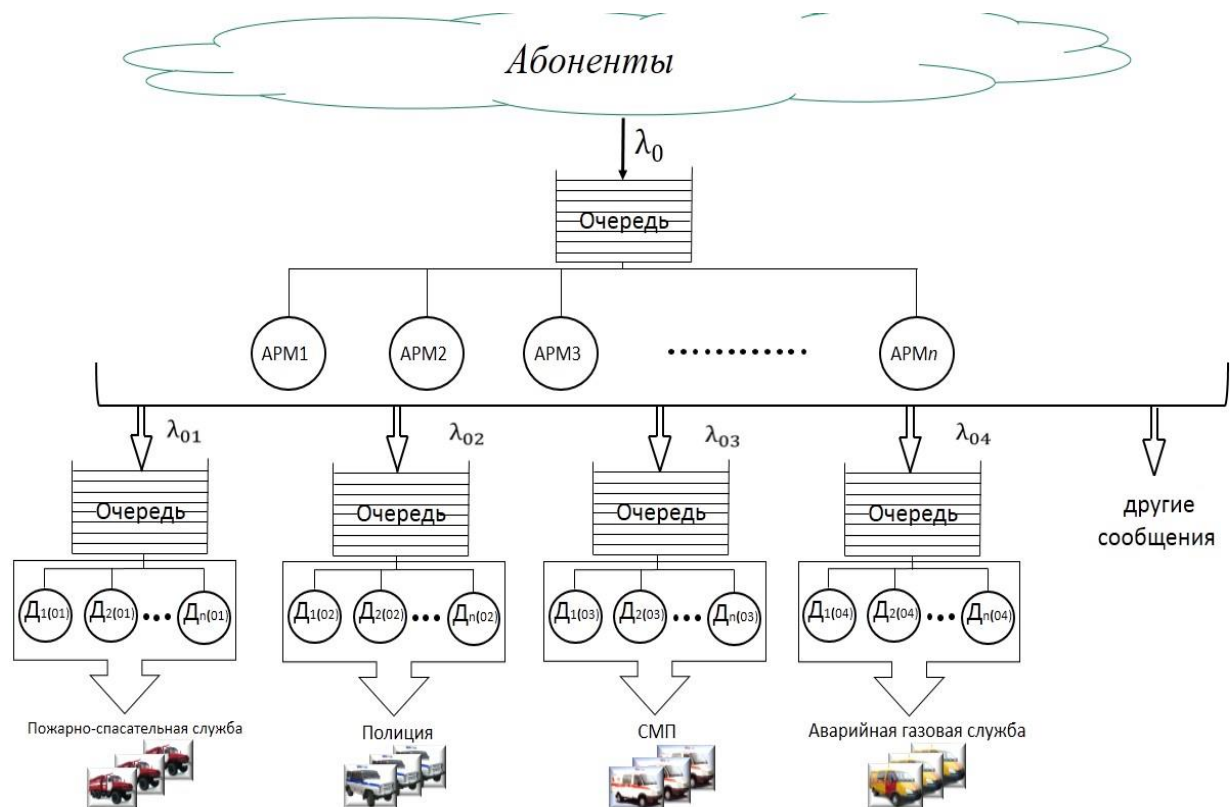


Рисунок 2.16 – Современная двухуровневая структура службы экстренного реагирования

При двухуровневой схеме (рисунок 2.16) следует иметь в виду, что вероятность отказа в приёме заявки в экстренную службу $p_{откi}$ может быть оценена с учётом вероятностей отказа в приёме заявки в call-центре $p_{ц}$ и в экстренных службах, а также вероятности потери заявки при переадресации из call-центра в экстренную службу $p_{п}$. Тогда вероятности отказа в приёме заявки по

службам «01», «02», «02» и «04» - p_{01}, p_{02}, p_{03} и p_{04} примут соответственно вид:

$$p_{отки} = (1-p_{ц})(1-p_{п})(1-p_{0i}), i=1, \dots, 4. \quad (2.24)$$

Если даже предположить, что переадресация достаточно надёжна (т.е. $p_{п} \rightarrow 0$), а на вероятности $\{p_{отки}\}$ наложены ограничения [28] - не более 0,1%, то из (2.24) следует, что должны выполняться условия: $p_{ц} < 0,05\%$, $\{p_{0i}\} < 0,05\%$.

По аналогии с таблицей 2.4 для двухуровневой схемы были проведены расчёты с учётом условия $p_{отк} < 0,05\%$ (таблица 2.6), и построены соответствующие графические зависимости – рисунки 2.17 и 2.18. Применительно к двухуровневой схеме обслуживания заявок (рисунок 2.16), суммарные величины числа диспетчеров $n_{ду}$ и ЛС $L_{ду}$ могут быть определены из выражений:

$$n_{ду} = n_{ц} + n_{01} + n_{02} + n_{03} + n_{04}, \quad (2.25)$$

$$L_{ду} = L_{ц} + L_{01} + L_{02} + L_{03} + L_{04}. \quad (2.26)$$

Таблица 2.6 – Результаты расчётов применительно к незамкнутой СМО при $p_{отк}=0,05\%$

$L \backslash n$	Параметры	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	$\lg \alpha$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$\lg \lambda t_{ож}$	1,6440	1,0878	0,8066	0,6373	0,5245	0,4438	0,3836	0,3370	0,2998
	K_9	-3,298	-2,147	-1,545	-1,166	-0,899	-0,698	-0,540	-0,411	-0,302
		1,644	1,088	0,807	0,637	0,525	0,444	0,384	0,337	0,300
2	$\lg \alpha$		-	-	-	-	-	-	-	-
	$\lg \lambda t_{ож}$		0,8804	0,5701	0,3828	0,2583	0,1699	0,1041	0,0533	0,0132
	K_9		-3,301	-2,326	-1,745	-1,352	-1,067	-0,849	-0,673	-0,532
			2,091	1,497	1,149	0,924	0,768	0,654	0,567	0,500

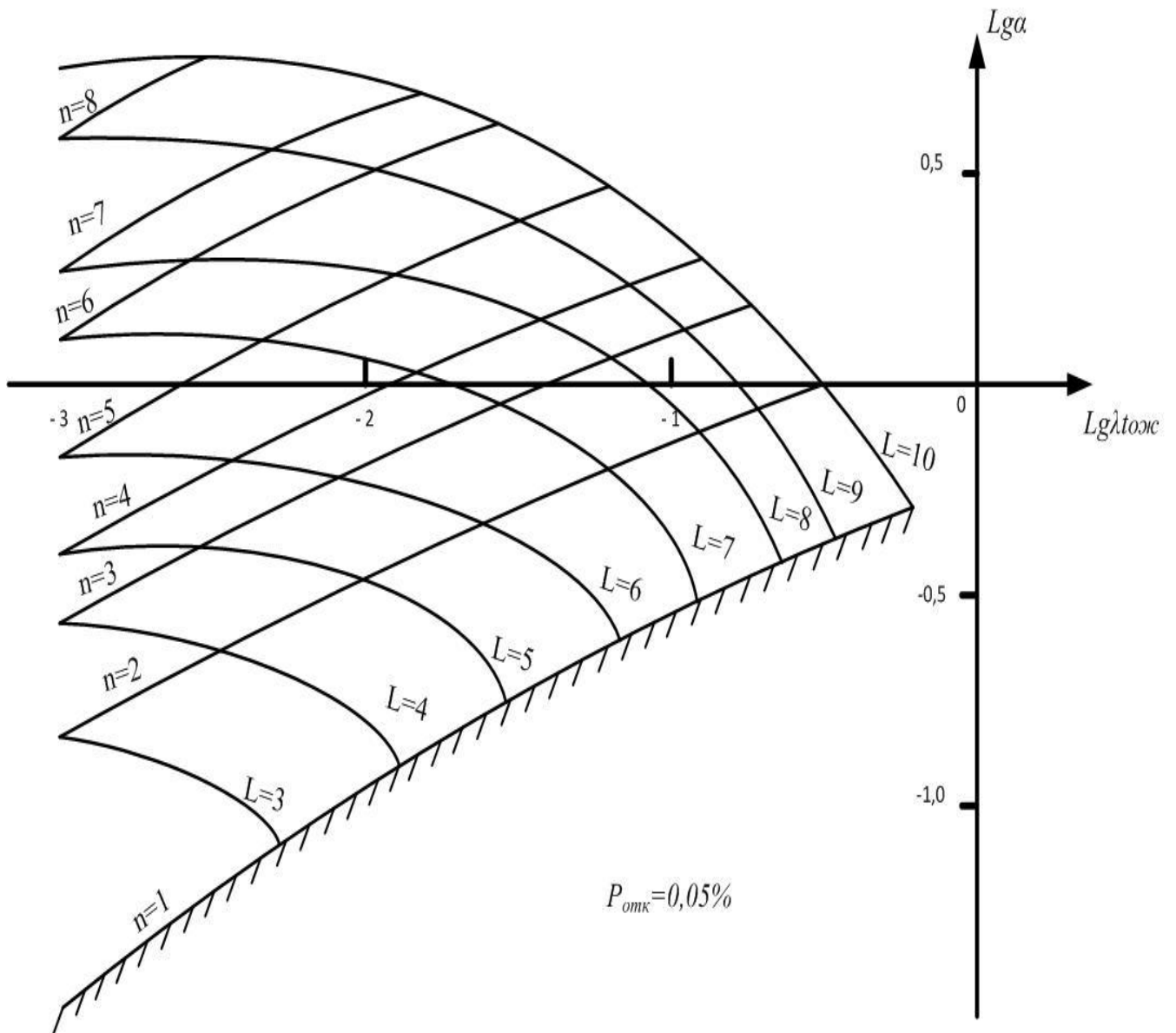


Рисунок 2.17 – Графическая зависимость «приведённая нагрузка – приведённое время ожидания» с изолиниями n и L при вероятности отказа $p_{отк}=0,05\%$

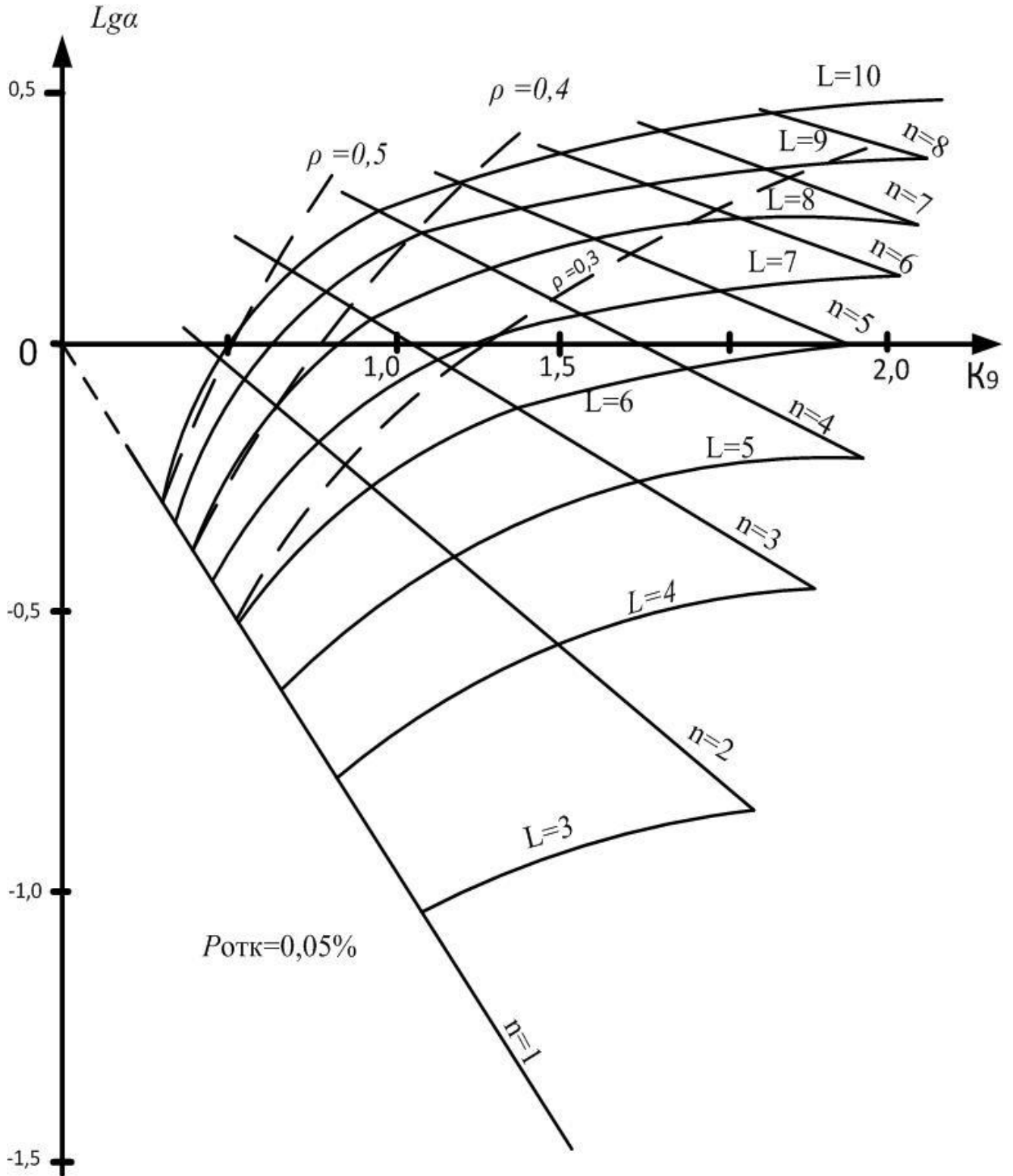


Рисунок 2.18 – Графическое представление зависимости числа диспетчеров n , линий связи L и приведенной нагрузки α при вероятности $p_{отк} = 0,05\%$

2.3 Моделирование дежурно-диспетчерской службы как системы массового обслуживания с «нетерпеливыми» заявками

В процессе работы ДС могут возникать критические ситуации, когда поток заявок λ очень большой, и диспетчеры не успевают их оперативно обслуживать. Один из вариантов такой ситуации, обусловленной, в частности, крупными пожарами 2010-11 годов, был рассмотрен в работе [61]. Другой вариант, связанный с перегруженностью диспетчеров и покиданием абонентами очереди ввиду невозможности длительного ожидания, рассмотрен с участием автора [129, 133]. Этот вариант соответствует СМО с «нетерпеливыми» заявками [31, 133, 138] и схематически показан на рисунке 2.19.

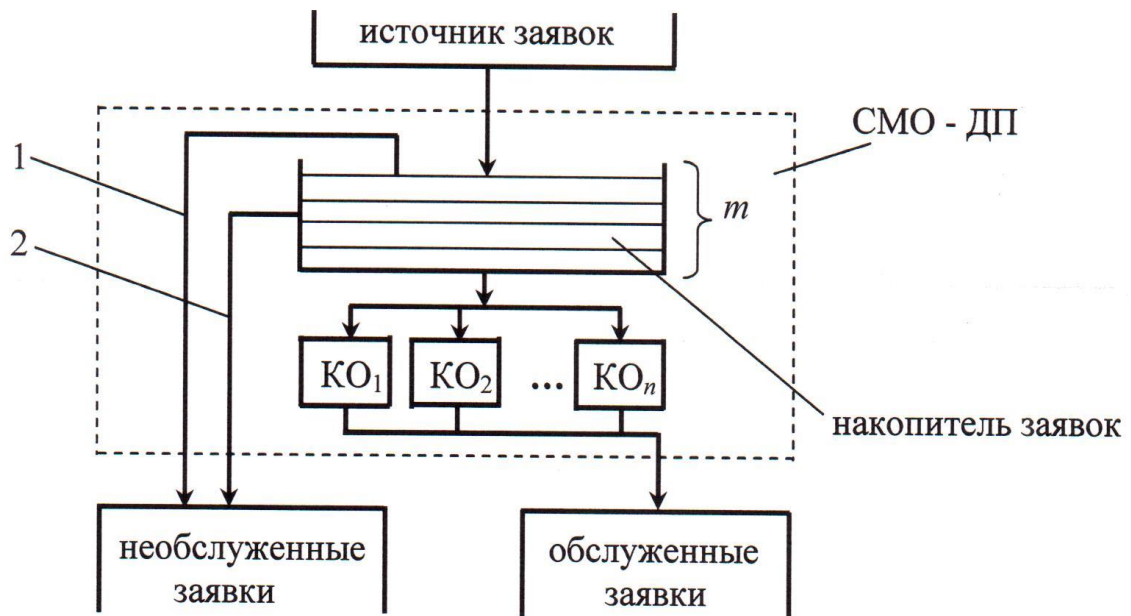


Рисунок 2.19 – Схема n -канальной СМО (диспетчерского пункта – ДП) с m -местной очередью и «нетерпеливыми» заявками (1 – потеря заявок из-за переполнения накопителя, 2 – уход заявок из очереди по причине «нетерпеливости»)

С учётом общепринятых допущений [29-32] и, полагая, что среднее время ожидания в очереди нетерпеливой заявки t_0 , граф переходов представлен на рисунке 2.20, а вероятности состояний $\{p_i\}$ определяются из выражений [133,138]:

$$p_0^{-1} = \sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{j=1}^m \alpha^j \prod_{k=1}^j \frac{1}{n+k\theta}, \quad (2.27)$$

$$p_i = p_0 \frac{\alpha^i}{i!}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (2.28)$$

$$p_{n+j} = \frac{\alpha^{n+j}}{n!} \prod_{k=1}^j \frac{1}{n+k\theta}, \quad j = 1, \dots, m, \quad (2.29)$$

где $\theta = t_{0\sigma} / t_0$ – приведённая «нетерпеливость».

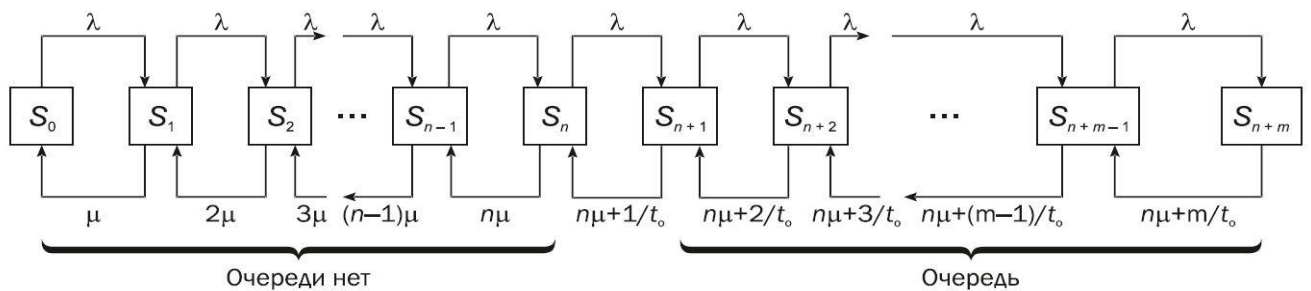


Рисунок 2.20 – Граф переходов для n -канальной СМО с m -местной очередью и «нетерпеливыми» заявками

Критическое состояние такой СМО, определяемое вероятностью потери заявки $p_{пв}$ может произойти как по причине переполнения очереди с вероятностью $p_{отк} = p_{n+m}$, так и из-за «нетерпеливости» с вероятностью $p_{yh} = m_{оч} \theta / \alpha$. Тогда:

$$p_{пз} = p_{отк} + p_{yh} = p_0 \frac{\alpha^n}{n!} \left(\prod_{k=1}^m \frac{\alpha}{n+k\theta} + \frac{\theta}{\alpha} \sum_{j=1}^m j \prod_{k=1}^j \frac{\alpha}{n+k\theta} \right). \quad (2.30)$$

В крайнем случае, когда $\theta \rightarrow 0$ («нетерпеливость» отсутствует), данная СМО превращается в стандартную n -канальную СМО с m -местной очередью, для которой

$$p_{\text{пз}} = p_{n+m} = \frac{\alpha^{n+m}}{n!n^m} \left(\sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{j=1}^m \frac{\alpha^j}{n^j} \right)^{-1}. \quad (2.31)$$

В другом крайнем случае, когда $\theta \rightarrow \infty$ («нетерпеливость» максимальная), СМО превращается в стандартную n -канальную СМО без очереди, для которой вероятность потери заявки больше и равна:

$$p_{\text{пз}} = \frac{\alpha^n}{n!} \left(\sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!} \right)^{-1}. \quad (2.32)$$

Это может быть сформулировано в виде утверждения: для стандартных n -канальных СМО с m -местной очередью и ограниченным временем ожидания вероятность потери заявки лежит в пределах [138]:

$$\frac{\alpha^n}{n!} \left(\sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!} \right)^{-1} > p_{\text{пз}} > \frac{\alpha^{n+m}}{n!n^m} \left(\sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{j=1}^m \frac{\alpha^j}{n^j} \right)^{-1}. \quad (2.33)$$

Доказательство. Выражение для вероятности потери заявки (2.30) можно с учётом (2.27) представить в виде:

$$p_{\text{пз}} = \frac{\frac{\alpha^{n+m}}{n!} \Pi_m + \frac{\alpha^{n-1}}{n!} \theta \left(\frac{\alpha}{n+\theta} + S_m \right)}{\sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{j=1}^m \alpha^j \Pi_j}, \quad (2.34)$$

где $S_m = 0$ при $m = 1$; $S_m = \sum_{j=2}^m j \alpha^j \Pi_j$ при $m \geq 2$; $S_m = \sum_{j=2}^m j \alpha^j \Pi_j$; $\Pi_x = \prod_{k=1}^x \frac{1}{n+k\theta}$; $\Pi_0 = 0$.

Очевидно, Π_x будет непрерывной функцией, монотонно убывающей от n^{-x} при $\theta = 0$ (заявки полностью терпеливы) до 0 при $\theta \rightarrow \infty$ (заявки исключительно

нетерпеливы). Тогда при $\theta \rightarrow \infty$ в числителе выражения (2.34) первое слагаемое обнуляется, а он обращается в $\alpha^n/n!$. В знаменателе при этом остаётся сумма $\sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!}$.

Таким образом, вероятность потери нетерпеливой заявки при $\theta \rightarrow \infty$:

$$p_{\text{пб}} = \frac{\alpha^n}{n!} \left(\sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!} \right)^{-1}$$
, что соответствует вероятности отказа n -канальной СМО без накопителя, когда $m = 0$.

В другом крайнем случае, когда $\theta = 0$, когда и заявки полностью терпеливы, второе слагаемое числителя обнуляется, а он обращается в $\frac{\alpha^{n+m}}{n!n^m}$. Знаменатель

выражения (2.34) принимает значение $\sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{j=1}^m \frac{\alpha^j}{n^j}$. Выражение (2.34)

принимает значение
$$p_{\text{пб}} = \frac{\alpha^{n+m}}{n!n^m} \left(\sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{j=1}^m \frac{\alpha^j}{n^j} \right)^{-1}$$
, что соответствует вероятности

отказа n -канальной СМО с m -местной очередью.

Таким образом, соотношение (2.33) имеет место - утверждение доказано.

Результаты моделирования по выражениям (2.30) - (2.32) показали, что чем больше «нетерпеливость» (т.е. $\theta \rightarrow \infty$), тем меньше на вероятность $p_{\text{пб}}$ влияет число мест в очереди m (рисунок 2.21) и СМО с «нетерпеливыми заявками превращается в СМО без очереди. Для СМО с «нетерпеливыми» заявками с использованием специально разработанной программы *sмо_nete.exe* (Приложение Б) построена графическая зависимость (рисунок 2.22), связывающая приведённые нагрузки α и «нетерпеливость» θ с величинами n и m при нормативной вероятности $p_{\text{пб}}=0,001$. Следует отметить, что нижняя граница данной графической зависимости, когда $\theta = 0$, соответствует СМО с m -местной очередью (в обозначениях [32] $E_k \setminus^n E_k \setminus m$), а верхняя граница, когда $\theta \rightarrow \infty$ - СМО без очереди (в обозначениях [32] $E_k \setminus^n E_k \setminus 0$), т.е. более жёсткому случаю.

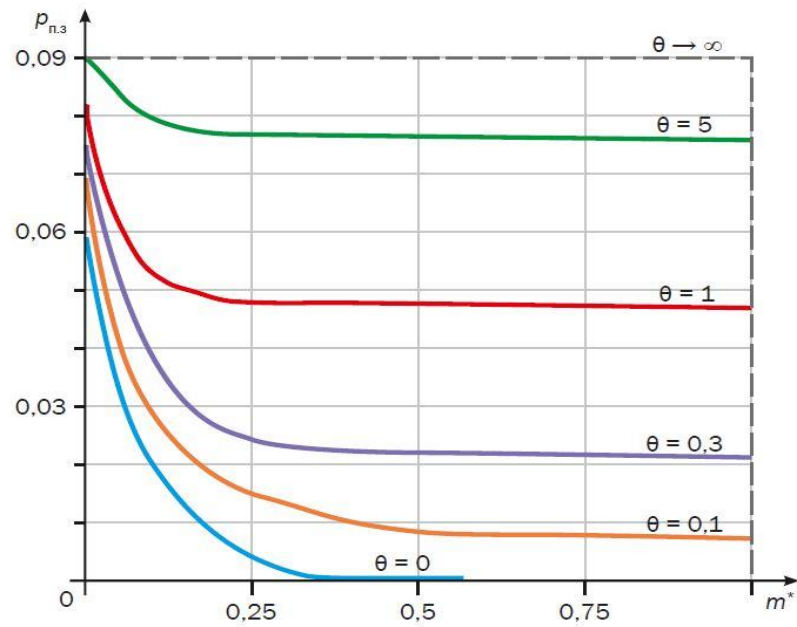


Рисунок 2.21 – Зависимость вероятности потери заявки $p_{пз}$ в одноканальной СМО ($n=1$, ДДС с одним диспетчером) от числа мест m в очереди при различной «нетерпеливости» абонентов и нагрузке $\alpha = 0,1$. Здесь: $m^* = m / (4 + m)$ – нормированный размер накопителя заявок

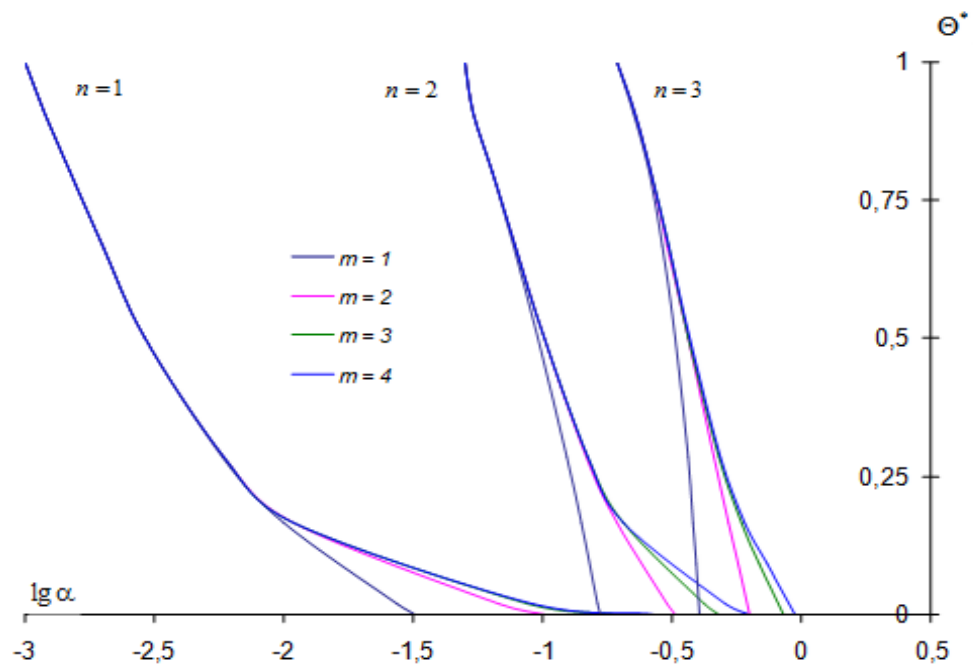


Рисунок 2.22 – Графическая зависимость числа КО n и мест в очереди m от приведённой нагрузки α и «нетерпеливости» абонентов θ при $p_{пз} = 0,1\%$.

Здесь: $\theta^* = \theta / (0,5 + \theta)$ – нормированная «нетерпеливость»

Выводы по второй главе

1. На основании положений теории массового обслуживания предложено моделировать работу дежурно-диспетчерской службы в виде системы массового обслуживания, связывающей между собой вероятности её состояний с параметрами, а также позволяющей определить наиболее важные характеристики – вероятность отказа в приёме заявки, среднюю длину очереди, вероятность немедленного ответа диспетчера и некоторые другие.

С учетом особенностей двухуровневой схемы связи абонентов с основными экстренными службами через call-центр (в отличие от существовавшей ранее традиционной «прямой» схемы), разработана математическая модель для расчета параметров дежурно-диспетчерской службы, учитывающая связь вероятностных характеристик с количественными показателями и двухуровневый характер обслуживания поступающих сообщений.

Для удобства практического пользования разработанной модели без применения ЭВМ была построена графическая зависимость, связывающая приведённую нагрузку, количество диспетчеров и линий связи, вероятность немедленного приёма заявки и нагрузку на диспетчера.

2. Показано, что в реальных условиях абонент не может ожидать связи с диспетчером достаточно долго, поэтому была разработана математическая модель дежурно-диспетчерской службы как многоканальной системы массового обслуживания с ограниченным временем ожидания абонентов, позволяющая определить количественные показатели с учетом ограничения времени ожидания абонентов. Корректность разработанной модели подтверждается совпадением в предельных случаях с известными ранее аналитическими зависимостями для стандартной n -канальной СМО с m -местной очередью и стандартной n -канальной СМО без очереди.

3. Сформулировано и доказано утверждение о диапазоне вероятности потери заявки в стандартных n -канальных СМО с m -местной очередью и ограниченным временем ожидания.

4. Разработанные математические модели позволяют проанализировать

функционирование существующих дежурно-диспетчерских служб и обосновать управленческие решения по их количественным показателям на региональном уровне.

На их основе разработаны соответствующие компьютерные программы, представленные в Приложении Б.

ГЛАВА 3 МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ ДЕЖУРНО-ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СЛУЖБЫ В СИСТЕМЕ ЭКСТРЕННОГО РЕАГИРОВАНИЯ

В главе рассматриваются требования к ДДС систем экстренного реагирования по недопущению потери заявок и отказа в их приёме, по скорейшему приёму заявок к обслуживанию и неперегруженности диспетчеров, что достигается посредством анализа и синтеза ДДС как математических моделей СМО. Приводятся примеры использования графических зависимостей, позволяющих проводить синтез двухуровневых ДДС, а также СМО с «нетерпеливыми» заявками, характерных для Системы-112, и объективно определять минимально необходимое число диспетчеров в смене, АРМ и линий связи.

3.1 Выбор решаемой задачи

3.1.1 Основные требования к характеристикам системы

Как показано ранее (п. 2.1), основными характеристиками незамкнутых СМО, описывающими работу ДДС, являются:

- вероятность отказа в приёме заявки - $p_{отк}$,
- вероятность, что КО не занят - $p_{св}$,
- вероятность немедленного принятия заявки - p_n ,
- нагрузка на КО - ρ ,
- среднее время ожидания заявки в очереди - $t_{ож}$,
- вероятность потери заявки - $p_{пв}$ для СМО с «нетерпеливыми» заявками.

Применительно к замкнутым СМО, обслуживающим конечное число ИЗ N , основными характеристиками являются:

- вероятность полного останова (все N ИЗ подали заявки) - $p_п$,
- вероятности немедленного принятия заявки - p_n и незанятости КО - $p_{св}$,
- средний размер очереди - $m_{оч}$.

Успешное выполнение задач ДДС при моделировании их работы на основе незамкнутых и замкнутых СМО обуславливается требованиями или ограничениями, налагаемыми характеристиками СМО. В частности, на вероятности $p_{отк}$ и $p_{п}$ налагается требование $\leq 0,1\%$ [28]; на вероятность $p_{н}$ - ограничение $>90\%$, или $> 95\%$, или $> 99\%$ [113, 117], в зависимости от важности выполняемых задач; на нагрузку на КО (на диспетчера) – требование $\rho < 0,3 \div 0,4$ [87, 113], во избежание переутомления и риска ошибок при обслуживании заявок; на время ожидания абонента связи с диспетчером $t_{ож} < 10$ с [87, 113]. Наличие таких требований позволяет как оценивать эффективность работы уже действующих ДДС, так и решать задачи проектирования новых ДДС или совершенствования существующих. Такие задачи являются задачами анализа и синтеза СМО соответственно [131- 133].

3.1.2 Задачи анализа и синтеза

Схемы решения задач анализа и синтеза незамкнутых и замкнутых СМО приведены в таблице 3.1 [32]. Применительно к незамкнутым СМО, задача анализа [132] сводится к нахождению определяющих характеристик $X_n = [p_{св}, p_{н}, p_{отк}, t_{ож}, m_{оч}, \rho]$ при известных параметрах ДДС – числу АРМ (КО) n и скорости обслуживания $\mu = 1/t_{об}$, размеру накопителя m или числу ЛС $L = n + m$ и частоте поступления заявок λ (рисунок 3.1а). Сравнивая компоненты вектора X_n (характеристики СМО) с допустимыми значениями, делается вывод о соответствии ДДС предъявленным требованиям или о необходимости её дооснащения – путём создания дополнительных АРМ и ЛС. Задача анализа может решаться с использованием выражений таблиц 2.2 и 2.10 - 2.14.

Применительно к замкнутым СМО, задача анализа сводится к нахождению определяющих характеристик $X_3 = [p_{св}, p_{н}, p_{п}, t_{ож}, M_3, \rho]$ при известных параметрах СМО – числу КО n и скорости обслуживания $\mu = 1 / t_{об}$, а также числу ИЗ N и частоте поступления заявок ν от них. Также, сравнивая компоненты вектора X_3 (характеристики СМО) с допустимыми значениями, делается вывод о

соответствии СМО предъявленным требованиям или о необходимости её дооснащения – путём создания дополнительных КО. Задача анализа замкнутых СМО может решаться с использованием выражений таблица 2.2 и 2.3 и выражений (2.20) - (2.23).

Задача синтеза для незамкнутых СМО-ДДС [132] заключается в том, чтобы по допустимым значениям характеристик $X_H^{доп} = [p_{св}, p_H, p_{отк}, t_{ож}, m_{оч}, \rho]^{доп}$ и известных величинах частоты поступления заявок λ и среднего времени их обслуживания $t_{об}$ определить необходимые значения КО-АРМ n и число ЛС L (рисунок 3.1б).

Таблица 3.1 – Общие схемы анализа и синтеза простых СМО

Вид СМО	Схема анализа	Варианты синтеза	
		Одноканальные СМО	Многоканальные СМО
Незамкнутые	$\leftarrow \lambda$ $\leftarrow [n, \mu, m]$ $\rightarrow X_H$	$\leftarrow [\lambda, (m=0 \vee m \rightarrow \infty)]$ $\leftarrow X_H^{доп} \wedge \vee (C_y \rightarrow \min \vee C_3 \rightarrow \max)$ $\rightarrow \mu$	$\leftarrow [\lambda, (m=0 \vee m \rightarrow \infty)]$ $\leftarrow X_H^{доп} \wedge \vee (C_y \rightarrow \min \vee C_3 \rightarrow \max)$ $\rightarrow [n, \mu]$
		$\leftarrow \lambda$ $\leftarrow X_H^{доп} \wedge \vee (C_y \rightarrow \min \vee C_3 \rightarrow \max)$ $\rightarrow [\mu, m]$	$\leftarrow \lambda$ $\leftarrow X_H^{доп} \wedge \vee (C_y \rightarrow \min \vee C_3 \rightarrow \max)$ $\rightarrow [n, \mu, m]$
Замкнутые	$\leftarrow [N, v]$ $\leftarrow [n, \mu]$ $\rightarrow X_3$	$\leftarrow [N, v]$ $\leftarrow X_3^{доп} \wedge \vee (C_y \rightarrow \min \vee C_3 \rightarrow \max)$ $\rightarrow \mu$	$\leftarrow [N, v]$ $\leftarrow X_3^{доп} \wedge \vee (C_y \rightarrow \min \vee C_3 \rightarrow \max)$ $\rightarrow [n, \mu]$

Примечания: $X_H = [p_{св}, p_H, p_{отк}, t_{ож}, m_{оч}, \rho, \dots]$; $X_3 = [p_{св}, p_H, p_{П}, t_{ож}, M_3, \rho, \dots]$ – наборы характеристик СМО, \vee - или, \wedge - и, $\wedge \vee$ - и/или

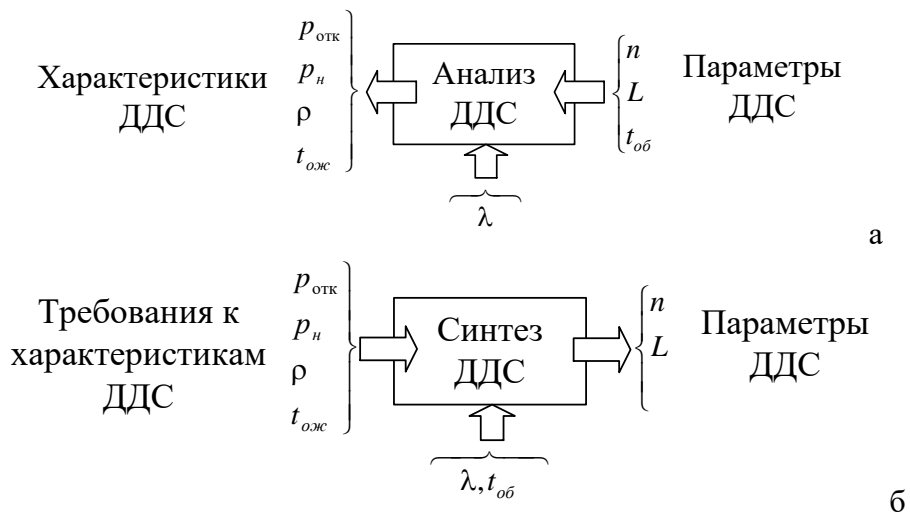


Рисунок 3.1 – Схема решения задач анализа (а) и синтеза (б)

Для замкнутых СМО задача синтеза заключается в том, чтобы по допустимым значениям характеристик $X_3^{\text{доп}} = [p_{\text{св}}, p_{\text{н}}, p_{\text{п}}, t_{\text{ож}}, M_3, \rho]^{\text{доп}}$ и известных величинах частоты поступления заявок ν от ИЗ и их числа N определить необходимое число КО n и скорость обслуживания $\mu = 1/t_{\text{об}}$.

Решение задач синтеза можно решать с использованием графических зависимостей [131]. Первый вариант графической зависимости (рисунок 2.6, 2.7) для синтеза n -канальной незамкнутой СМО с m -местным накопителем был опубликован в работах [32, 33], а в работах [93, 113] приведен более совершенный вид для СМО без ВПК (рисунок 2.8). В работе [113] – наиболее удобный упрощённый вид зависимости (рисунок 2.9) для синтеза ДДС с n АРМ и L ЛС. Данные графические зависимости позволили определять число КО-АРМ (диспетчеров в дежурной смене) экстренных служб «01», «02», «03» и «04» - n_{01} , n_{02} , n_{03} и n_{04} , а также соответствующие размеры накопителей - m_{01} , m_{02} , m_{03} и m_{04} «традиционной» схемы реагирования (рисунок 3.2). Пример решения таких задач синтеза показан на рисунке 3.3 и 3.4.

При необходимости нахождения необходимого числа ЛС L_{01} , L_{02} , L_{03} и L_{04} ДДС экстренных служб «традиционной» схемы реагирования целесообразно использовать графические зависимости (рисунки 2.8 и 2.9). Примеры использования таких зависимостей приведены на рисунке 3.5 и 3.6.

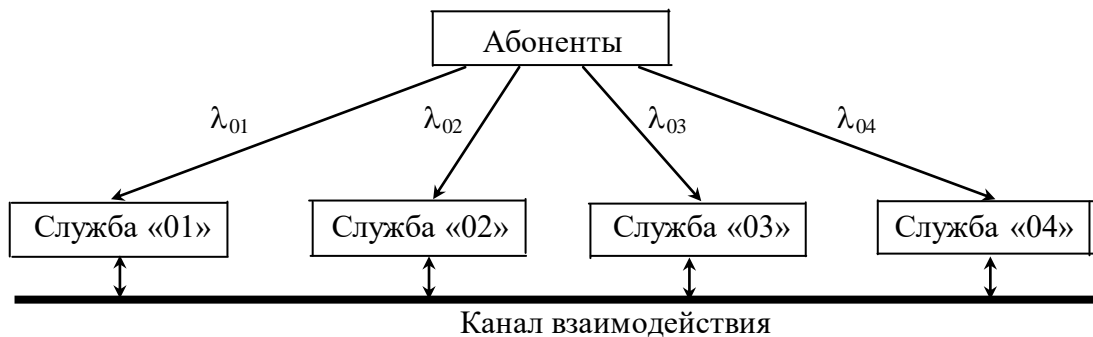


Рисунок 3.2 - «Традиционная» схема взаимодействия абонентов с диспетчерами экстренных служб

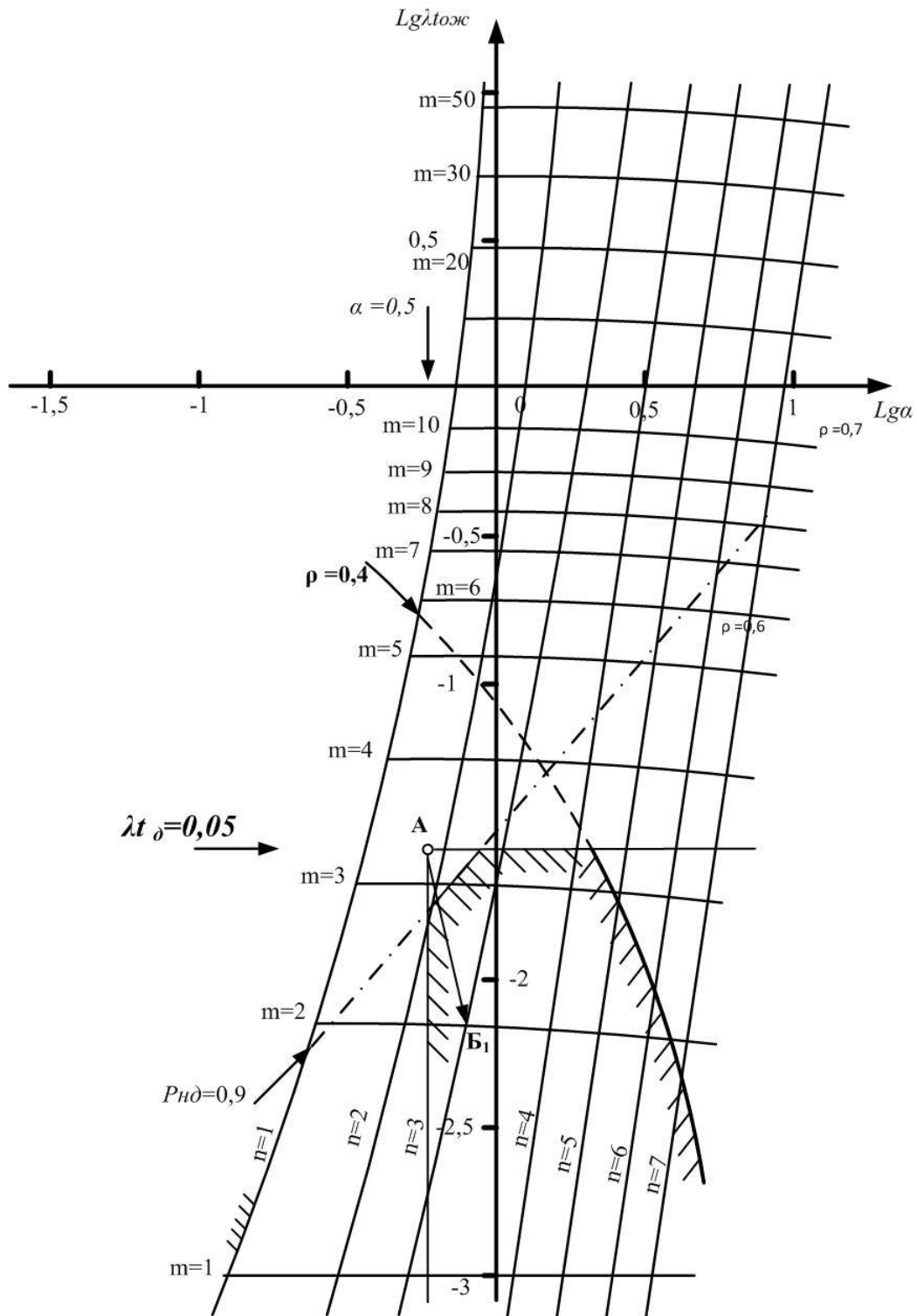


Рисунок 3.3 – Порядок нахождения рационального числа КО n и мест в очереди m для незамкнутой СМО без ВПК по заданной приведённой нагрузке $\alpha = \lambda/\mu$ при ограничениях на время ожидания $t_{ож} < 10$ с, на вероятности отказа $p_{отк} < 0,001$ и немедленного реагирования $p_{н} > 0,9$ и на нагрузку на канал $\rho < 0,4$ (А – исходная рабочая точка, Б₁ – выбранная рабочая точка)

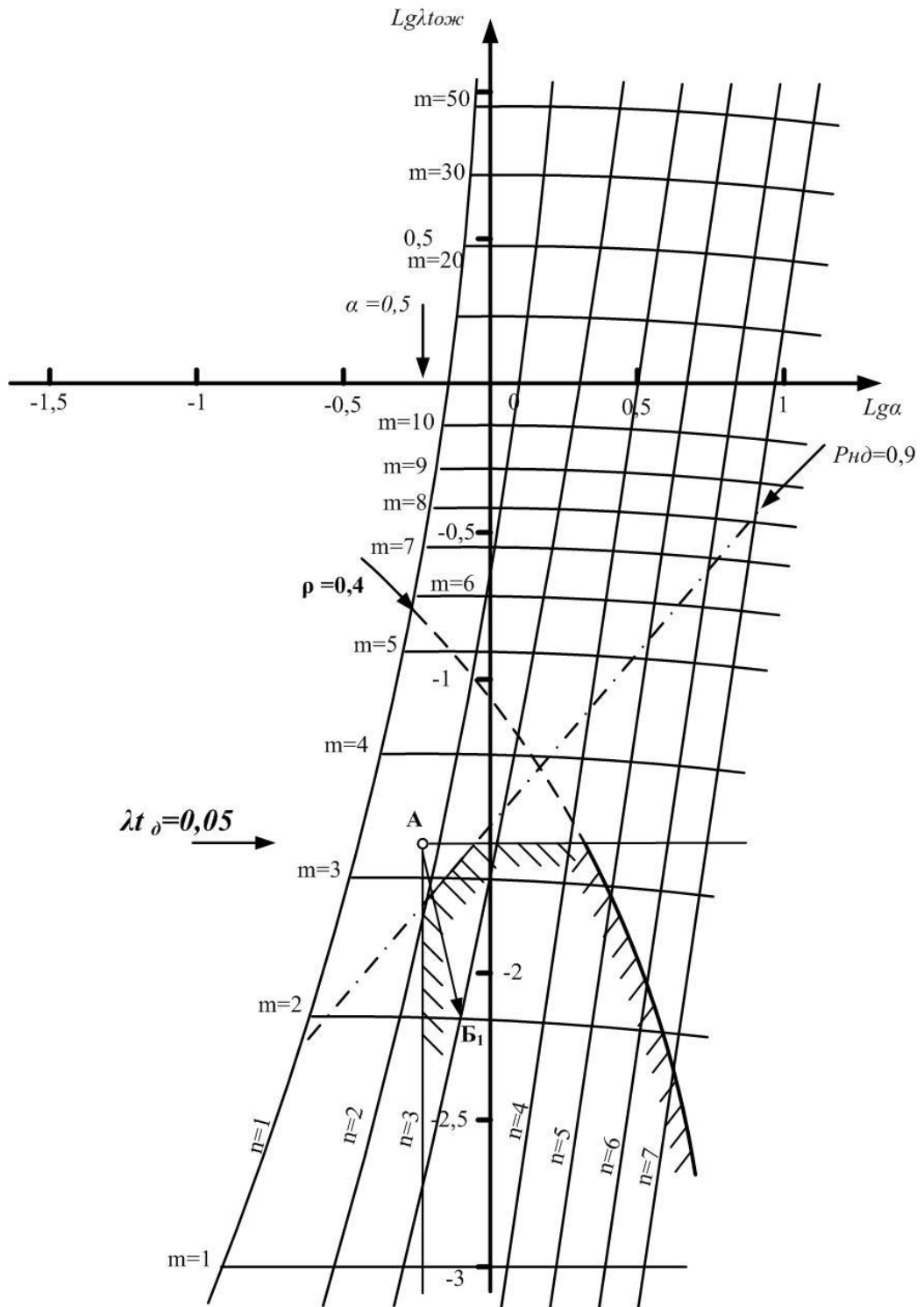


Рисунок 3.4 – Порядок нахождения рационального числа КО n и мест в очереди m для незамкнутой СМО с ВПК по заданной приведённой нагрузке $\alpha=\lambda/\mu$ при ограничениях на время ожидания $t_{ож}<10$ с, на вероятности отказа $p_{отк}<0,001$ и немедленного реагирования $p_n>0,9$ и на нагрузку на канал $\rho<0,4$ (А – исходная рабочая точка, Б₂ – выбранная рабочая точка)

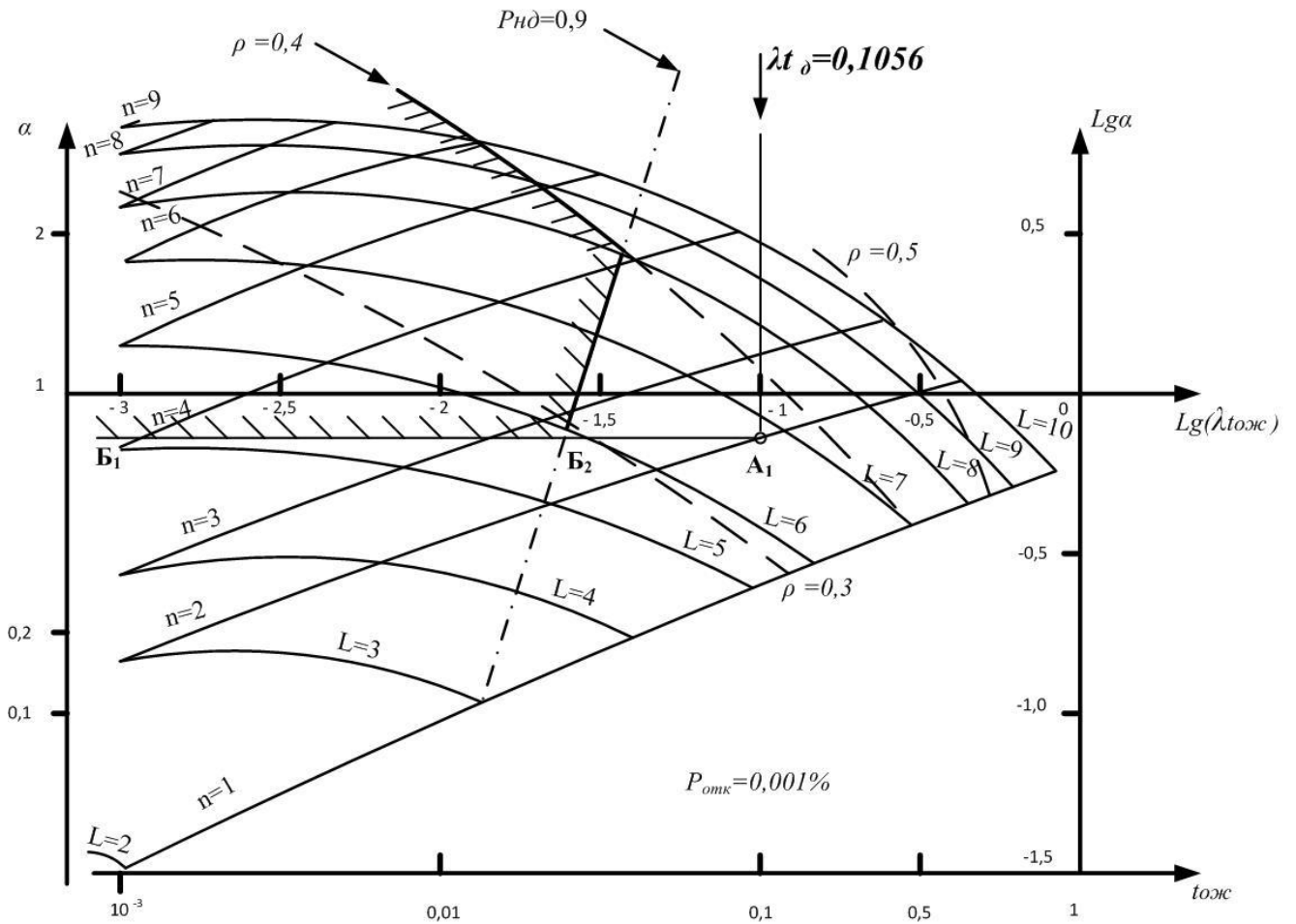


Рисунок 3.5 – Пример нахождения рационального числа КО n и ЛС L для незамкнутых СМО без ВПК по графической зависимости на рисунке 2.8 по заданным величинам λ и μ при ограничениях на время ожидания $t_{ож}$, на вероятности отказа $p_{отк} < 0,001$, немедленного реагирования $p_n > 0,9$ и на нагрузке на канал $\rho < 0,4$ (А, Б₁, Б₂ – исходная и выбранные рабочие точки)

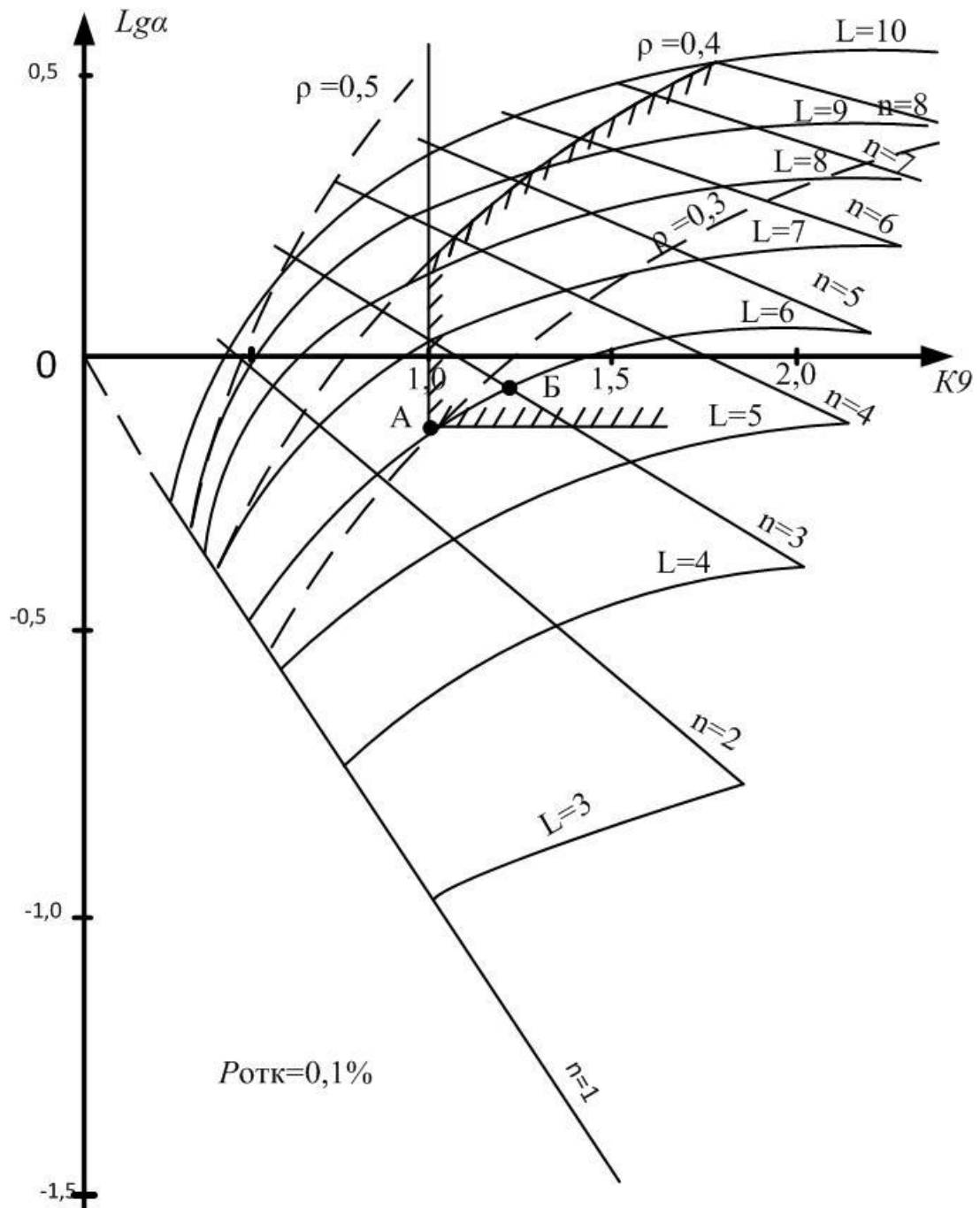


Рисунок 3.6 – Пример нахождения рационального числа КО n и ЛС L для незамкнутых СМО без ВПК по графической зависимости на рисунке 2.9 по заданным величинам λ и μ при ограничениях на вероятности отказа $p_{отк} < 0,001$ и немедленного реагирования ($p_n > 0,9$, $K_9 > 1$) и на нагрузку на канал $\rho < 0,4$ (А – исходная рабочая точка, Б – выбранная рабочая точка)

Представляется целесообразным проверить, насколько правильно осуществлён синтез n -канальных незамкнутых СМО с t -местным накопителем по графическим зависимостям на рисунке 3.3-3.6.

Согласно решения задачи синтеза по зависимости на рисунке 3.3, получаем, что при $\alpha=0,5$ предъявленным требованиям к характеристикам должна отвечать трёхканальная ($n=3$) незамкнутая СМО без ВПК с двухместной ($m=2$) очередью – в обозначениях [32, 81] $E_{k,0,5} \setminus^3 E_{k,1} \setminus 2$. Тогда $\rho=0,5/3=0,16(6) < 0,4$. Из (2.14) находим:

$$p_0 = p_{ос} = \frac{1}{\sum_{i=0}^3 \frac{0,5^i}{i!} + \frac{0,5^3 0,1667 (1 - 0,1667^2)}{6 (1 - 0,1667)}} \approx 0,6061. \quad (3.1)$$

По (2.10) определяем вероятность отказа в приёме заявки:

$$p_{отк} = 0,6061 \frac{0,5^3 0,1667^2}{6} \approx 0,7015 \cdot 10^{-3} < 0,001. \quad (3.2)$$

По (2.11) определяем вероятность немедленного приёма заявки к обслуживанию:

$$p_{н} = 0,6061 \left(1 + 0,5 + \frac{0,25}{2} \right) \approx 0,9849 > 0,9. \quad (3.3)$$

По (2.12) определяем приведённое время ожидания заявки или длину очереди:

$$\lambda t_{ож} = m_{оч} = 0,6061 \frac{0,5^3 0,1667 [1 - (2+1)0,1667^3 + 2 \cdot 0,1667^2]}{6 (1 - 0,1667)^2} \approx 0,0018 < 0,05. \quad (3.4)$$

Таким образом, по графической зависимости на рисунке 3.3 параметры незамкнутой СМО без ВПК выбраны правильно.

Для незамкнутой СМО с ВПК по графической зависимости на рисунке 3.4 получаем, что при $\alpha = 0,5$ предъявленным требованиям к характеристикам такая СМО должна иметь $n = 2$ КО и трёхместный ($m = 3$) накопитель – в обозначениях [32, 81] $E_{k,0,5} \setminus^{2+} E_{k,1} \setminus 3$. Тогда $\rho = 0,5 / 2 = 0,25 < 0,4$.

В соответствии с таблицей 2.2 находим вероятность незанятости КО:

$$p_0 = p_{св} = \frac{1-0,25}{1-0,25^{2+3+1}} \approx 0,7498. \quad (3.5)$$

Также из таблицы 2.2 находим вероятности отказа в приёме заявки и немедленного приёма, а также среднее время ожидания в очереди - соответственно:

$$p_{отк} = 0,7498 \cdot 0,25^{2+3} \approx 0,7322 \cdot 10^{-3} < 0,001; \quad (3.6)$$

$$p_{н} = 0,7498(1+0,25) \approx 0,9373 > 0,9; \quad (3.7)$$

$$\lambda t_{ож} = m_{оч} = p_3 + 2p_4 + 3p_5 \approx 0,0117 + 0,0059 + 0,0022 \approx 0,0198 < 0,05. \quad (3.8)$$

Таким образом, и по графической зависимости на рисунке 3.4 параметры незамкнутой СМО с ВПК выбраны правильно.

Для незамкнутой СМО без ВПК по рисункам 3.5 (р.т. Б₂) и 3.6 получаем, что при $\alpha=0,7$ предъявленным требованиям к характеристикам такая СМО должна иметь $n=3$ КО, $L=6$ ЛС и трёхместный ($m=3$) накопитель – в обозначениях [32, 81] $E_{k,0,7} \setminus E_{k,1} \setminus 3$. Тогда $\rho = 0,7/3 = 0,233(3) < 0,4$.

Из (2.14) находим:

$$p_0 = p_{св} = \frac{1}{\sum_{i=0}^3 \frac{0,7^i}{i!} + \frac{0,7^3 \cdot 0,2333(1-0,2333^3)}{6(1-0,2333)}} \approx 0,4952. \quad (3.9)$$

По (2.10) определяем вероятность отказа в приёме заявки:

$$p_{отк} = 0,4952 \frac{0,7^3 \cdot 0,2333^3}{6} \approx 0,3596 \cdot 10^{-3} < 0,001. \quad (3.10)$$

По (2.11) определяем вероятность немедленного приёма заявки к обслуживанию:

$$p_n = 0,4952 \left(1 + 0,7 + \frac{0,49}{2} \right) \approx 0,9632 > 0,9. \quad (3.11)$$

По (2.12) определяем приведённое время ожидания заявки или длину очереди:

$$\lambda t_{ож} = m_{оч} = 0,4952 \frac{0,7^3 0,2333 [1 - (3+1)0,2333^3 + 3 \cdot 0,2333^4]}{6(1-0,2333)^2} \approx 0,0066 < 0,05. \quad (3.12)$$

Согласно рисунку 3.5, существует ещё один вариант СМО с рабочей точкой Б₁, когда $n=4$, $L=5$, $m=1$ – Ек_{0,7}\^4Ек₁\|1. Для этого варианта из (2.14) находим:

$$p_0 = p_{св} = \frac{1}{\sum_{i=0}^4 \frac{0,7^i}{i!} + \frac{0,7^4 0,175(1-0,175^1)}{24(1-0,175)}} \approx 0,4965. \quad (3.13)$$

По (2.10) определяем вероятность отказа в приёме заявки:

$$p_{отк} = 0,4965 \frac{0,7^4 0,175^1}{24} \approx 0,0869 \cdot 10^{-3} < 0,001. \quad (3.14)$$

По (2.11) определяем вероятность немедленного приёма заявки к обслуживанию:

$$p_n = 0,4965 \left(1 + 0,7 + \frac{0,49}{2} + \frac{0,343}{6} \right) \approx 0,9990 > 0,9. \quad (3.15)$$

По (2.12) определяем приведённое время ожидания заявки или длину очереди:

$$\lambda t_{ож} = m_{оч} = 0,4965 \frac{0,7^4 0,175 [1 - (1+1)0,175^1 + 1 \cdot 0,175^2]}{24(1-0,175)^2} \approx 0,0009 < 0,05. \quad (3.16)$$

Таким образом, по рисункам 3.5 и 3.6 параметры незамкнутых СМО без ВПК выбраны правильно. Вариант СМО $E_{k_0,7} \setminus^3 E_{k_1} \setminus 3$ представляется более предпочтительным, чем $E_{k_0,7} \setminus^4 E_{k_1} \setminus 1$, поскольку затраты на АРМ и диспетчеров будут меньше.

Также целесообразно проверить правильность синтеза СМО без ВПК при отсутствии накопителя ($m=0$) и при неограниченной очереди ($m \rightarrow \infty$) по графическим зависимостям на рисунке 3.7 и 3.8 соответственно.

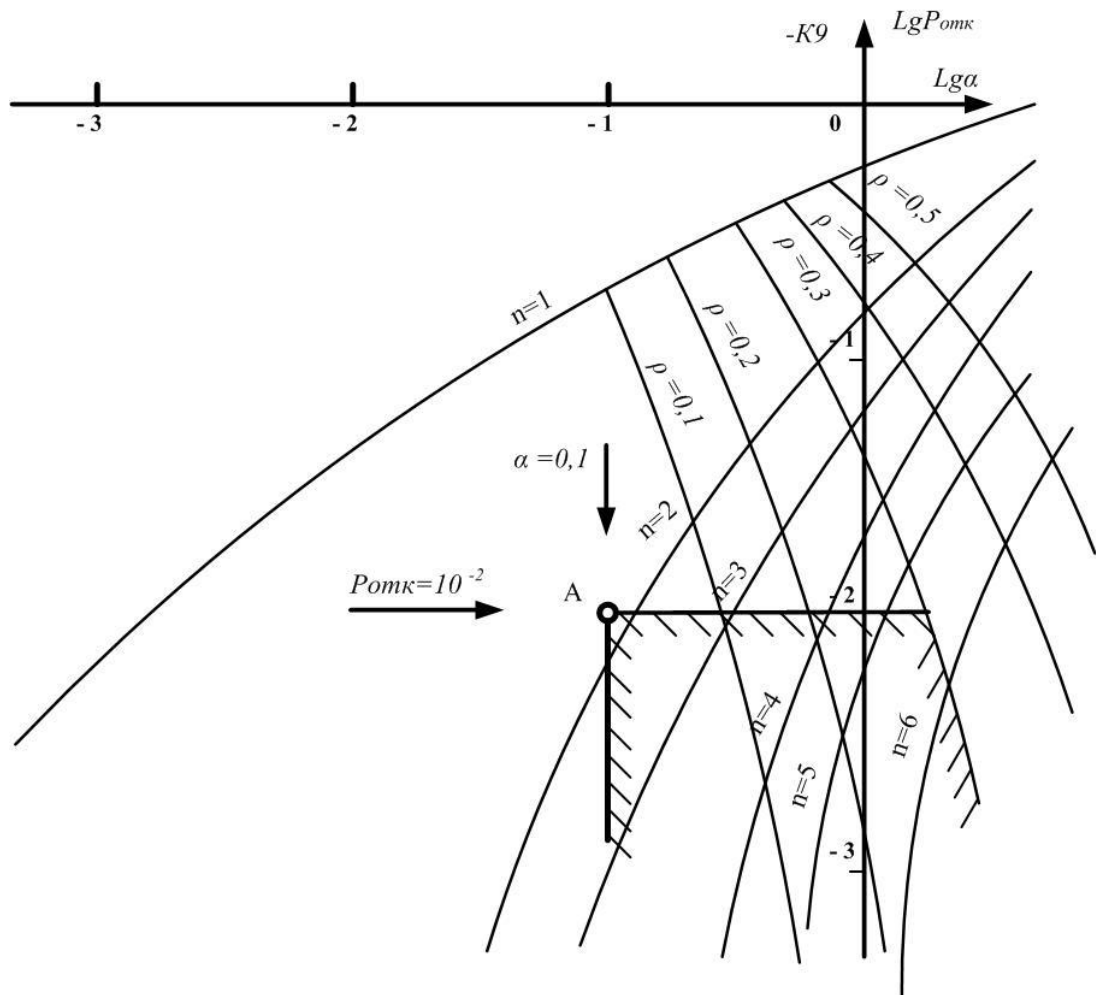


Рисунок 3.7 – Пример нахождения рационального числа КО n незамкнутой СМО без очереди ($m=0$) при $\alpha=0,1$ и ограничениях на вероятности отказа $p_{отк} < 0,01$ и немедленного реагирования ($p_n > 0,99, K9 > 2$) и на нагрузку на канал $\rho < 0,3$

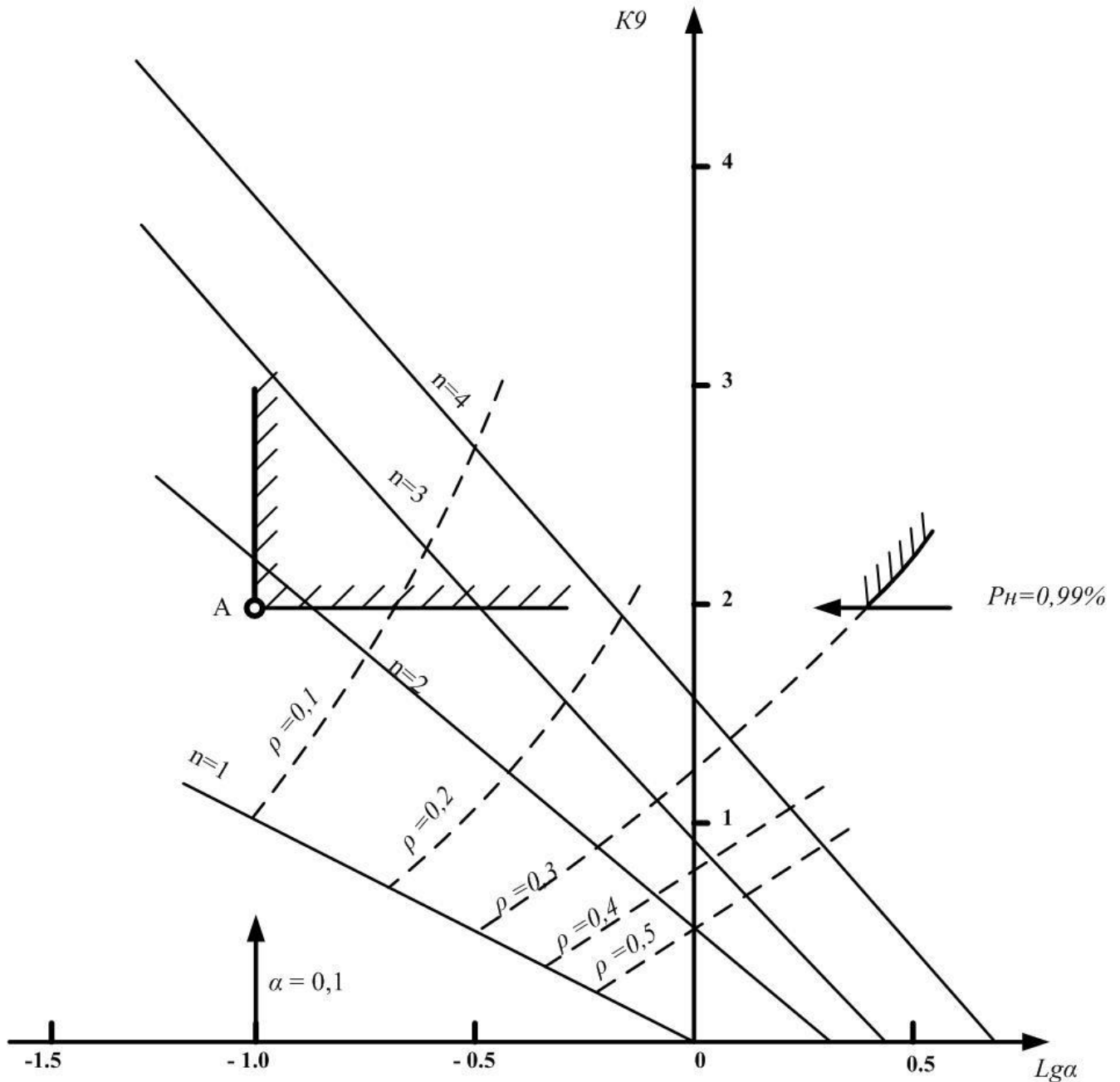


Рисунок 3.8 – Пример нахождения рационального числа КО n незамкнутой СМО с неограниченной очередью ($m \rightarrow \infty$) при $\alpha=0,1$ и требованиях к вероятности немедленного реагирования ($p_H > 0,99$, $K_9 > 2$) и нагрузке на канал $\rho < 0,3$ (A – исходная рабочая точка)

Согласно рисунку 3.7, при требованиях к СМО $p_{отк} \leq 0,01$, $\rho < 0,3$ и $\alpha=0,1$ получаем, что потребуется всего $n = 2$ КО, т.е. в обозначениях [32, 81] $E_{k0,1} \setminus 2 E_{k1} \setminus 0$. Тогда $\rho = 0,1/2 = 0,05 < 0,3$. Из (2.14) находим:

$$p_0 = p_{св} = \frac{1}{\sum_{i=0}^2 \frac{0,1^i}{i!}} \approx 0,9050 \quad (3.17)$$

По (2.10) определяем вероятность отказа в приёме заявки:

$$p_{отк} = 0,905 \frac{0,1^2}{2} \approx 4,545 \cdot 10^{-3} < 0,01 \quad (3.18)$$

По (2.11) определяем вероятность немедленного приёма заявки к обслуживанию:

$$p_n = 0,905(1 + 0,1) \approx 0,9955 > 0,99 \quad (3.19)$$

Поскольку $m = 0$, приведённое время ожидания заявки и длина очереди $\lambda_{тож} = m_{оч} = 0$. Таким образом, согласно рисунку 3.3, параметры незамкнутой СМО без ВПК и без накопителя выбраны правильно.

Согласно рисунку 3.8, при требованиях к СМО, $p_n > 0,99$, $\rho < 0,3$ и $\alpha = 0,1$ получаем, что потребуется также всего $n=2$ КО, т.е. в обозначениях [32, 81] $E_{k_{0,1}} \setminus^2 E_{k_1} \setminus \infty$. Тогда $\rho = 0,1/2 = 0,05 < 0,3$. Из (2.14) находим:

$$p_0 = p_{св} = \frac{1}{\sum_{i=0}^2 \frac{0,1^i}{i!} + \frac{0,1^2 \cdot 0,05}{2(1-0,05)}} \approx 0,905 \quad (3.20)$$

Поскольку $m \rightarrow \infty$, $p_{отк} = 0$. Вероятность немедленного приёма заявки к обслуживанию может быть оценена, как и ранее, по (2.11):

$$p_n = 0,905(1 + 0,1) \approx 0,9955 > 0,99 \quad (3.21)$$

По (2.12) определяем приведённое время ожидания заявки или длину очереди:

$$\lambda t_{ож} = m_{оч} = 0,905 \frac{0,1^2 \cdot 0,05}{2(1-0,05)^2} \approx 2,507 \cdot 10^{-4}. \quad (3.22)$$

Таким образом, по рисунку 3.8 параметры незамкнутой СМО без ВПК и с неограниченным накопителем выбраны правильно.

С использованием графической зависимости на рисунке 2.9 была решена важная прикладная задача – определение числа АРМ диспетчеров и ЛС экстренных служб «01», «02», «03» и «04» при «традиционной» схеме [132] (рисунки 2.12, 3.2) при условии, что $p_{отк} \leq 0,1\%$ [28] и $\rho < 0,3$ [87]. Известно, например, что приведённые нагрузки на ДДС «01» $\alpha_{01}=0,5$, на ДДС «02» $\alpha_{02}=0,6$, на ДДС «03» $\alpha_{03}=1,0$, на ДДС «04» $\alpha_{04}=0,025$.

На рисунке 3.9а приведен результат нахождения числа АРМ диспетчеров и ЛС для ДДС «01» (A_{01} , B_{01} – исходная и найденная рабочие точки) - $n=4$, $L=5$, $m=1$. На рисунке 3.9б приведен результат нахождения числа АРМ диспетчеров и ЛС для ДДС «02» (A_{02} , B_{02} – исходная и найденная рабочие точки) – также $n=4$, $L=5$, $m=1$. На рисунке 3.9в приведен результат нахождения числа АРМ диспетчеров и ЛС для ДДС «03» (A_{03} , B_{03} – исходная и найденная рабочие точки) - $n=4$, $L=6$, $m=2$. На рисунке 3.9г (сплошная линия) приведен результат нахождения числа АРМ диспетчеров и ЛС для ДДС «04» (A_{04} , B_{04} – исходная и найденная рабочие точки) – $n=1$, $L=2$, $m=1$.

Таким образом, согласно (2.18) и (2.19) получаем соответственно общее число АРМ и ЛС для «традиционной» схемы:

$$n_T = 4 + 4 + 4 + 1 = 13, \quad (3.23)$$

$$L_T = 5 + 5 + 6 + 2 = 18. \quad (3.24)$$

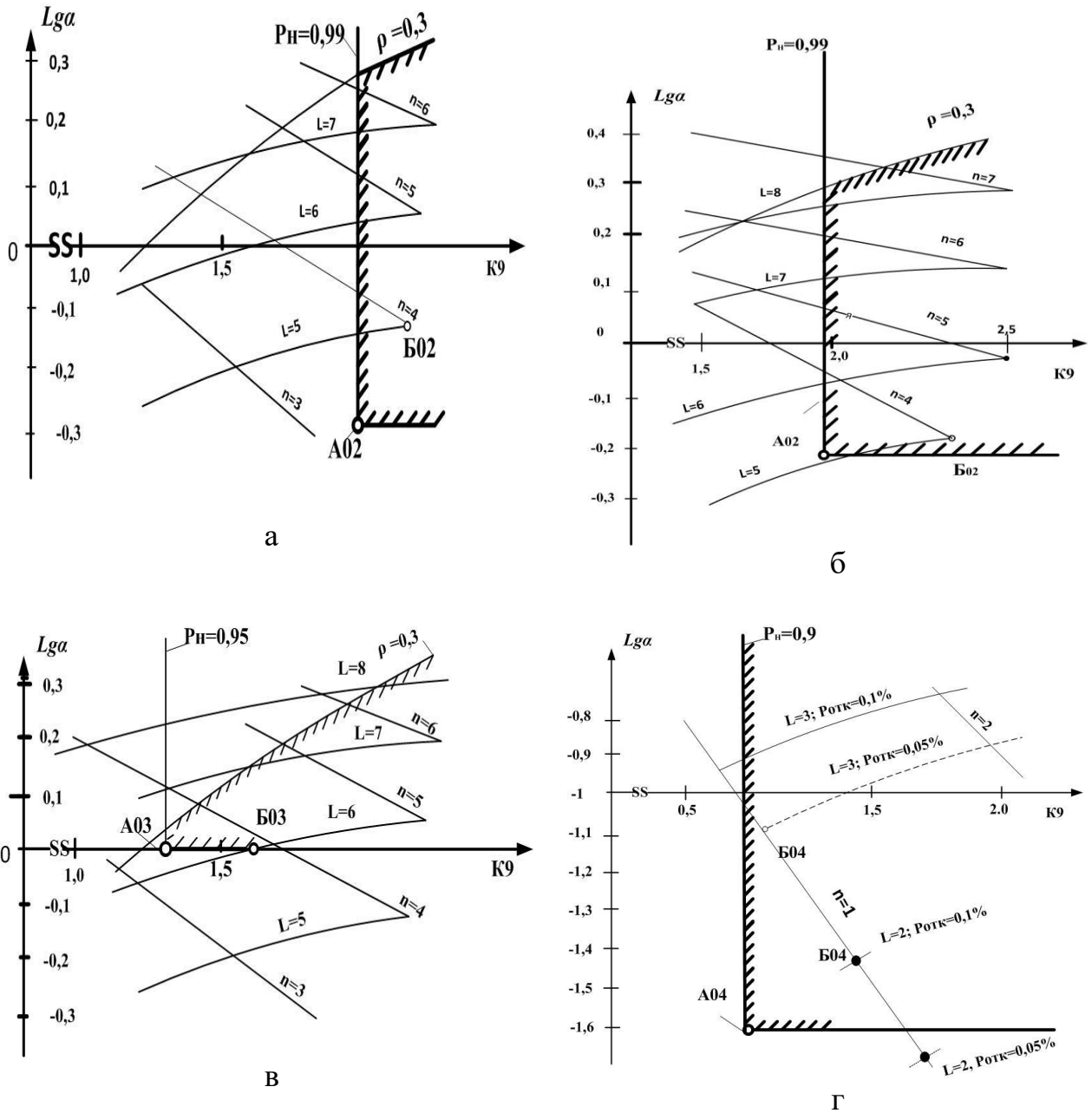


Рисунок 3.9 – Нахождение необходимого числа АРМ (диспетчеров) n и линий связи L при $p_{отк} \leq 0,1\%$ для «традиционной» схемы (а – служба «01», б – служба «02», в – служба «03»), а также для ДДС «04» - в («традиционная» схема, двухуровневая схема)

Описанные выше варианты решения задач анализа и синтеза были реализованы в виде алгоритмов (рисунки 3.10, 3.11), на основе которых написана компьютерная программа (Приложение Б).



Рисунок 3.10 – Алгоритм решения задачи анализа ДДС при определении характеристик дежурно-диспетчерской службы

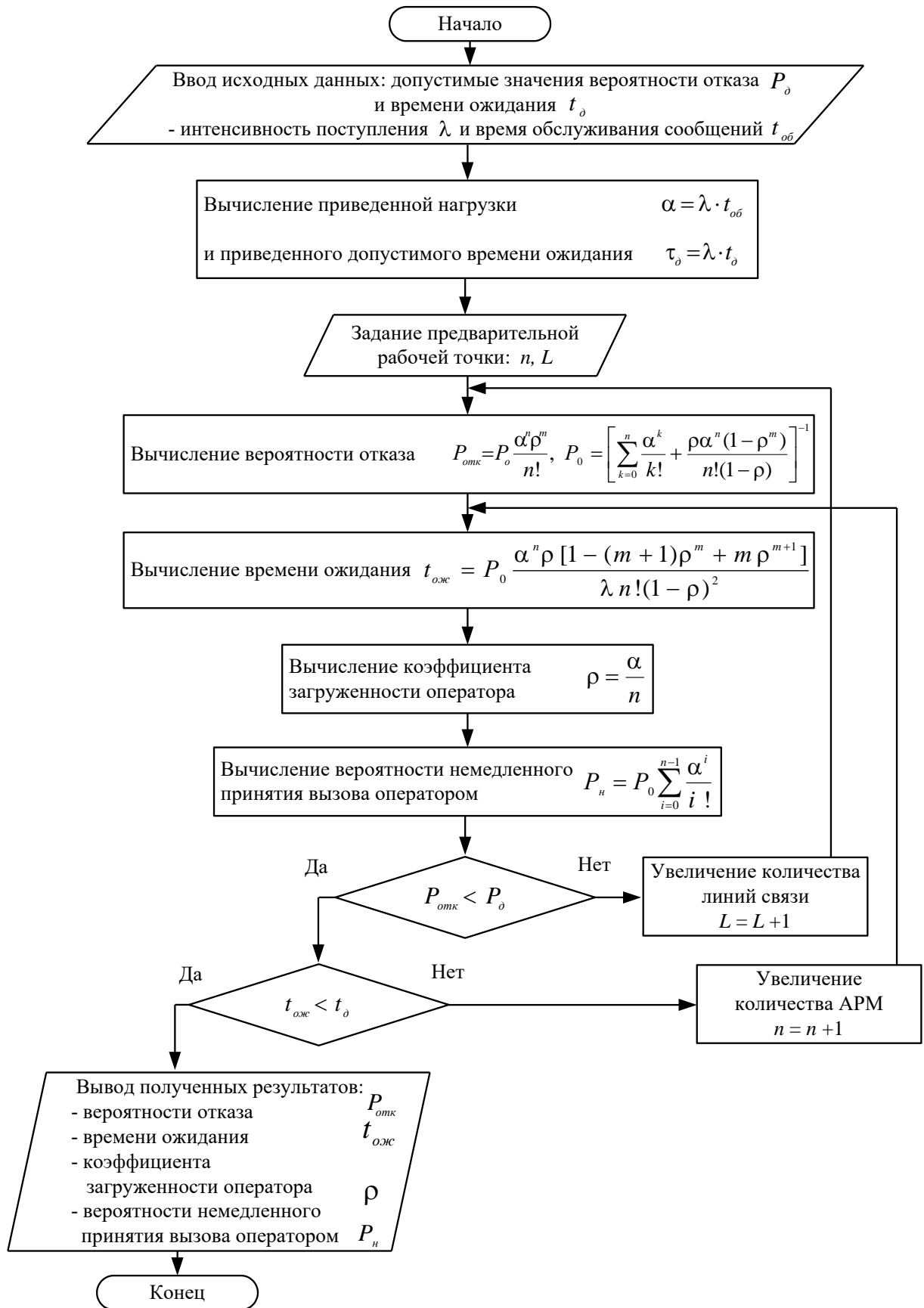


Рисунок 3.11 – Алгоритм решения задачи синтеза ДДС при определении параметров дежурно-диспетчерской службы

Изложенную выше методику нахождения требуемых параметров и характеристик дежурно-диспетчерской службы, обеспечивающих ее устойчивую работу, представим для наглядности в виде блок-схемы (рисунок 3.12).

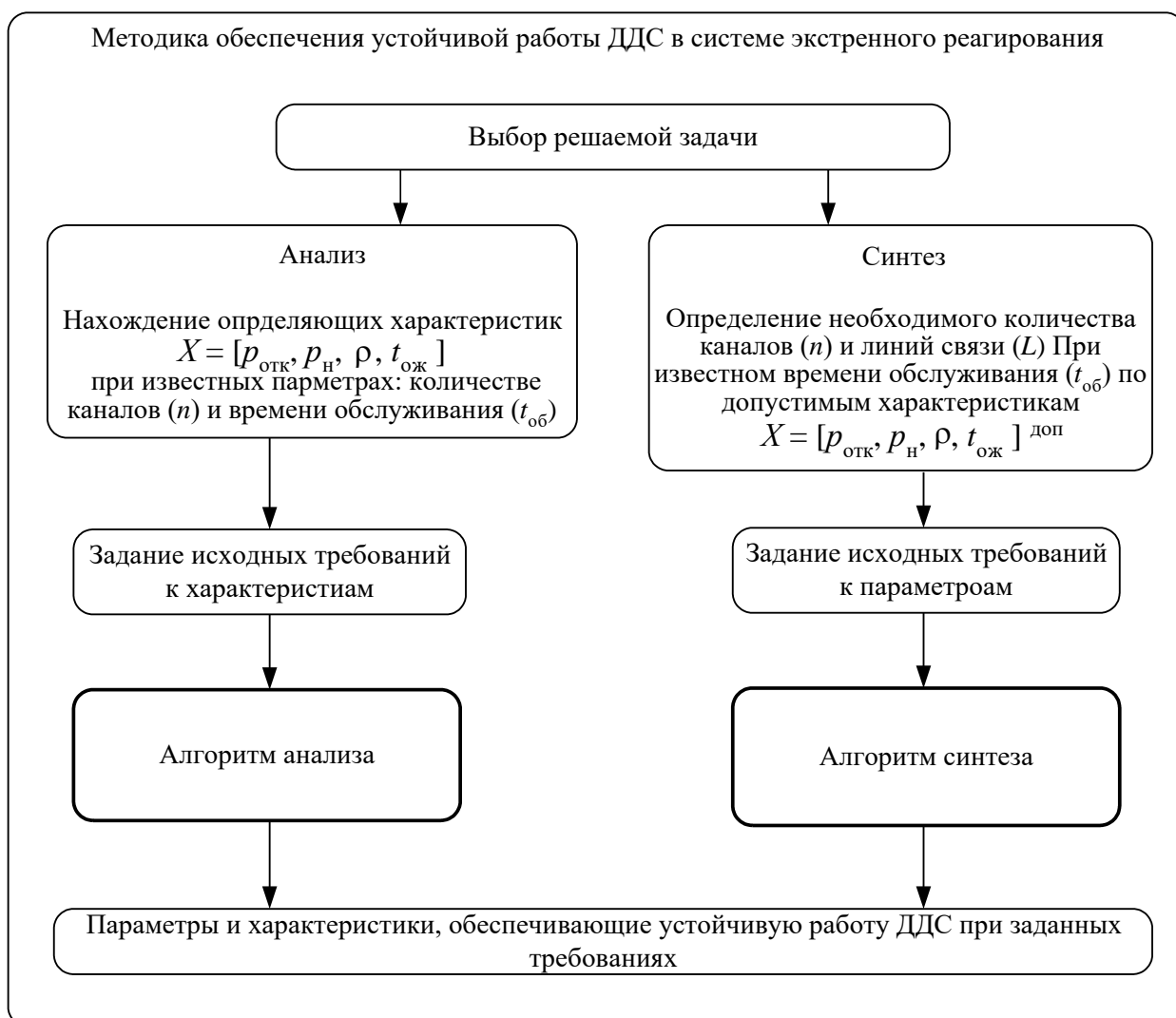


Рисунок 3.12 Блок-схема методики обеспечения устойчивой работы ДДС в системе экстренного реагирования.

3.2 Обеспечение устойчивой работы дежурно-диспетчерской службы при технических сбоях

Технические сбои, возникающие при работе автоматизированных рабочих мест, представляющих из себя персональные компьютеры со специальным программным обеспечением, могут возникать как по причине технических, так и

программных сбоев. Выход из строя одного рабочего места может оказать существенное влияние на выполнение временных требований по обслуживанию поступающих сообщений. Количество технического обслуживающего персонала выбирается также с учетом нормативных рекомендаций (таблица 1.6). Определить необходимое количество специалистов можно также с использованием разработанных моделей.

Применительно к замкнутым СМО без ВПК, в этом случае будет решаться задача синтеза с использованием графических зависимостей 2.13 и 2.14 (рисунок 3.13 и 3.14) следующим образом.

Пусть ДДС [101] «содержит четыре ($N=4$) АРМ, которые требуется обслуживать в среднем каждый один раз в сутки ($\nu=1 \text{ сут}^{-1} \approx 0,0417 \text{ час}^{-1}$), причём поток заявок на обслуживание простейший. К характеристикам ДДС предъявляются следующие требования: вероятность того, что откажут все АРМы (т.е. полный выход из строя ДДС в целом), не должна превышать 0,1% ($p_n \leq 0,001$); вероятность полной готовности всех АРМ должна быть не менее 50% ($p_0 \geq 0,5$); вероятность того, что при отказе АРМ к нему немедленно прибудет обслуживающий специалист для проведения обслуживания, должна быть не менее 90% ($p_n \geq 0,9$); в очереди на проведение обслуживания должно быть не более одного АРМа ($m_{\text{оч}} \leq 1$); технические специалисты, исходя из эргономических соображений [80], должны заниматься обслуживанием с нагрузкой не более 40% ($\rho \leq 0,4$).

Требуется определить минимальное число специалистов в смене (n) и среднюю скорость μ обслуживания АРМ, если время, затрачиваемое на обслуживание, имеет случайный характер и подчинено экспоненциальному закону».

Для решения задачи синтеза такой системы, являющейся замкнутой 4-х канальной СМО, можно использовать рисунок 2.13. Выделим рабочую область, исходя из требований к характеристикам, и найдём рабочую точку «А» на пересечении линий $N = 4$ и $n = 2$ (рисунок 3.13).

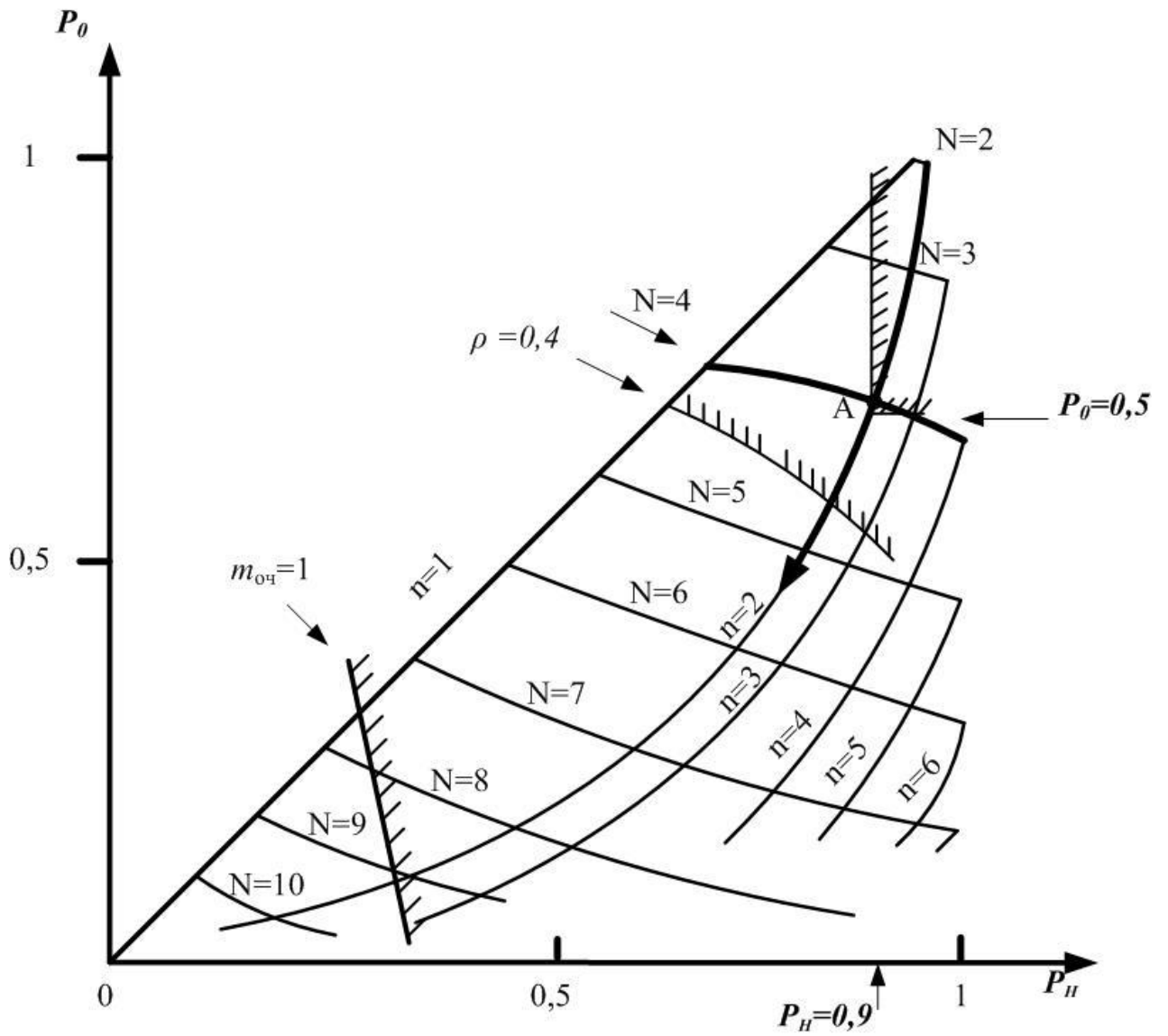


Рисунок 3.13 – Нахождение числа КО n замкнутой СМО без ВПК при ограничениях на длину очереди $m_{оч} < 1$, нагрузку на КО $\rho < 0,4$ и вероятности немедленного реагирования $p_n > 0,9$ и незанятости КО $p_0 > 0,5$

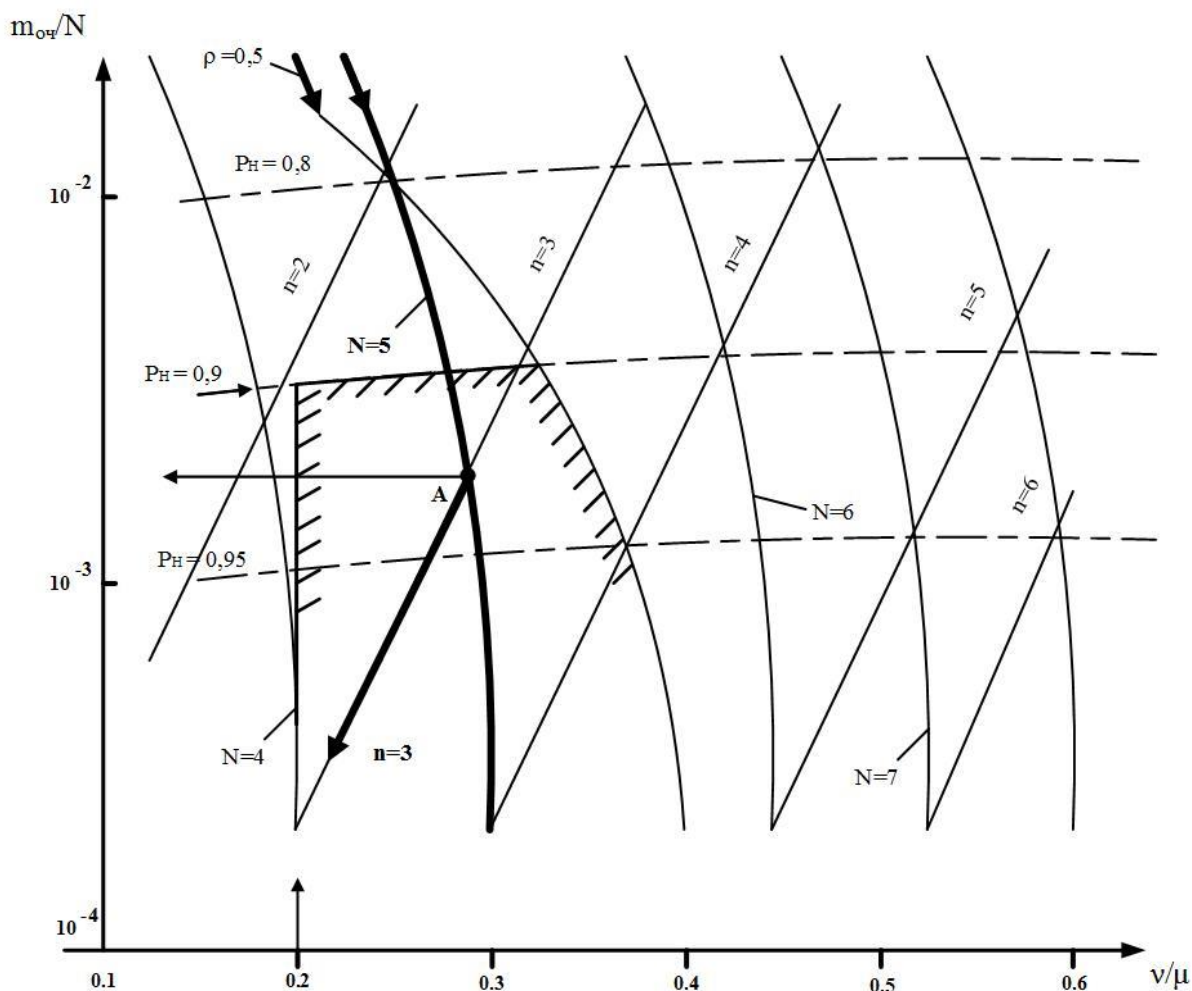


Рисунок 3.14 – Нахождение числа КО n замкнутой СМО без ВПК при ограничениях на вероятность немедленного реагирования $p_H > 0,9$ и нагрузку на КО $\rho < 0,5$ при $v = 0,2$ и $N = 5$

Таким образом, для обслуживания четырёх АРМ необходимо не менее 2-х специалистов. Затем по таблице 2.5 для $N = 4$ и $n = 2$ находим $b = 0,1565$. Тогда $\mu = 0,0417/0,1565 \approx 0,2662$ час⁻¹. Другими словами, каждый обслуживающий специалист должен суметь обслужить АРМ в среднем не менее, чем за $t_{об} = 3,75$ часа.

Проверка, проведённая по выражениям (2.20)-(2.22) для параметров $N=4$, $n=2$ и $b=0,1565$ замкнутой СМО без ВПК (задача анализа), позволила получить следующие значения характеристик СМО: $p_0=0,5563$; $p_n=0,001$; $p_H=0,9045$; $m_{оч}=0,0148$; $\rho=0,3130$, находящиеся в пределах допусков, что подтверждает правильность решения задачи синтеза.

С использованием графической зависимости на рисунке 2.14 можно решить аналогичную задачу синтеза замкнутой СМО без ВПК. Пусть в ДДС имеется пять ($N=5$) АРМ. Требуется найти минимальное количество n обслуживающих их специалистов, если заданы ограничения на вероятности $p_n > 0,9$ и $p_n \leq 0,001$ и на нагрузку на специалиста $\rho < 0,5$. Известно также, что $\nu / \mu = 0,2$.

По графической зависимости на рисунке 3.14 находим рабочую область и точку А, соответствующую трём ($n=3$) обслуживающим специалистам. Проверка по выражениям (2.20) - (2.22) (здесь не приводится) дала положительный результат, подтвердивший правильность решения задачи синтеза замкнутой 3-канальной СМО без ВПК с пятью ИЗ.

3.3 Определение числа автоматизированных рабочих мест и линий связи в системе экстренного реагирования с «нетерпеливыми» заявками

С использованием графической зависимости на рисунке 2.22 «может быть решена задача синтеза для ДДС, работающей в экстремальном режиме, когда поток заявок от абонентов большой, и некоторые абоненты могут покинуть очередь, не дождавшись ввиду нетерпеливости соединения с диспетчером» [133].

Пусть в ДДС с одним диспетчером поступает простейший поток вызовов от абонентов в среднем каждые 30 мин ($\lambda=0,033 \text{ мин}^{-1}$), а диспетчер тратит в среднем на обслуживание заявки 3 мин ($\mu=0,333 \text{ мин}^{-1}$). Таким образом, это одноканальная СМО ($n=1$) с двухместной ($m=2$) очередью (когда диспетчер общается с абонентом по одной линии, на двух других могут ожидать абоненты), а приведённая нагрузка составляет $\alpha=0,1$.

Если абоненты могут ожидать обслуживания сколь угодно долго (т.е. «нетерпеливости» нет - $t_0 \rightarrow \infty$, $\theta \rightarrow 0$), то это стандартная незамкнутая СМО без ВПК [29, 32]. Она может находиться в 4-х состояниях $S_0 \div S_3$ (табл.2.2) с вероятностями, рассчитываемыми по выражениям (2.6)-(2.7): $p_0=0,900090$; $p_1=0,090009$; $p_2=0,009001$; $p_3=0,000900$. Согласно (2.30), вероятность ухода «нетерпеливой» заявки из очереди $p_{yh}=0$. Таким образом,

$p_3=p_{пз}=0,00090 < p_{доп}=0,001$ - условие [28] выполняется.

Если же абоненты «нетерпеливы» [133] и могут ожидать связи с диспетчером в среднем $t_0=6$ мин, то $\theta=0,5$ и вероятности состояний, рассчитанные по (2.27) - (2.29), будут равны соответственно: $p_0=0,903342$; $p_1=0,090334$; $p_2=0,006022$; $p_3=0,000301$. Согласно (2.30), вероятность ухода «нетерпеливой» заявки из очереди $p_{ун}=0,033120$, а вероятность потери заявки, согласно: $p_{пз}=0,000301+0,033120=0,033421$. Т.е. она в более чем 33 раза превысит допустимое значение $p_{доп}=0,001$.

Если же на такую СМО с «нетерпеливыми» заявками наложить условие $p_{пз} < p_{доп}=0,001$, а частота поступления заявок и среднее время ожидания останутся прежними ($\lambda=0,033$ мин⁻¹, $t_0=6$ мин), то заявки диспетчер должен будет обслуживать гораздо быстрее – в среднем за 0,4 мин (т.е. $\mu=2,5$ мин⁻¹). Тогда $\alpha=0,013(3)$, $\theta=0,06(6)$ и, согласно (2.27) - (2.29): $p_0=0,986678$; $p_1=0,013156$; $p_2=0,000164$; $p_3=0,000002$. Согласно (2.30) $p_{ун}=0,841 \cdot 10^{-3}$, а вероятность потери заявки: $p_{пз}=0,2 \cdot 10^{-5}+0,841 \cdot 10^{-3}=0,843 \cdot 10^{-3}$. Условие $p_{пз} < p_{доп}=10^{-3}$ будет выполняться.

Пусть требуется решить задачу синтеза СМО при проектировании ДДС – подобрать величины n и m , когда известны интенсивности $\lambda=0,033$ мин⁻¹ и $\mu=0,333$ мин⁻¹, задано ограничение $p_{пз} < p_{доп}=0,001$ [28] и известно, что абоненты «нетерпеливы».

Если абонент может ожидать связи с диспетчером в среднем $t_0=3$ мин, то $\alpha=0,1$ и $\theta=1$. Воспользовавшись графической зависимостью на рисунке 2.22 и на рисунке 3.15, находим рабочую точку «А» и видим, что условие $p_{пз} < 0,001$ может выполняться только при числе КО (диспетчеров) $n \geq 3$. При этом размер накопителя m существенной роли не играет и может быть принят $m=1$.

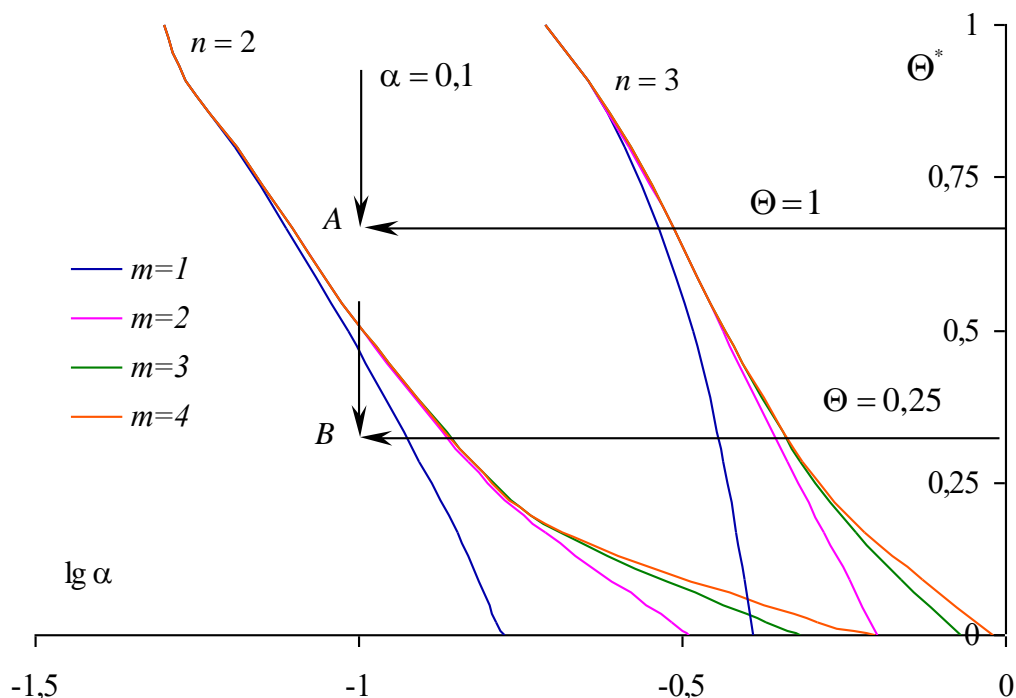


Рисунок 3.15 – Графическая иллюстрация решения задачи синтеза - нахождения необходимого числа КО n и мест в очереди m при $\alpha=0,1$, $\theta=1$ (рабочая точка A) и $\theta=0,25$ (рабочая точка B) при $p_{пв}=0,1\%$. Здесь: $\theta^*=\theta/(0,5+\theta)$ – нормированная «нетерпеливость»

Проверка. Задаёмся величинами $n=3$, $m=1$, $\alpha=0,1$ и $\theta=1$. Согласно (2.27) и (2.29): $p_0=0,904837$; $p_1=0,090484$; $p_2=0,004524$; $p_3=0,000151$; $p_4=0,000004$. Согласно (2.30): $p_{ун}=0,377 \cdot 10^{-4}$ и вероятность потери заявки: $p_{пв} \approx 0,000004 + 0,000038 \approx 0,000042$. Условие $p_{пв}=0,000042 < p_{доп}=0,001$ будет выполняться с запасом.

Если $\alpha=0,1$, но абонент более терпеливый и может ожидать вчетверо дольше – в среднем $t_0=12$ мин, то $\theta=0,25$. Воспользовавшись также графической зависимостью на рисунке 2.22, на рисунке 3.15 находим рабочую точку « B » и видим, что условие $p_{пв} < 0,001$ может выполняться только при числе КО (диспетчеров) $n \geq 2$. При этом размер накопителя m также может быть принят $m=1$.

Проверка. Задаёмся величинами $n=2$, $m=1$, $\alpha=0,1$ и $\theta=0,25$. Согласно (2.27) - (2.29): $p_0=0,904795$; $p_1=0,090480$; $p_2=0,004524$; $p_3=0,000201$. Согласно (2.30): $p_{ун}=0,5027 \cdot 10^{-4}$, вероятность потери заявки: $p_{пв} \approx 0,000201 + 0,000503 = 0,000704$. Условие $p_{пв}=0,000704 < p_{доп}=0,001$ будет выполняться.

Таким образом, зная частоту поступления заявок λ , скорость их

обслуживания μ и «нетерпеливость» абонентов, можно решить задачу синтеза ДДС – найти число АРМ диспетчеров n , размер накопителя заявок m и число ЛС $L = n + m$.

3.4 Определение числа автоматизированных рабочих мест и линий связи в двухуровневой системе экстренного реагирования

В случае двухуровневой схемы обслуживания вызовов ДДС экстренных служб «01» - «04» (рисунок 3.16) вероятность отказа в приёме заявки в каждую ДДС, как показано в главе 2, должна быть не более 0,05%, чтобы выполнялось основное условие [28] для цепочки «call-центр – ДДС» - вероятность потери заявки $\leq 0,1\%$

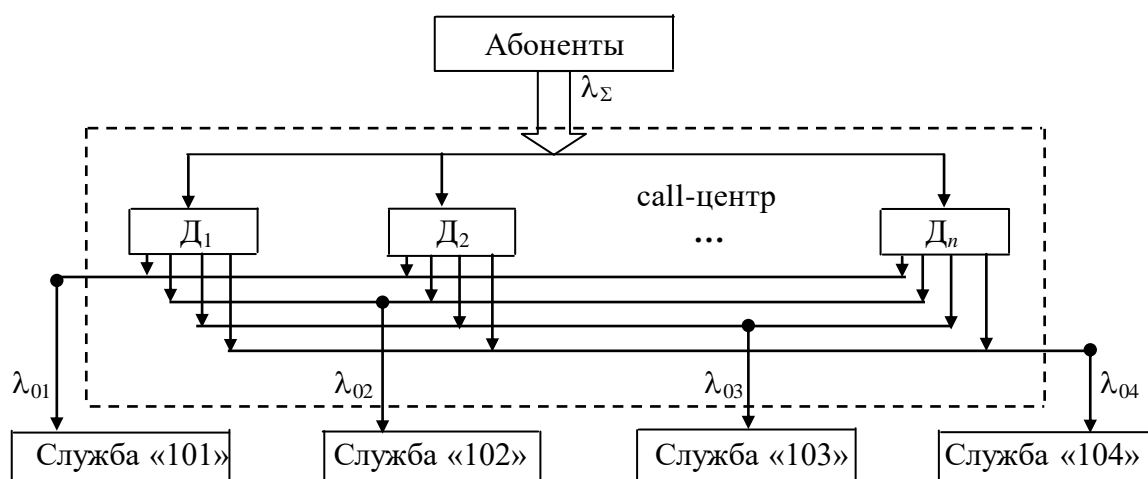


Рисунок 3.16 – Двухуровневая схема взаимодействия абонентов с экстренными службами

Для решения задачи синтеза двухуровневых незамкнутых СМО были проведены расчёты по программе *grafik.exe* (Приложение Б) – см. таблицу 2.6 и построены специальные номограммы (рисунки 2.17, 2.18).

Пусть требуется решить задачу синтеза для двухуровневой СМО (рисунок 2.16) [132]. В качестве исходных данных известно, что приведённая нагрузка на call-центр $\alpha_{ц} = 0,9125$ ($\lg \alpha_{ц} = -0,04$), вероятность немедленного ответа его диспетчера call-центра абоненту должна быть достаточно высокой - $p_{нц} > 0,995$, Для

различных экстренных служб могут быть различные требования к вероятности p_n немедленного принятия заявки, например, для служб «01» и «02» $p_n > 0,99$, для службы «03» $p_n > 0,95$, для службы «04» $p_n > 0,9$. Также согласно [87]: $\rho < 0,3$. Предположим, что имеют место следующие приведённые нагрузки на ДДС экстренных служб - $\alpha_{01}=0,5$ ($\lg\alpha_{03}=-0,3$), $\alpha_{02}=0,6$ ($\lg\alpha_{04}=-0,22$), $\alpha_{03}=1$ ($\lg\alpha_{03}=0$), $\alpha_{04}=0,025$ ($\lg\alpha_{04}=-1,6$).

При решении задачи синтеза для определения числа АРМ диспетчеров и ЛС может использоваться графическая зависимость на рисунке 2.18. На ней в координатах ($\lg\alpha$, K_9) определяются исходные рабочие точки $A_{ц}$, A_{01} , A_{02} , A_{03} , A_{04} и рабочие области (выделяются штриховкой), а затем действительные рабочие точки $B_{ц}$, B_{01} , B_{02} , B_{03} , B_{04} – рисунке 3.17 и рисунке 3.9г (пунктирные линии). В результате получаем: $n_{ц}=5$, $L_{ц}=6$, $n_{01}=4$, $L_{01}=5$, $n_{02}=4$, $L_{02}=5$, $n_{03}=4$, $L_{03}=7$, $n_{04}=1$, $L_{04}=3$. Тогда, согласно (2.25) и (2.26): $n_{ду}=5+4+4+4+1=18$, $L_{ду}=6+5+5+7+3=26$.

По выражениям (2.10) - (2.14) можно провести проверку и убедиться в правильности найденных значений числа АРМ диспетчеров и ЛС двухуровневой системы. Для call-центра: $p_{отк}=0,039\%$, $p_n=0,998$, $\lambda t_{ож}=3,86 \cdot 10^{-4}$, $\rho=0,1825$. Для службы «01»: $p_{отк}=0,020\%$, $p_n=0,998$, $\lambda t_{ож}=1,97 \cdot 10^{-4}$, $\rho=0,125$. Для службы «02»: $p_{отк}=0,044\%$, $p_n=0,997$, $\lambda t_{ож}=4,45 \cdot 10^{-4}$, $\rho=0,15$. Для службы «03»: $p_{отк}=0,024\%$, $p_n=0,980$, $\lambda t_{ож}=6,46 \cdot 10^{-3}$, $\rho=0,25$. Для службы «04»: $p_{отк}=0,002\%$, $p_n=0,975$, $\lambda t_{ож}=6,40 \cdot 10^{-4}$, $\rho=0,025$. Это свидетельствует о правильности решения задачи синтеза с использованием графической зависимости на рисунке 2.18.

Следует отметить, что по сравнению с «традиционной» системой обслуживания заявок ДДС экстренных служб (рисунки 2.12, 3.2), когда $n_T=13$, $L_T=18$, в двухуровневой системе при тех же требованиях число АРМ диспетчеров и ЛС заметно возросло: $n_{ду}=18$, $L_{ду}=26$ – на 38,46% и 44,44% соответственно. Кроме того, появляется риск потери заявки при переадресации.

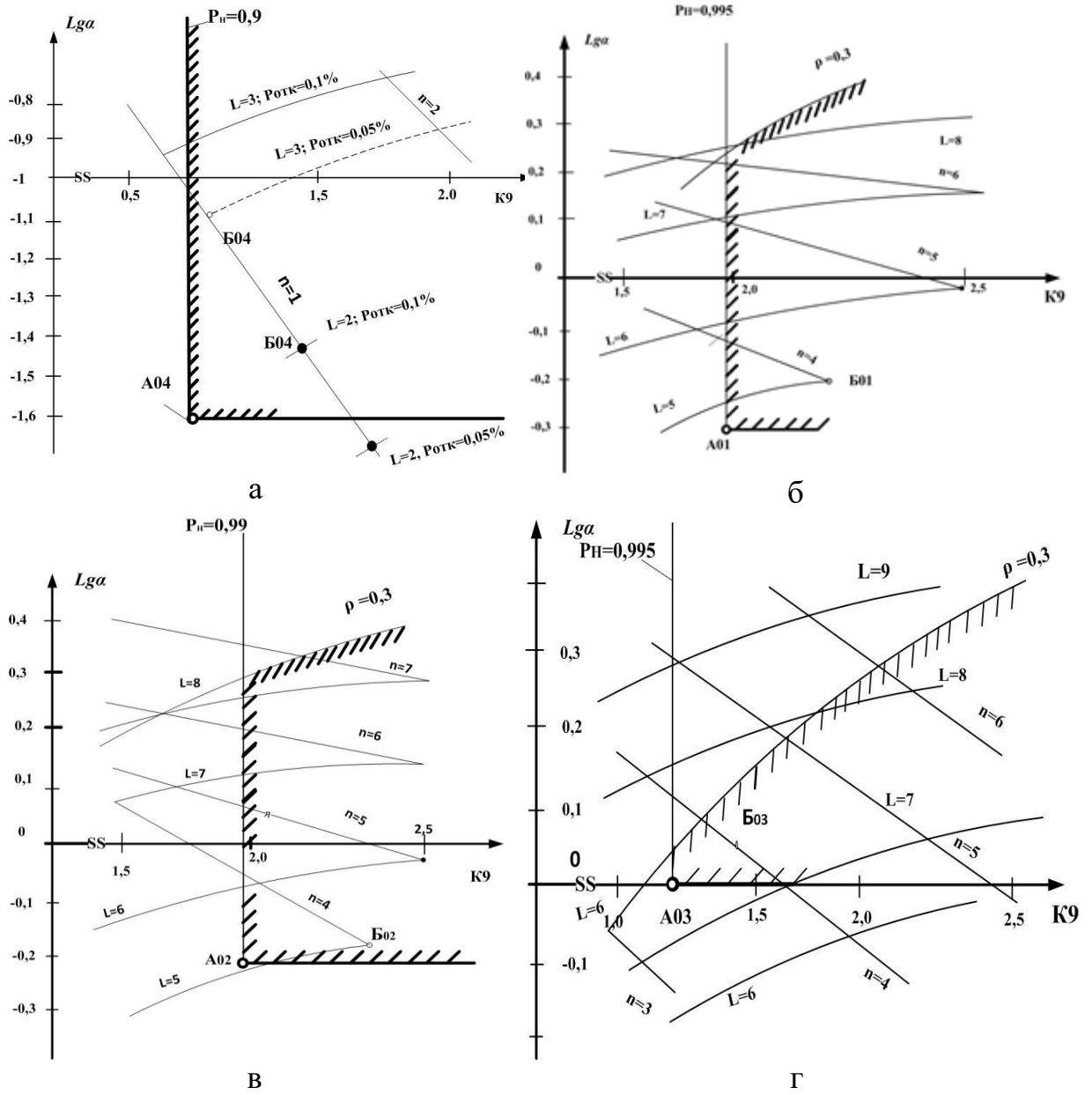


Рисунок 3.17 – Нахождение необходимого числа диспетчеров n и линий связи L (при $p_{отк} \leq 0,05\%$) для двухуровневой схемы (а – call-центр, б – служба «01», в – служба «02», г – служба «03»)

3.5 Оценка эффективности применения разработанных методик и моделей при управлении Системой -112 на региональном уровне

Как правило, интенсивность поступающих сообщений и в течение месяца, и в течение суток различна и отличается от средних значений, приведенных в таблицах 1.8 – 1.10.

В результате исследования массива поступивших сообщений за 2016 – 2020гг. установлено, что количество дней с превышением среднего значения поступающих сообщений более чем на 10% составляет около 15-20 % от всех сообщений, поступивших в месяц. Эти значения представлены в таблицах 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2 – Количество суток в 2017 году, в которые превышает средняя интенсивность поступающих сообщений более чем на 10 %

Месяц	Среднее значение (сообщений в месяц)	Кол-во суток, с превышением среднего значения более чем на 10%
Январь	857	5
Февраль	1151	6
Март	1146	4
Апрель	1136	5
Май	1126	4
Июнь	1137	5
Июль	1091	5
Август	1092	8
Сентябрь	1160	7
Октябрь	1125	5
Ноябрь	1137	7
Декабрь	1086	5

Таблица 3.3 - Количество суток в 2018 году, в которые превышает средняя интенсивность поступающих сообщений более чем на 10 %

Месяц	Среднее значение (сообщений в месяц)	Кол-во суток, с превышением среднего значения более чем на 10%
Январь	972	5
Февраль	1008	4
Март	1044	4
Апрель	1207	5
Май	1137	5
Июнь	1131	5
Июль	1100	7
Август	1097	5
Сентябрь	1233	7
Октябрь	1179	4
Ноябрь	1155	4

Анализ работы диспетчерской службы ЦОВ Системы -112 Республики Коми и Методических рекомендаций МЧС России [22] позволил установить необходимые данные для оценки функционирования ЦОВ Системы -112 Республики Коми. Так, среднее время обработки сообщений ($t_{об}$) составляет 1,25 мин или 75 сек., а максимально допустимое время ожидания абонента в очереди ($t_{доп}$) – 0,333 мин или 20 сек., соотношение времени нахождения диспетчера на рабочем месте к продолжительности рабочей смены (коэффициент готовности диспетчера) $k_T = 0,8$, что при продолжительности смены 12 часов составляет 9,6 час.

Опыт исследования функционирования ЦОВ экстренных оперативных служб [93] показывает, что количество сообщений в различное время суток также отличается от среднего значения в ночные часы в меньшую сторону, а в часы наибольшей нагрузки в большую сторону, упоминается отклонение в 70% [93].

Рассмотрим это на примере данных о поступивших сообщениях в декабре 2018 г. Среднее количество сообщений в сутки за месяц составляет 45,21 выз/час.

Распределение средних значений за месяц поступивших сообщений по часам суток представлено на рисунке 3.18.

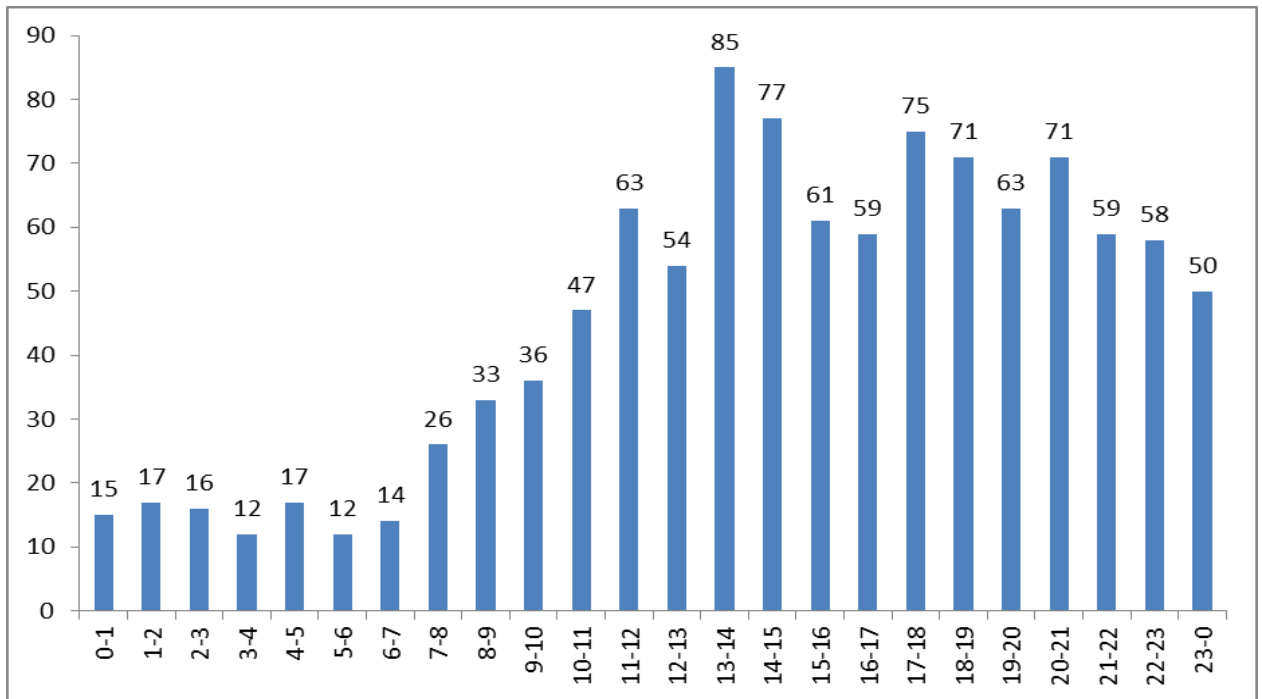


Рисунок 3.18 - Распределение средних значений поступивших сообщений по часам суток за декабрь 2018 г. с округлением до целых значений

Максимальное отклонение от среднего значения – 91 выз/час, что составляет 88%. Минимальное отклонение – 12 выз/час, что составляет 73%.

Используем эти данные для оценки основных характеристик ЦОВ Системы – 112 Республики Коми, выбранных с учетом рекомендаций типового технического проекта [22] (таблица 1.6). Оценку будем производить по разработанным методикам с учетом данных, представленных в таблицах 1.8 – 1.13. Используем данные, представленные на рисунке 3.18, как максимально и минимально возможные значения интенсивности поступающих сообщений в течение суток для соответствующих месяцев, для расчета необходимого количества АРМ и линий связи, т.е. решим задачу анализа существующей системы (п. 3.1.2).

Результаты расчетов представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Требуемое количество АРМ и линий связи при прогнозируемых отклонениях (+90% и -70%) от среднего значения количества поступающих сообщений по месяцам (начало)

Месяц	2017								
	Среднее значение выз/час	Количество АРМ	Количество ЛС	max (+90%) выз/час	Количество АРМ	Количество ЛС	min (-70%) выз/час	Количество АРМ	Количество ЛС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Январь	35,72	3	7	67,9	4	9	10,7	2	4
Февраль	47,97	3	8	91,1	4	13	14,4	2	5
Март	47,76	3	8	90,7	4	13	14,3	2	5
Апрель	47,33	3	8	89,9	4	13	14,2	2	5
Май	46,93	3	8	89,2	4	13	14,1	2	5
Июнь	47,39	3	8	90,0	4	13	14,2	2	5
Июль	45,45	3	8	86,4	4	12	13,6	2	5
Август	45,5	3	8	86,5	4	12	13,7	2	5
Сентябрь	48,32	3	8	91,8	4	13	14,5	2	5
Октябрь	46,88	3	8	89,1	4	13	14,1	2	5
Ноябрь	48,96	3	9	93,0	4	13	14,7	2	5
Декабрь	45,26	3	8	86,0	4	12	13,6	2	5

Таблица 3.4 – Требуемое количество АРМ и линий связи при прогнозируемых отклонениях (+90% и -70%) от среднего значения количества поступающих сообщений по месяцам (продолжение)

2018									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Январь	40,6	3	7	77,1	4	11	12,2	2	4
Февраль	41,99	3	7	79,8	4	11	12,6	2	4
Март	43,49	3	8	82,6	4	11	13,0	2	4
Апрель	50,28	3	9	95,5	5	11	15,1	2	5
Май	47,48	3	8	90,2	4	13	14,2	2	5
Июнь	47,14	3	8	89,6	4	13	14,1	2	5
Июль	45,85	3	8	87,1	4	12	13,8	2	5
Август	45,73	3	8	86,9	4	12	13,7	2	5
Сентябрь	49,73	3	9	94,5	5	11	14,9	2	5
Октябрь	50,76	3	9	96,4	5	11	15,2	2	5
Ноябрь	46,56	3	8	88,5	4	13	14,0	2	5
Декабрь	45,21	3	8	85,9	4	12	13,6	2	5

Как видно из результатов расчетов, представленных в таблице 3.4, из 24 анализируемых месяцев только в 3 случаях требуется работа 5 АРМов (диспетчеров) в часы наибольшей нагрузки. В остальных случаях достаточно работы 3-4 АРМов. В часы наименьшей нагрузки достаточно 2-х работающих АРМов.

Если детально рассмотреть каждый случай требующий работы 5 операторов, то можно утверждать следующее:

1. Увеличение числа АРМов вызвано превышением допустимого времени ожидания абонента связи с диспетчером. В первом случае (95,5 выз/час) на 1,9 сек. и составляет 21,9 сек., во втором случае (94,5 выз/час) на 1,1 сек. и составляет 21,1 сек., в третьем случае (96,4 выз/час) на 2,6 сек. и составляет 22,6 сек.

2. Если учесть данные таблиц 3.2 и 3.3, то можно предположить, что такие случаи будут появляться не часто.

3. Если сократить время обработки вызова (при расчетах оно берется среднее – 1.25 мин.) всего на 0,04 мин. до 1.21 мин., т.е. всего на 2,4 сек., то можно обойтись работой 4 АРМов (диспетчеров). Даже в этих трех рассматриваемых случаях время ожидания соединения с диспетчером не превысит рекомендуемые 20 сек. Сделать это можно следующим образом: время обработки вызова диспетчером связано с его квалификацией (опытом работы). То есть, необходимо запланировать на наиболее загруженные часы работу наиболее квалифицированных диспетчеров.

Таким образом, можно рассмотреть два варианта получения экономического эффекта от реализации разработанных в диссертации моделей и методик расчета:

1. Сокращение количества операторов дежурной смены с 6 до 5 человек.
2. Сокращение количества операторов дежурной смены с 6 до 4 человек.

**3.6 Оценка экономических показателей при реализации
управленческих решений в Центре обработки вызовов
Системы - 112 на территории Республики Коми**

Оценим предлагаемые управленческие решения по количественному составу Центра обработки вызовов Системы – 112 Республики Коми (п. 3.5) с экономической точки зрения. Для этого будем использовать данные, представленные в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Средние значения расходов на оплату труда и содержание диспетчеров

Наименование показателей	Количество
Количество диспетчеров, сокращаемых в результате предлагаемого управленческого решения, чел.	2
Расчетные данные по оплате труда диспетчера (среднее значение за месяц), руб. (в т.ч НДФЛ 13%)	28736
Отчисления во внебюджетные фонды на одного диспетчера, руб.	8678,27
Расходы на содержание одного автоматизированного рабочего места в год, руб	37 000
Расходы на обмундирование, одного диспетчера в год, руб.	6 000
Расходы на оплату льготного проезда в год, среднее значение ,руб.	20 000

Оценку экономических показателей будем производить следующим образом:

1. Сокращение оплаты труда:

$$Э_{\text{фот}} = Z_{\text{ср}} * n = 28736 * 2 = 57472 \text{ руб.},$$

где: $Z_{\text{ср}}$ - данные по оплате труда диспетчера (таблица 3.5);

n - количество диспетчеров;

Уменьшение оплаты труда за месяц составит 57472 руб., за год – 689 664 руб.

2. Уменьшение расходов, связанных со взносами во внебюджетные фонды:

$$\mathcal{E}_{\text{вн.фонды}} = O * n = 8678,27 * 2 = 17356,54 \text{ руб.}, \text{ за год} - 208\,278,48 \text{ руб.},$$

где O - отчисления во внебюджетные фонды на одного диспетчера в месяц;

n - количество диспетчеров.

3. Уменьшение расходов на оплату труда и отчисления во внебюджетные фонды за год:

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{фот}} + \mathcal{E}_{\text{вн.фонды}} = 689664 \text{ руб.} + 208278,48 \text{ руб.} = 897942,48 \text{ руб.}$$

$$576\,000 + 483840 = 1\,059\,840 \text{ руб.}$$

4. Сокращение расходов на содержание автоматизированных рабочих мест:

$$37\,000 \text{ руб.} * 2 = 74\,000 \text{ руб.}$$

5. Сокращение расходов на обмундирование:

$$6000 \text{ руб.} * 2 = 12\,000 \text{ руб.}$$

6. Сокращение коммунальных расходов:

$$800 \text{ руб.} * 2 * 12 = 19\,200 \text{ руб.}$$

7. Сокращение расходов на оплату льготного проезда (предоставляется до границы Российской Федерации на сотрудника и одного члена семьи):

$$20\,000 \text{ руб.} * 2 = 40\,000 \text{ руб.}$$

Итого: 2 102 982,48 руб. для варианта сокращения количества операторов дежурной смены с 6 до 4 человек, или 1 051 491, 24 руб. для варианта сокращения количества операторов дежурной смены с 5 до 4 человек.

Повышение эффективности принимаемых решений с точки зрения рассмотренных экономических затрат составит соответственно 33,3 % в первом случае и 16,7 % во втором.

Таким образом, на примере экономического расчета, основанного на статистических данных о поступающих сообщениях за исследуемый период, использующего разработанные модели, алгоритмы и реальные данные материального обеспечения диспетчерской службы ЦОВ Системы – 112 продемонстрировано успешное достижение цели, поставленной в работе.

Выводы по третьей главе

1. Одним из основных требований к дежурно-диспетчерской службе является устойчивость её работы в различных условиях функционирования. Показано, что выполнение данного условия может достигаться нормативным путём - предъявлением требований к основным характеристикам дежурно-диспетчерской службы, таким, как вероятность отказа, вероятность немедленного обслуживания заявки, нагрузка на диспетчера и другим.

2. Для удобства применения полученных результатов без применения ЭВМ разработаны графические зависимости для решения соответствующих задач. Приведены примеры решения таких задач с их использованием.

3. Показано, что кроме нормативного подхода при проектировании (задача синтеза) дежурно-диспетчерской службы и нахождении параметров (количество АРМ, линий связи и времени обслуживания) целесообразно применить подход, учитывающий экономический фактор.

4. Таким образом, разработана методика, включающая алгоритмы обеспечения устойчивой работы, позволяющая осуществлять анализ и синтез дежурно-диспетчерской службы в качестве системы массового обслуживания, как двухуровневой, так и с ограниченным временем ожидания, когда заданы требования к характеристикам, известны интенсивности поступления заявок и требуется определить параметры дежурно-диспетчерской службы – количество автоматизированных рабочих мест, линий связи и средние скорости обслуживания.

5. Разработанная методика реализована в виде алгоритмов (рисунки 3.10, 3.11), на основе которых написана компьютерная программа (Приложение Б).

6. Проведена оценка повышения эффективности управления Системой -112 на региональном уровне на основе разработанных методики, моделей и алгоритмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований разработаны методика, математические модели и алгоритмы, позволяющие обосновать количественные показатели ДДС в соответствии с предъявляемыми вероятностными требованиями и учитывающими особенности их функционирования в системой вызова экстренных служб на региональном уровне. Это способствует решению актуальной задачи – совершенствованию управления системой вызова экстренных служб на региональном уровне, имеющей существенное значение для повышения уровня защищенности объектов национальной экономики, собственности и жизни граждан от угроз техногенного и природного характера.

Основные результаты, полученные в работе:

1. Проведен анализ современного состояния и задач управления службами экстренного реагирования. Показано, что характерной особенностью функционирования дежурно-диспетчерской службы в настоящее время является двухуровневый характер обслуживания поступающих сообщений о пожарах и чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера, а также социально-значимых происшествиях. Выявлена необходимость разработки новых уточненных моделей и методик для обоснования количественных показателей дежурно-диспетчерской службы с учетом двухуровневого характера обслуживания.

2. Разработана математическая модель работы дежурно-диспетчерской службы как системы массового обслуживания с учетом двухуровневого характера обслуживания поступающих сообщений с первичным приемом заявок call-центром и последующей переадресацией их соответствующим службам экстренного реагирования. Данная модель позволяет оценить вероятности состояний и характеристики дежурно-диспетчерской службы в зависимости от её параметров и интенсивности поступления сообщений абонентов.

3. Разработана математическая модель работы центра управления службами экстренного реагирования с учётом ограниченного времени ожидания

(«нетерпеливости») абонентов, и обоснована возможность решения задач анализа и синтеза с использованием данной модели. Сформулировано и доказано утверждение о диапазоне вероятности потери заявки в стандартных n -канальных системах массового обслуживания с m -местной очередью и ограниченным временем ожидания.

4. Разработана методика, включающая алгоритмы обеспечения устойчивой работы, позволяющая осуществлять анализ и синтез дежурно-диспетчерской службы в качестве системы массового обслуживания как двухуровневой, так и с ограниченным временем ожидания, когда заданы требования к характеристикам, известны интенсивности поступления заявок и требуется определить параметры дежурно-диспетчерской службы – количество автоматизированных рабочих мест, линий связи и средние скорости обслуживания.

5. Приведена количественная оценка повышения эффективности управления Системой-112 на примере Республики Коми с применением разработанных моделей и алгоритмов.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АНБ	Аварийно-наладочная бригада
АРМ	Автоматизированное рабочее место
АСУТП	Автоматизированная система управления технологическими процессами
АСС	Аварийно-спасательная служба
АХОВ	Аварийно-химически опасное вещество
ВПК	Взаимопомощь каналов обслуживания
ГПС	Государственная противопожарная служба
ДДС	Дежурно-диспетчерская служба
ДП	Диспетчерский пункт
ДТП	Дорожно-транспортное происшествие
ИЗ	Источник заявок
КВО	Критически важный объект
КО	Канал обслуживания
ЛПР	Лицо, принимающее решение
ММ	Математическая модель
РК	Республика Коми
РТП	Руководитель тушения пожара
СБ	Система безопасности
СМО	Система массового обслуживания
СМП	Скорая медицинская помощь
ТМО	Теория массового обслуживания
ЦОВ	Центр обслуживания вызовов
ЦУКС	Центр управления в кризисных ситуациях
ЧС	Чрезвычайная ситуация

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конституция РФ [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28399, дата обращения 18.01.2019.
2. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68 «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295, дата обращения 18.01.2019.
3. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69 «Закон о пожарной безопасности» [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438, дата обращения 21.03.2016.
4. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123 (ред. от 13.07.2015) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699, дата обращения 21.03.2016.
5. Указ Президента РФ от 15.02.2011 № 195 «О некоторых вопросах Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_110710, дата обращения 21.03.2016.
6. Указ Президента Российской Федерации от 28 декабря 2010 г. № 1632 «О совершенствовании системы обеспечения вызова экстренных оперативных служб на территории Российской Федерации» [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_108660, дата обращения 11.03.2016.
7. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2003 г. № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_45914, дата обращения 21.03.2016.
8. Постановление Правительства Российской Федерации от 21 мая 2007 г. № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [Электронный ресурс] / Режим доступа:

http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_68490, дата обращения 11.03.2016.

9. Постановление Правительства Российской Федерации от 24 марта 1997 г. № 334 «О порядке сбора и обмена в Российской Федерации информацией в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_13806, дата обращения 4.07.2018.

10. Постановление Правительства Российской Федерации от 08 ноября 2013 № 1007 «О силах и средствах единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_154394, дата обращения 4.07.2018.

11. Постановление Правительства Российской Федерации от 21 ноября 2011 года № 958 «О системе обеспечения вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112» [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_122161, дата обращения 4.07.2018.

12. Постановление Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2004 г. № 894 «Об утверждении перечня экстренных оперативных служб, вызов которых круглосуточно и бесплатно обязан обеспечить оператор связи пользователю услугами связи, и о назначении единого номера вызова экстренных оперативных служб» [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51103, дата обращения 4.07.2018.

13. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 04 мая 2012 г. № 716-р «О Концепции федеральной целевой программы «Создание системы обеспечения вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112» в Российской Федерации на 2012–2017 годы» [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129620, дата обращения 15.03.2018.

14. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 августа 2008 г. № 1240-р «Об одобрении Концепции создания системы обеспечения вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112» на базе единых дежурно-диспетчерских служб муниципальных образований» [Электронный ресурс] / Режим

доступа: mchs.gov.ru/upload/site1/ilona/fcp112.docx, дата обращения 15.03.2018.

15. Закон Республики Коми № 48-РЗ (ред. от 08.05.2007) «О защите населения и территорий Республики Коми от ЧС природного и техногенного характера» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://base.garant.ru/27490989>, дата обращения 14.11.2019.

16. Постановление Правительства Республики Коми 2009 г. № 102 (ред. от 03.12.2013) «О Порядке сбора и обмена информацией в области защиты населения и территорий Республики Коми от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.garant.ru/hotlaw/komi/198037>, дата обращения 14.11.2019.

17. Постановление Правительства Республики Коми 2004 г. № 121 «О Коми республиканской подсистеме единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://base.garant.ru/27302158>, дата обращения 14.11.2019.

18. Постановление Правительства Республики Коми 2014 г. № 66 «О силах и средствах постоянной готовности Коми республиканской подсистемы единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://base.garant.ru/48667520>, дата обращения 14.11.2019.

19. Постановление Правительства Республики Коми 2013 г. № 3 «Об утверждении Положения о системе оповещения и информирования населения Республики Коми по сигналам гражданской обороны, при угрозе возникновения или возникновения чрезвычайных ситуаций межмуниципального и регионального характера» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://base.garant.ru/27377445>, дата обращения 14.11.2019.

20. Распоряжение Правительства Республики Коми 2012 г. № 130-р «Об утверждении Плана мероприятий по развитию информационного общества и формированию электронного правительства в Республике Коми, Концепция-112» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://base.garant.ru/27368902>, дата обращения 14.11.2019.

21. Распоряжение правительства Республики Коми .2008 г. № 534-р (ред. от 18.11.2011) «Об утверждении Регламента взаимодействия Правительства Республики Коми и Главного управления МЧС России по Республике Коми по решению некоторых вопросов в области гражданской, обороны, защиты населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, пожарной безопасности» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://base.garant.ru/27491278>.

22. Методические материалы по созданию системы обеспечения вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112» в субъекте Российской Федерации «СИСТЕМА-112» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.mchs.gov.ru/document/420422>, дата обращения 23.01.2020.

23. Приказ МЧС РФ 2009 г. №700 «Об утверждении Положения об организации оперативной дежурной службы в системе МЧС России» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71226958>, дата обращения 23.01.2020.

24. Приказ МЧС России 2009 г. № 604 «О переименовании центров управления силами федеральной противопожарной службы по субъектам Российской Федерации» // – М., 2009 г. – 47 с.

25. ГОСТ Р 22.7.01-99. Безопасность в ЧС. Единая дежурно-диспетчерская служба. Основные положения [Текст] – Введ. 01.01.2000. – М.: Изд-во стандартов, 1999.

26. Приказ МЧС России 2017 г. № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71746130>.

27. Приказ Главного управления МЧС России по Республике Коми 2015 г. №570 «Об организации оперативной дежурной службы в федеральном казенном учреждении «Центр управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по Республике Коми» на 2016 год».

28. РД 45.120-2000 (НТП 112-2000). Нормы технологического

проектирования. Городские и сельские телефонные сети. - Введ. 26.10.2000. – М. : ЦНТИ «Информсвязь», 2000.

29. Вентцель, Е.С. Исследование операций [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.

30. Гнеденко, Б.В. Введение в теорию массового обслуживания [Текст] / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. – М.: Наука, 1966. – 434 с.

31. Новиков, О.А. «Прикладные вопросы теории массового обслуживания» [Текст]. / О.А. Новиков, С.И. Петухов. – М.: Советское радио, 1969. – 396 с.

32. Таранцев, А.А. «Инженерные методы теории массового обслуживания» [Текст] / А.А. Таранцев // –2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Наука, 2007. – 175 с.

33. Абдурагимов, Г.И. Теория массового обслуживания в управлении пожарной охраной [Текст] / Г.И. Абдурагимов, А.А. Таранцев. – М.: МИПБ МВД России, 2000. – 101 с.

34. Алехин, Е.М. О распределении Эрланга и некоторых его приложениях [Текст] / Е.М. Алехин, Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23. – № 6. – С. 11–17.

35. Брушлинский, Н.Н. Системный анализ в деятельности ГПС [Текст] / Н.Н. Брушлинский.– М.: МИПБ МВД России, 1998. – 255 с.

36. Брушлинский, Н.Н. Моделирование оперативной деятельности пожарной службы [Текст] / Н.Н. Брушлинский. – М.: Стройиздат, 1981. – 95 с.

37. Бубнов, В.П. Разработка динамических моделей нестационарных систем обслуживания [Текст]/ В.П. Бубнов, В.И. Сафонов. – М.: Изд-во «Лань», 1999. – 64 с.

38. Вадзинский, Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям [Текст] / Р.Н. Вадзинский. – СПб.: Наука, 2001. – 295 с.

39. Васильев, В.В. Исследование вопросов автоматизации оперативного управления системами экстренного обслуживания населения: дисс.... канд. техн. наук: 05.13.01 / Васильев Владимир Владимирович. – Л., 1979. – 189 с.

40. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров // 3-е изд., перераб. и доп. – М.:

Изд-во «Академия», 2003. – 448 с.

41. Амосова, Н.Н. Вероятностны разделы математики [Текст] / Н.Н. Амосова, Б.А. Куклин, С.Б. Макарова, Ю.Д. Максимов, Н.М. Митрофанова, В.И. Полищук, Г.Л. Шевляков. Под общей ред. Ю.Д. Максимова. – СПб.: Изд-во «Иван Федоров», 2001. – 592 с.

42. Батырев, В.В. Технологии создания структурированных систем мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений [Текст] / В.В. Батырев, О.С. Волков, С.А. Качанов // Монография. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). – 2011. – 270 с.

43. Гутарев, С.В. Автоматизированная система поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации ЧС в мегаполисах [Электронный ресурс] / С.В. Гутарев, С.А. Качанов, А.П. Попов // Материалы десятой научно-технической конференции «Системы безопасности СБ-2001». – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2001. – Режим доступа: http://agps-2006.narod.ru/konf/2001/sb-2001/sec_1.html.

44. Денисов, А.А. Теория больших систем управления [Текст] / А.А. Денисов, Д.Н. Колесников. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 288 с.

45. Денисьева, О.М. Системы массового обслуживания с ограниченным ожиданием [Текст] / О.М. Денисьева. – М.: Радио и связь, 1986. – 112 с.

46. Джейсуол, Н. Очереди с приоритетами [Текст] / Н. Джейсуол. – М.: Мир, 1973. – 282 с.

47. Erlahg, A.K. Solution of Some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges [Текст] / A.K. Erlahg // The Post Office Electrical Engineers Journal – 1918. Vol. 10, – P. 189-197.

48. Жожикашвили, В.А. Сети массового обслуживания. Применение к сетям ЭВМ [Текст] / В.А. Жожикашвили, В.М. Вишневский. – М.: Радио и связь, 1988. – 191 с.

49. Журавлев, В.А. Сравнительная оценка вероятностей отказов систем с потерями и двумя входящими пуассоновскими потоками [Текст] / В.А. Журавлев // Заводская лаборатория. – 1997. – № 7. – С. 58-60.

50. Заездный, А.М. Основы расчетов по статистической радиотехнике [Текст] / А.М. Заездный. – М.: Связь, 1969. – 448 с.
51. Ивченко, Г.И. Теория массового обслуживания [Текст] / Г.И. Ивченко, В.А. Каштанов, И.Н. Коваленко. – М.: Высшая школа, 1982. – 256 с.
52. Качанов, С.А. Применение комплексного планирования мероприятий в целях совершенствования системы вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112» в субъекте Российской Федерации [Текст] / С.А. Качанов, С.В. Агеев, О.Б. Ковтун, А.В. Виноградов // Технологии гражданской безопасности. – № 2. – Т. 9. – 2012. – С. 4-9.
53. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания [Текст] / Л. Клейнрок. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
54. Коробко, В.Б. Организационное проектирование многофункциональной пожарно-спасательной службы [Текст] / В.Б. Коробко, Ю.М. Глуховенко. – М.: Изд-во АРС, 2003. – 278 с.
55. Кофман, А. Массовое обслуживание. Теория и приложения [Текст] / А. Кофман, Р. Крюон. – М.: Мир, 1965. – 302 с.
56. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука. – 1984. – 832 с.
57. Лазарев, В.Г. Динамическое управление потоками информации в сетях связи [Текст] / В.Г. Лазарев, Ю.В. Лазарев. – М.: Радио и связь, 1983. – 216 с.
58. Лебедев, А.Н. Вероятностные методы в инженерных задачах. Справочник [Текст] / А.Н. Лебедев, М.С. Куприянов, Д.Д. Недосекин, Е.А. Чернявский. – СПб.: Энергоатомиздат, 2000. – 332 с.
59. Лившиц, Б.С. Теория телетрафика [Текст] / Б.С. Лившиц, А.П. Пшеничников, А.Д. Харкевич. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Связь, 1979. – 224 с.
60. Лифшиц, А.Л. Статистическое моделирование систем массового обслуживания [Текст] / А.Л. Лифшиц, Э.А. Мальц. – М.: Сов.радио, 1978. – 249 с.
61. Манин, П.А. Моделирование работы центров обработки заявок в экстремальных условиях [Текст] / П.А. Манин, А.А. Таранцев, О.В. Щербаков // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – № 4. – 2013. – С. 111 – 117.

62. Матюшин, А.В. Обоснование законов распределения временных характеристик оперативного реагирования подразделений пожарной охраны [Текст] / А.В. Матюшин, А.А. Порошин, А.А. Кондашов, Ю.А. Матюшин // Пожарная безопасность. – № 6. – 2006. – С. 69–79.
63. Массовое обслуживание в системах передачи информации [Текст] / Сборник статей под ред. А.Д. Харкевича. – М.: Наука, 1969. – 194 с.
64. Беляев, Ю.К. Надежность технических систем [Текст] / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др. // Справочник Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
65. Насельский, С.П. Методы теории массового обслуживания в задачах управления в экономике [Текст] / С.П. Насельский, А.И.Нижников и др. – М.: МГОПУ им. М.А. Шолохова, 2003.
66. Погорельская, К.В. Моделирование характеристик работы ЦППС [Текст] / К.В. Погорельская, А.А. Таранцев // Вестник Санкт-Петербургского Института ГПС МЧС России. – № 3 (6). – 2004 г.
67. Прабху, Н. Методы теории массового обслуживания и управления запасами [Текст] / Н. Прабху. – М.: Машиностроение, 1969. – 356 с.
68. Пранов, Б.М. Математическое моделирование оптимального размещения ресурсов в системах безопасности [Электронный ресурс] / Б.М. Пранов // Технологии техносферной безопасности». – 2010. – № 3 (31). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2010-3/17-03-10.ttb.pdf>
69. Райкин, А.Л. Элементы теории надежности для проектирования технических систем [Текст] / А.Л. Райкин. – М.: Советское радио, 1967. – 263 с.
70. Риордан, Д. Вероятностные системы обслуживания [Текст] / Д. Риордан. – М.: Связь, 1966. – 190 с.
71. Рогинский, В.Н. Теория сетей связи [Текст] / В.Н. Рогинский, А.Д. Харкевич, М.А. Шнепс, Г.Б. Давыдов. Под ред. В.Н. Рогинского. – М.: Радио и связь, 1981. – 192 с.
72. Росляков, А.В. Центры обслуживания вызовов [Текст] / А.В. Росляков, М.Ю. Самсонов, И.В. Шibaева. – М.: Изд-во ЭКО-ТРЕНДЗ, 2002. –

272 с.

73. Росляков, А.В. Математические модели центров обслуживания вызовов [Текст] / А. В. Росляков, С. В. Ваняшин. – М.: ИРИАС. – 2006. – 335 с.

74. Рябинин, И.А. Надежность и безопасность структурно сложных систем [Текст] / И.А. Рябинин. – СПб.: Изд-во «Политехника». – 2000. – 248 с.

75. Саати, Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения [Текст] / Т.Л. Саати. – М.: Сов. радио, 1971. – 520 с.

76. Соколов, С.В. Имитационная модель процесса функционирования территориальных добровольных пожарных команд для оценки параметров оперативного реагирования [Электронный ресурс] / С.В. Соколов, Д.А. Портнов, С.Ю. Попков // Технологии техносферной безопасности. – 2018. – № 6 (82). – С. 22–31. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2018-6/05-06-18.ttb.pdf>

77. Соколов, С.В. Математические методы и модели управления в Государственной противопожарной службе [Текст] / С.В. Соколов / Монография. – М.: АГПС, 2010. – 237 с.

78. Сычев, Я.В. Комплексная безопасность технопарков [Текст] // Я.В. Сычев / Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2010. – № 4. – С. 50–58.

79. Сычев, Я.В. Комплексный подход к безопасности промышленных парков [Электронный ресурс] / Я.В. Сычев // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 6 (58). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb/2014-6>.

80. Танаев, В.С. Теория расписаний. Одностадийные системы [Текст] / В.С. Танаев, В.С. Гордон, Я.М. Шафранский. – М.: Наука, 1984. – 383 с.

81. Таранцев, А.А. Случайные величины и работа с ними [Текст] / А.А. Таранцев. – СПб.: Петрополис, 2011г. – 160с.

82. Холостов, А.Л. Имитационное моделирование функционирования диспетчерских служб интегрированных систем безопасности [Текст] / А.Л. Холостов / Монография. – М.: АГПС, 2012. – 94 с.

83. Хинчин, А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания [Текст] / А.Я. Хинчин. – М.: Физматгиз, 1963. – 235 с.

84. Фалеев, М.И. О дальнейшем совершенствовании организации экстренного реагирования на чрезвычайные ситуации с учетом преобразования Государственной противопожарной службы [Текст] / М.И. Фалеев, Г.А. Короткин, М.А. Шахраманьян, А.П. Попов // Технологии гражданской безопасности. – 2004. – № 1(5). – С. 22-26.
85. Чернецкий, В.И. Математическое моделирование стохастических систем [Текст] / В.И. Чернецкий. – Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского Госуниверситета, 1994. – 485 с.
86. Чернецкий, В.И. Математическое моделирование динамических систем [Текст] / В.И. Чернецкий. – Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского Госуниверситета, 1996. – 432 с.
87. Шаровар, Ф.И. Автоматизированные системы управления и связь в пожарной охране [Текст] / Ф.И. Шаровар. – М.: Радио и связь, 1987 – 302 с.
88. Шнепс, М.А. Численные методы теории телетрафика [Текст] / М.А. Шнепс. – М.: Связь, 1974. – 232 с.
89. Шнепс, М.А. Системы распределения информации. Методы расчёта: справочное пособие [Текст] / М.А. Шнепс. – М.: Связь, 1979. – 342 с.
90. Kachanov, S. Protocol for system 112 operators when receiving an emergency notification [Текст] / S. Kachanov, S. Ageev, O. Kovtun // Journal of Science and Technology. – 2012. – vol. – 9. – no 3–33. – p. 12.
91. Агеев, С.В. Особенности создания Единой государственной дежурно-диспетчерской службы Кыргызской Республики [Текст] / С.В. Агеев // Технологии гражданской безопасности. – 2013. – № 4. – Т. 10. – С 16–20.
92. Акимов, В.А. Основные требования к программно-техническим решениям создания Системы – 112 с учетом отечественного и зарубежного опыта [Текст] / В.А. Акимов, С.А. Качанов, С.Н. Нехорошев, С.А. Юдин // Технологии гражданской безопасности – 2010. – № 1,2. – С. 24–26.
93. Артамонов, В.С. «Методика определения рационального числа операторов и линий связи Центра управления силами Федеральной противопожарной службы» [Текст] / В.С. Артамонов, К.В. Погорельская, А.А.

Таранцев // Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – Т.16. – № 6. – С. 4–9.

94. Брушлинский, Н.Н. О времени прибытия и времени следования пожарных подразделений города [Текст] / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов // Пожарное дело. – 1997. – № 1. – С. 48–51.

95. Алехин, Е.М. О распределении Эрланга и некоторых его приложениях [Текст] / Е.М. Алехин, Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23. – № 6. – С. 11–17.

96. Брушлинский, Н. Н. Опыт применения компьютерных имитационных систем моделирования деятельности экстренных служб [Текст] / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, Е.М. Алехин, Ю.И. Коломиец, П. Вагнер // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25. – № 8. – С. 6–16. – DOI:10.18322/PVB.2016.25.08.6-16.

97. Брушлинский, Н. Н. Анализ основных пожарных рисков в странах мира и в России [Текст] / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, М.Л. Григорьева // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26. – № 2. – С. 72–80.

98. Журавлев, В.А. Метод оценки агрегированного показателя длительности обработки заявки диспетчерами экстренных служб [Текст] / В.А. Журавлев // Материалы научно-практической конференции «Актуальные проблемы предупреждения и тушения пожаров на объектах и в населенных пунктах». – М.: МИПБ МВД России, 1996. – С. 115–118.

99. Журавлев, В.А. Применение обобщенной формулы Эрланга для оценки характеристик единого диспетчерского пункта [Текст] / В.А. Журавлев // Информатизация систем безопасности ИСБ – 96: Материалы международной научно-практической конференции. – М.: МИПБ МВД РФ, 1996. – С. 62-64.

100. Качанов, С.А. Алгоритм действия операторов «Системы 112» при получении сообщения о происшествии [Текст] / С.А. Качанов, С.В. Агеев, О.Б. Ковтун, В.А. Измалков // Технологии гражданской безопасности. – № 3. – Т.9. – 2012. – С. 12-21.

101. Манин, П.А. Модели и методы управления высылкой сил и средств пожарной охраны в регионах: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Манин Петр

Андреевич. – СПб., 2013, 118 с.

102. Манин, П.А. О некоторых закономерностях в одноканальных незамкнутых системах с двухфазным обслуживанием [Текст] / П.А. Манин, А.А. Таранцев // Известия РАН. Теория и системы управления. – № 3. – 2011. – С. 88–97.

103. Манин, П.А. Моделирование функционирования дежурно-диспетчерской службы объекта на основе одноканальной безбуферной СМО с эрланговским входным потоком и экспоненциальным обслуживанием [Текст] / П.А. Манин, Н.Г. Топольский, А.А. Таранцев, А.Л. Холостов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2011. – № 3.– С. 26–31.

104. Манин, П.А. О задаче слияния простейшего и регулярного потоков [Текст] / П.А. Манин, А.Л. Холостов, А.А. Таранцев // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2011. – № 4. – С. 108–115.

105. Манин, П.А. Об одной задаче синтеза замкнутой СМО [Электронный ресурс] / П.А. Манин, А.А. Таранцев, О.В. Щербаков // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2011. – № 4. – С. 17–24. – Режим доступа <https://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V34/4.pdf>.

106. Манин, П.А. О задаче слияния простейшего потока с потоком с равномерным распределением времени между событиями [Текст] / П.А. Манин А.Л. Холостов, А.А. Таранцев // Проблемы безопасности и ЧС. – 2012. – № 3. – С. 77-88.

107. Манин, П.А. О задаче слияния простейшего и регулярного потоков [Текст]/ П.А. Манин, А.А. Таранцев, А.Л. Холостов // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2011. – № 4. – С. 108 – 115.

108. Попов, А.П. Автоматизированная система оперативно-диспетчерского управления в ЧС в мегаполисах [Текст] / А.П. Попов, М.А. Шахраманьян, И.И. Зенцов, С.Н. Нехорошев. – М.: Безопасность жизнедеятельности. – 2001. – № 12. – С. 18–21.

109. Таранцев, А.А. Об аналитических закономерностях в замкнутых одноканальных системах массового обслуживания [Текст] / А.А. Таранцев, М.В. Эрюжев // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2004. – №3. – С. 84–91.

110. Таранцев, А.А. О способе выбора параметров СМО с очередью

- [Текст] / А.А. Таранцев // Автоматика и телемеханика. – 1999. – № 7. – С. 172–176.
111. Таранцев, А.А. Об определении числа каналов СМО [Текст] / А.А. Таранцев // Заводская лаборатория (диагностика материалов). – 2001. – №7. – С. 72-76.
112. Таранцев, А.А. Об одной задаче слияния случайных потоков сигналов [Текст] / А.А. Таранцев, А.Л. Холостов // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20. – № 4. – С. 17 – 20.
113. Таранцев, А.А. «Методика определения числа диспетчеров и линий связи дежурно-диспетчерских служб» [Текст] / А.А. Таранцев // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23. – №8. – С.69–85.
114. Таранцев, А.А. О суммировании случайных потоков с равномерным законом распределения интервалов между сигналами в диспетчерской службе комплексной системы безопасности [Текст] / А.А. Таранцев, А.Л. Холостов, П.А. Манин // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2011. – № 5. – С. 64 – 74.
115. Таранцев, А.А. Динамические свойства систем массового обслуживания ГПС [Текст] / А.А. Таранцев // Материалы 8-ой международной конференции Системы безопасности – СБ-99. – М.: МИПБ МВД России, 1999. – С.80–81.
116. Топольский, Н.Г. Моделирование функционирования дежурно-диспетчерской службы объекта на основе одноканальной безбуферной системы массового обслуживания с эрланговским входным потоком и экспоненциальным обслуживанием [Текст] / Н.Г. Топольский, П.А. Манин, А.А. Таранцев, А.Л. Холостов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2011. – № 3. – С. 26–31.
117. Топольский, Н.Г. «Экспресс-выбор параметров систем массового обслуживания в АСУ пожарной охраны» [Текст] / Н.Г. Топольский, А.А. Таранцев, А.П. Чумаченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2000. – Т. 9. – № 1. – С. 7–11.
118. Топольский, Н.Г. Анализ эффективности функционирования автоматизированной интегрированной системы безопасности и жизнеобеспечения

критически важных объектов как единой системы [Электронный ресурс] / Н.Г. Топольский, И.Ю. Святенко, А.Л. Холостов, Г.Б. Трефилов, В.Л. Ярош // Технологии техносферной безопасности. – 2007. – № 1. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2007-1/09-01-07.ttb.pdf>.

119. Облиенко, А.В. Организационная структура единой дежурно-диспетчерской службы в гарнизонах пожарной охраны [Текст] / А.В. Облиенко, М.В. Облиенко, А.В. Калач // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21. – № 5. – С. 66–70.

120. Холостов, А.Л. Моделирование функционирования элементов автоматизированной системы комплексной безопасности [Текст] / А.Л. Холостов // Сборник докладов XIV школы молодых ученых. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2011 – С. 26–28.

121. Холостов, А.Л. Моделирование слияния простейшего и регулярного потоков сигналов при анализе функционирования дежурно-диспетчерской службы объекта [Текст] / А.Л. Холостов // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации: V Всероссийская научно-практическая конференция – Екатеринбург Уральский институт ГПС МЧС России. – 2011. – Ч. 2. – С. 68–70.

122. Холостов, А.Л. Имитационное моделирование функционирования каналов обслуживания дежурно-диспетчерской подсистемы комплексной системы безопасности [Текст] / А.Л. Холостов. // XXIV Международная научно-практическая конференция по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института: Тезисы докладов Ч.3. – М.: ВНИИПО, 2012. – С. 92–96.

123. Холостов, А.Л. Имитационное моделирование слияния потоков сообщений в диспетчерских службах комплексных и интегрированных систем безопасности объектов [Текст] / А.Л. Холостов // XXIV Международная научно-практическая конференция по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института: Тезисы докладов Ч.3. – М.: ВНИИПО, 2012. – С. 96–98.

124. Холостов, А.Л. Слияние простейшего потока и потока с равномерным распределением времени между событиями при моделировании работы диспетчерской службы комплексной системы безопасности [Текст] / А.Л.

Холостов // IV Всероссийская научно-техническая конференция XIV Школа молодых ученых семинар «Безопасность критичных инфраструктур и территорий» в рамках симпозиума «Технологии безопасности критичных инфраструктур». – Екатеринбург, 2011. – С. 231–232.

125. Холостов, А.Л. Моделирование обобщенного входного потока сообщений в дежурно-диспетчерской службе автоматизированной интегрированной системы безопасности и жизнеобеспечения объекта [Текст] / А.Л. Холостов, Н.Г. Топольский // Пожарная и аварийная безопасность: материалы IV Международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию Ивановского института ГПС МЧС России. – Иваново: ИВИ ГПС МЧС России. – 2011. – С. 224 – 226.

126. Larson R.S. Urban Police Patrol Analysis [Text] / Larson R.S. // M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1972. – 289 p.

127. Васильев, В.В. Исследование вопросов автоматизации оперативного управления системами экстренного обслуживания населения: дисс.... канд. техн. наук: 05.13.01 / Васильев Владимир Владимирович. – Л., 1979. – 189 с.

128. Щукин, М.Ю. Вопросы моделирования городских систем в развитых капиталистических странах [Текст] / М.Ю. Щукин // Экономика и математические методы. – 1978. – Т. XIV – №. 1. – С. 160 – 173.

129. Малышев, Д.А. Моделирование работы диспетчерского пункта как системы массового обслуживания с «нетерпеливыми» заявками [Электронный ресурс] / А.А. Таранцев, Д.А. Малышев // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2014. – №4. – С. 73–77. – Режим доступа: <https://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V64/12.pdf>.

130. Малышев, Д.А. Номограммы для решения задач синтеза систем массового обслуживания / А.А. Таранцев, Д.А. Малышев, А.П. Нодь [Электронный ресурс] // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2015. – №2 (34). – С. 21–25. – Режим доступа: https://www.igps.ru/Content/publication/documents/probl_upr_2-15_635914183568701016.pdf

131. Малышев, Д.А. О возможности совершенствования ГОСТ Р 22.7.01-99

«Единая дежурно-диспетчерская служба» [Текст] / А.А. Таранцев, Д.А. Малышев // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24. – №11. – С. 77–81.

132. Малышев, Д.А. Об особенностях функционирования дежурно-диспетчерских служб экстренного реагирования [Текст] / А.А. Таранцев, Д.А. Малышев, А.Д. Ищенко // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т.25. – №2. – С. 75-80.

133. Малышев, Д.А. Моделирование работы дежурно-диспетчерских служб с учетом ограничения времени ожидания абонентов [Текст] / А.А. Таранцев, А.Л. Холостов, Д.А. Малышев // Пожары и ЧС: Предотвращение и ликвидация. – 2017. – №4. – С. 23-27. – DOI:10.25257/FE.2017.4.23-27.

134. Малышев, Д.А. Повышение уровня квалификации профессиональных кадров в системе МЧС, с целью увеличения эффективности реагирования на последствия лесных пожаров на территории Республики Коми [Текст] / Д.А. Малышев // Материалы международной научно-практической конференции «Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий ЧС». – СПб., 2013. – С. 74-76.

135. Малышев, Д.А. Особенности функционирования служб экстренного реагирования на примере Республики Коми [Текст] / Д.А. Малышев // Материалы международной научно-практической конференции «Транспорт России: проблемы и перспективы - 2015». – СПб., 2015. – С. 243-247.

136. Малышев, Д.А. Информационные технологии, применяемые в обеспечении на территории Республики Коми [Текст] / Д.А. Малышев // Материалы международной научно-практической конференции курсантов (студентов), магистрантов, адъюнктов (аспирантов) «ЧС теория и практика – 2015». – Гомель, 2015. – С. 103-106.

137. Малышев, Д.А. Обоснование количественных показателей дежурно-диспетчерских служб при управлении экстренными службами на региональном уровне [Текст] / А.Л. Холостов, Д.А. Малышев, А.А. Таранцев // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. – С.

98-100.

138. Малышев, Д.А. О закономерностях в системах массового обслуживания с нетерпеливыми заявками [Текст] / Д.А. Малышев, А.А. Таранцев, А.Л. Холостов // Пожары и ЧС: Предотвращение и ликвидация. – 2018 г. – № 3. – С. 90 - 93. DOI: 10/25257/FE.2018.3.90-93.

139. Малышев, Д.А. Создание и развитие аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» в Республике Коми [Текст] / Л.А. Капустин, Д.А. Малышев // Сервис безопасности в России: опыт проблемы, перспективы. Формирование культуры безопасности жизнедеятельности: приоритеты, проблемы, решения: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – СПб: ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2018 г. – С. 143-148.

140. Малышев, Д.А. Создание и развитие современной системы обработки вызовов экстренных оперативных служб Системы 112, на территории Республики Коми [Текст] / Д.А. Малышев // Сервис безопасности в России: опыт проблемы, перспективы. Формирование культуры безопасности жизнедеятельности: приоритеты, проблемы, решения: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – СПб: ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2019 г. – С. 258 – 261.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акты внедрения результатов диссертации

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель председателя Комитета
Республики Коми гражданской обороны и
чрезвычайных ситуаций

С.М. Корольков

2019 год

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы
Мальшева Дениса Анатольевича,
представленной к защите на соискание учёной степени
кандидата технических наук по специальности
05.13.10- Управление в социальных и экономических системах

Комиссия в составе: Начальника отдела по организации мероприятий предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и надзорной деятельности Комитета Республики Коми гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций Витязева Дмитрия Владимировича; начальника отдела аналитической и организационно-правовой работы Аксенова Павла Сергеевича; заместителя начальника управления противопожарной службы и гражданской защиты Республики Коми по вопросам коммуникаций и связи Шашева Василия Николаевича подтверждает, что результаты диссертационной работы Мальшева Дениса Анатольевича, учтены при совершенствовании функционирования Коми республиканской подсистемы единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

В практической деятельности применяется двухуровневая математическая модель центра управления службами экстренного реагирования с первичным приемом заявок call-центром и последующей переадресацией их соответствующим службам экстренного реагирования.

Использование этой модели позволило повысить оперативность при отработке взаимодействия и обмена информацией федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти Республики Коми, органов местного самоуправления и организаций при ликвидации и предупреждении, чрезвычайных ситуаций.

Начальник отдела по организации мероприятий предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и надзорной деятельности Комитета Республики Коми гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций

Д.В. Витязев

Начальник отдела аналитической и организационно-правовой работы

П.С. Аксенов

Заместитель начальника Управления противопожарной службы и гражданской защиты Республики Коми

В.Н. Шашев

УТВЕРЖДАЮ
ВрИО начальника
Главного управления МЧС
России по Республике Коми
полковник



О.Н. Нецкий

2019 год

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы
Д.А. Малышева, представленной к защите на соискание учёной степени
кандидата технических наук
по специальности
05.13.10- Управление в социальных и экономических системах

Комиссия в составе: Заместителя начальника Главного управления (по защите, мониторингу и предупреждению чрезвычайных ситуаций) – начальника управления гражданской защиты полковника Семенова Николая Валерьевича; заместителя начальника управления гражданской защиты Главного управления полковника внутренней службы Марчишака Сергея Васильевича; заместителя начальника отдела информационных технологий, автоматизированных систем управления и связи Главного управления майора внутренней службы Эрлиха Артура Александровича подтверждает, что результаты диссертационной работы Малышева Дениса Анатольевича, а именно методика обеспечения устойчивой работы дежурно-диспетчерской службы в системе экстренного реагирования, учтены в практической деятельности при совершенствовании функционирования Главного управления МЧС России по Республике Коми, ЦУКС ГУ МЧС России по Республике Коми.

Результаты диссертации применяются при принятии управленческих решений, составлении графиков дежурств оперативно – дежурных смен, планировании отпусков, а также в процессе подготовки и обучения личного состава диспетчеров 01 и ЦУКС.

полковник

Н.В. Семенов

полковник вн. службы

С.В. Марчишак

майор вн. службы

А.А. Эрлих

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника
ГКУ РК «Управление противопожарной службы и
гражданской защиты» по вопросам коммуникаций



В.Н. Шашев

2019 год

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы
Дениса Анатольевича Малышева, представленной к защите на соискание учёной
степени кандидата технических наук по специальности
05.13.10- Управление в социальных и экономических системах

Комиссия в составе: Начальника Центра обработки вызовов системы обеспечения вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112» (далее – ЦОВ Системы-112) Новикова Руслана Николаевича; заместителя начальника ЦОВ Системы-112 Попова Евгения Николаевича; начальника смены ЦОВ Системы-112 Хиночека Максима Витальевича подтверждает, что результаты диссертационной работы Малышева Д.А., учитываются при расчетах по оптимизации количества линий связи и должностных лиц центра обработки вызовов, а также используются при проведении занятий с личным составом дежурных смен Центра обработки вызовов системы «112».

Отмеченный в работе экономический эффект может иметь место при совершенствовании функционирования системы.

Разработанная методика расчета параметров дежурно-диспетчерской службы, учитывающая связь вероятностных характеристик с количественными показателями и двухуровневый характер обслуживания поступающих сообщений, а также модель дежурно-диспетчерской службы как многоканальной системы массового обслуживания с ограниченным временем ожидания абонентов позволили повысить устойчивость работы дежурно-диспетчерской службы в системе экстренного реагирования.

Начальник ЦОВ Системы-112

Р.Н. Новиков

Заместитель начальника ЦОВ Системы-112

Е.Н. Попов

Начальник смены ЦОВ Системы-112

М.В. Хиночек

УТВЕРЖДАЮ
 Заместитель начальника
 Академии ГПС МЧС России
 по учебной работе
 полковник внутренней службы



М.В. Бедило
 2020 г.

Акт внедрения результатов диссертации Малышева Д.А.
 по специальности 05.13.10 - «Управление в социальных и экономических
 системах» в учебный процесс Академии Государственной противопожарной
 службы МЧС России

Комиссия в составе: заместителя начальника кафедры специальной электротехники автоматизированных систем и связи полковника внутренней службы кандидата технических наук Крупина М.В., профессора кафедры специальной электротехники автоматизированных систем и связи кандидата технических наук, доцента Петренко А.Н., доцента кафедры специальной электротехники автоматизированных систем и связи кандидата технических наук Маркова А.Г. подтверждает, что результаты диссертации Малышева Д.А. внедрены в учебный процесс кафедры специальной электротехники автоматизированных систем и связи Академии Государственной противопожарной службы МЧС России.

Результаты работы, а именно: методика обоснования устойчивой работы дежурно-диспетчерской службы в системе экстренного реагирования, позволяющая решать задачи анализа и синтеза при обосновании количественных показателей подсистем дежурно-диспетчерской службы, используется при чтении лекций и проведении практических занятий по темам: 2 «Основы проводной связи» и 4 «Организация связи в ГПС МЧС России» по направлениям подготовки 20.05.01 Пожарная безопасность (специалитет) и 20.03.01 Техносферная безопасность (бакалавриат).

Заместитель начальника кафедры СЭАСС
 полковник вн. службы, к.т.н.

Профессор кафедры СЭАСС, к.т.н., доцент

Доцент кафедры СЭАСС
 подполковник вн. службы, к.т.н.

М.В.Крупин

А.Н. Петренко

А.Г. Марков

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Программы расчёта параметров систем массового обслуживания

Программы расчёта параметров систем массового обслуживания

1 Программа построения номограмм для незамкнутых СМО

```

open(unit=1,file='grafik.rez',status='unknown')
data da/.00001/
print *,'
print *,' ПРОГРАММА ПОСТРОЕНИЯ ОБЩЕГО ГРАФИКА
print *,' с изолиниями вероятности немедленного реаги-
print *,' рования в координатах «длина очереди – приве-
print *,' дённая нагрузка» при заданной допустимой ве-
print *,' роятности отказа Ротк приёма заявки для неза-
print *,' мкнутой СМО
print *,'
print *,'
print *,'
print *,' Введите сегодняшнюю дату, например: 12 02 2014
print *,'
read(6,*)iday,mon,iye
write(1,1)iday,mon,iye
1 format('          Црокол N___ от ',i2,',',i2,',',i4,'г.',
*' (версия 12.02.14)')
print *,'
print *,' Введите код СМО: 0 – без взаимопомощи каналов;
print *,'                1 – со взаимопомощью каналов
print *,'
read(6,*)ik
if(ik.eq.0)write(1,7)
7 format('          СМО без взаимопомощи каналов')
if(ik.eq.1)write(1,8)
8 format('          СМО со взаимопомощью каналов')
11 print *,'
print *,' Введите допустимые значения Ротк и Рн (0-stop)
print *,'                Например: .001 .95
print *,'
read(6,*)Potkd,Pnd
if(Potkd.eq.0)stop
write(6,6)Potkd,Pnd
write(1,6)Potkd,Pnd
6 format('          Ротк=',f5.4,','; Рн=',f4.3/
*' n a   lg(a)   Ро   моч   lg(моч)   абс.погр.
*' (m)')

```

```

alfa=0.
do 2 n=1,10
3 alfa=alfa+da
ro=.999999
if(alfa.ne.ro)ro=alfa/float(n)
if(ik)9,9,10
9 r1=1./ro
S1=1.
do 4 i=1,n
4 S1=S1+alfa**i/faktor(i)
am=log((1.+(r1-1.)*S1*faktor(n)/alfa**n)/(1.+(r1-1.)/Potkd))
*/alog(ro)
S2=ro*(1.-ro**am)*alfa**n/faktor(n)/(1.-ro)
Po=1./(S1+S2)
Pn=Po*(S1-alfa**n/faktor(n))
goto 14
10 am=-float(n)-alog10(ro+(1.-ro)/Potkd)/alog10(ro)
Po=(1.-ro)/(1.-ro**(am+n))
Pn=(1.-ro**n)/(1.-ro**(am+1.+n))
14 if(Pn.gt.Pnd)goto 3
dp=abs(Pn-Pnd)
Fm=ro*(1.-(am+1.)*ro**am+am*ro**(1.+am))/(1.-ro)**2
if(ik.eq.0)och=Po*Fm*alfa**n/faktor(n)
if(ik.eq.1)och=Fm*(1.-ro)*ro**n/(1.-ro**(am+n))
ochlg=alog10(och)
alg=alog10(alfa)
write(6,5)n,alfa,alg,Po,och,ochlg,dp,am
write(1,5)n,alfa,alg,Po,och,ochlg,dp,am
5 format(i3,8e10.4)
2 continue
goto 11
stop
end
Function faktor(n)
faktor=1.
if(n.eq.0)return
if(n.gt.9)goto 2
do 1 i=1,n
1 faktor=faktor*float(i)
return
2 faktor=1.52004*exp(-n)*sqrt(.1666666667+n**2+n)**(.5+n)
return

```

end

Пример результатов расчёта

Протокол №__ от 11.07.2018 г. (версия 12.02.14)

Ротк=.0010; Рн=.900

n	a	lg(a)	Po	моч	lg(моч)	абс.погр.	(m)
1	.1001E+00	-.9996E+00	.9009E+00	.1081E-01	-.1966E+01	.1371E-05	.1956E+01
2	.6338E+00	-.1981E+00	.6841E+00	.4426E-01	-.1354E+01	.2623E-05	.3680E+01
3	.1396E+01	.1449E+00	.5356E+00	.8172E-01	-.1088E+01	.1192E-05	.5213E+01
4	.2256E+01	.3533E+00	.4370E+00	.1196E+00	-.9222E+00	.1311E-05	.6614E+01
5	.3165E+01	.5003E+00	.3681E+00	.1572E+00	-.8036E+00	.5960E-06	.7914E+01
6	.4101E+01	.6129E+00	.3175E+00	.1942E+00	-.7116E+00	.7749E-06	.9134E+01
7	.5054E+01	.7037E+00	.2789E+00	.2307E+00	-.6370E+00	.1311E-05	.1029E+02
8	.6019E+01	.7796E+00	.2486E+00	.2665E+00	-.5742E+00	.4172E-06	.1139E+02
9	.6992E+01	.8446E+00	.2241E+00	.3018E+00	-.5203E+00	.9537E-06	.1244E+02
10	.7971E+01	.9015E+00	.2039E+00	.3364E+00	-.4731E+00	.1788E-06	.1344E+02

2 Программа расчёта параметров СМО с «нетерпеливыми» заявками

External Fak,Psost

dimension p(50)

open(unit=1,file='smo_nete.rez',status='unknown')

print *,'

print *,'

print *,'

print *,'

print *,'

print *,'

print *,'

print *,'

print *,'

print *,'

print *,'

print *,'

print *,'

print *,'

print *,'

print *,'



```

print *, ' | точ-средн. длина очереди заявок на обслужив.;
print *, ' | q - вероятность необслуживания заявки;
print *, ' | Рух- вер-ть ухода из очереди, не дождавшись;
print *, ' | Роо- вер-ть отказа в постановке в очередь;
print *, ' | Ккан- к.п.д=пз(число задействован.каналов)/п.
print *, '
print *, ' | (С) А.Таранцев, Д.Малышев
print *, '
print *, ' |
print *, ' | Введите сегодняшнюю дату, например: 18 08 2017
print *, ' |
read(6,*)iday,mon,iye
1 print *, ' |
print *, ' | Введите число число каналов n, величину m и B
print *, ' | (m=0 - stop).           Например: 6 2 10.
print *, ' |
read(6,*)n,m,B
npm=n+m
if(m.eq.0)stop
Bl=log10(B+.00000000000000000001)
write(1,2)n,m,B,Bl
2 format(' n=',i2,'; m=',i2,'; B=',e10.5,' ('e10.4,')')
print *, ' |
print *, ' | Введите номер варианта: 1- расчет характер-к;
print *, ' | 2 - расчет критической величины A
print *, ' |
read(6,*)iva
if(iva.eq.2)goto 6
print *, ' |
print *, ' | Введите соотношение A. Например:.03
print *, ' |
read(6,*)A
Al=log10(A)
call Psost(n,m,A,B,p0,p)
write(1,3)A,Al
3 format(' a=',e10.5,' ('e10.4,')')
write(6,11)
write(1,11)
11 format(' i   p(i)')
write(6,14)p0,p0
write(1,14)p0,p0
14 format(' 0',f12.10,' ('e10.5,')')

```

```

do 4 i=1,npm
  write(1,5)i,p(i),p(i)
4 write(6,5)i,p(i),p(i)
5 format(i3,f12.10,' (e10.5,')')
10 call Хар(npm,n,B,p0,p,пnem,och,can,q,Pyx,A)
  Poo=p(npm)
  write(6,7)пnem,q,och,can,Pyx,Poo
  write(1,7)пnem,q,och,can,Pyx,Poo
7 format(' Pн=',e9.4,'; q=',e9.4,'; моч=',f6.4,'; Ккан=',f4.3
*, ' Pyx=',e9.4,'; Poo=',e9.4)
12 format('-----')
  write(1,12)
  goto 1
6 continue
print *, '
print *, '
print *, '
read(6,*)qp
A=.0
call Psost(n,m,A,B,p0,p)
8 dA=.00001
A=A+dA
call Psost(n,m,A,B,p0,p)
call Хар(npm,n,B,p0,p,пnem,och,can,q,Pyx,A)
qq=p(npm)+och*B/A
100 format(9e10.4)
if(q.lt.qq)goto 8
A=A-dA
Al=log10(A)
qq=p(npm)+och*B/A
Poo=p(npm)
write(6,9)пnem,q,och,can,A,Al,Poo
write(1,9)пnem,q,och,can,A,Al,Poo
9 format(' Pн=',f5.4,'; q=',e8.3,'; моч=',f6.4,
*, ' Ккан=',f4.3,'; a=',e10.5, ' (,e10.4,); Poo=',e9.4)
write(1,11)
write(6,11)
write(1,14)p0,p0
write(6,14)p0,p0
do 15 i=1,npm
  write(6,5)i,p(i),p(i)
15 write(1,5)i,p(i),p(i)

```

Введите допустим. величину q. Например: .001


```

can=can+p(j+n)
6 och=och+float(j)*p(j+n)
pnem=p0
do 5 i=1,n
5 pnem=pnem+p(i)
pnem=pnem-p(n)
Pyx=och*B/A
q=p(npm)+Pyx
return
end

```

Пример результатов расчёта

n=1; m=1; B=.50000E+00 (-.3010E+00)

PH=.9970; q=.100E-02; moch=.0000; Kкан=.003; a=.29900E-02 (-.2524E+01); Poo=.5982E-05

i p(i) вероятности состояний

0 .9970030000 (.99700E+00)

1 .0029910140 (.29910E-02)

2 .0000059820 (.59820E-05)

n=1; m=1; B=.50000E+00 (-.3010E+00); a=.30000E-02 (-.2523E+01)

i p(i) вероятности состояний

0 .9970030000 (.99700E+00)

1 .0029910090 (.29910E-02)

2 .0000059820 (.59820E-05)

PH=.9970E+00; q=.1003E-02; moch=.0000; Kкан=.003; Pyx=.9970E-03;

Poo=.5982E-05

n=2; m=1; B=.50000E+00 (-.3010E+00)

PH=.9956; q=.100E-02; моз= .0002; Kкан=.048; a=.96092E-01 (-.1017E+01); Poo=.1612E-

03

i p(i) вероятности состояний

0 .9083499000 (.90835E+00)

1 .0872942600 (.87294E-01)

2 .0041945770 (.41946E-02)

3 .0001612429 (.16124E-03)

n=2; m=1; B=.50000E+00 (-.3010E+00); a=.96092E-01 (-.1017E+01)

i p(i) вероятности состояний

0 .9083590000 (.90836E+00)

1 .0872860300 (.87286E-01)

2 .0041937450 (.41937E-02)

3 .0001611941 (.16119E-03)

P_н=.9956E+00; q=.9999E-03; mоч=.0002; K_{кан}=.048; P_{ух}=.8387E-03;

P_{оо}=.1612E-03