

*На правах рукописи*



**Мальшев Денис Анатольевич**

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

2.3.4. Управление в организационных системах  
(технические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Научный руководитель доктор технических наук, доцент

**Холостов Александр Львович**

Официальные оппоненты **Порошин Александр Алексеевич**

доктор технических наук, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, научно-исследовательский центр организационно-управленческих проблем пожарной безопасности, главный научный сотрудник

**Чискидов Сергей Васильевич**

кандидат технических наук, доцент, ФГБВОУ ВО Академия гражданской защиты МЧС России, кафедра (информационных систем и технологий) факультета (инженерного), профессор

Ведущая организация

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России»  
(федеральный центр науки и высоких технологий)

Защита состоится «01» июня 2022 г. в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 04.2.002.01 созданного на базе Академии ГПС МЧС России по адресу: 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте:

<https://academygps.ru/upload/iblock/011/011a1b26f5312581f0a8685cce1381cd.pdf>

Автореферат разослан «30» марта 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

кандидат технических наук, доцент

Р.Ш. Хабибулин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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 (ЕДДС) муниципальных образований и автоматизированная информационно-управляющая система обеспечения вызова экстренных служб (далее Система-112).

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

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. и др.

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. 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, в частности, 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 диспетчерских служб, 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 применением 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 – 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.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, определена степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи исследования, отражены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, определена методология исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, приведена степень достоверности и апробация результатов.

**В первой главе «Современное состояние и задачи управления службами экстренного реагирования»** проведен анализ организации и функционирования экстренных служб в США, Канаде, Великобритании, странах Евросоюза. Рассмотрена традиционная одноуровневая схема обращения граждан по двузначным номерам в экстренные службы, существовавшая на территории СССР и Российской Федерации (рисунок 1). Показано, что в настоящее время создаются комплексные ДДС, позволяющие абоненту по единому номеру обращаться в подразделения пожарной охраны,

полицейской, скорой медицинской помощи и др.

Анализ работы ДДС позволяет утверждать, что современные ДДС являются двухуровневыми системами (рисунок 2) 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.

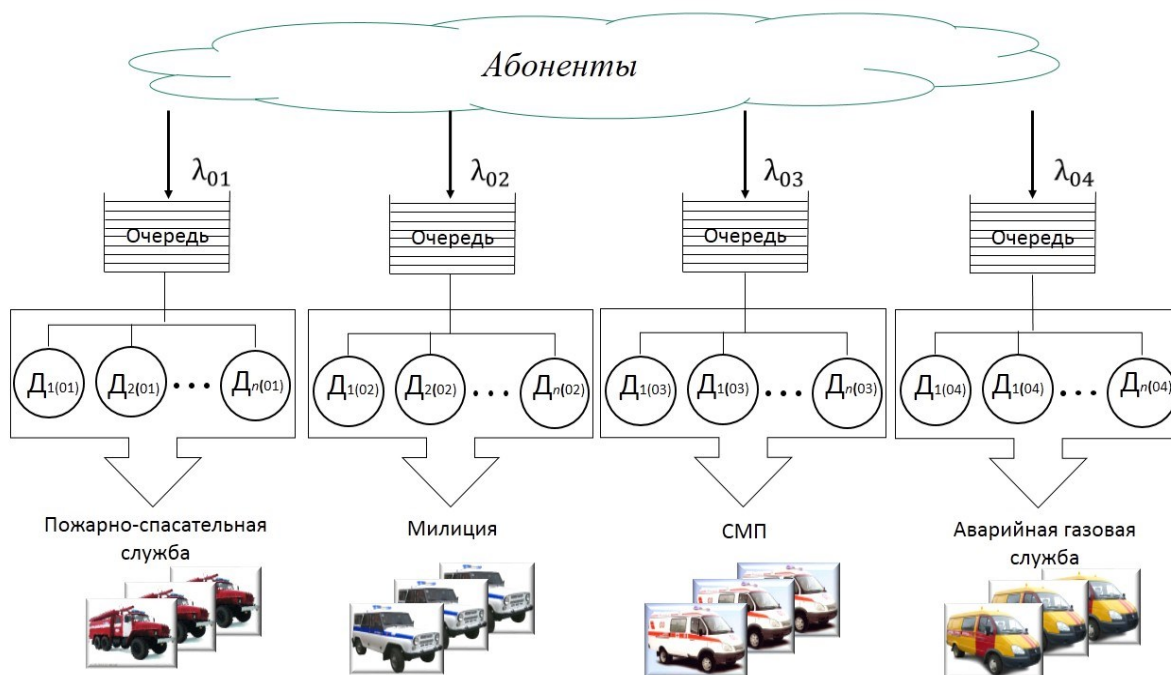


Рисунок 1 - Традиционная схема реагирования на пожары и ЧС  
( $\lambda$  – интенсивности сообщений абонентов, Д – диспетчеры)

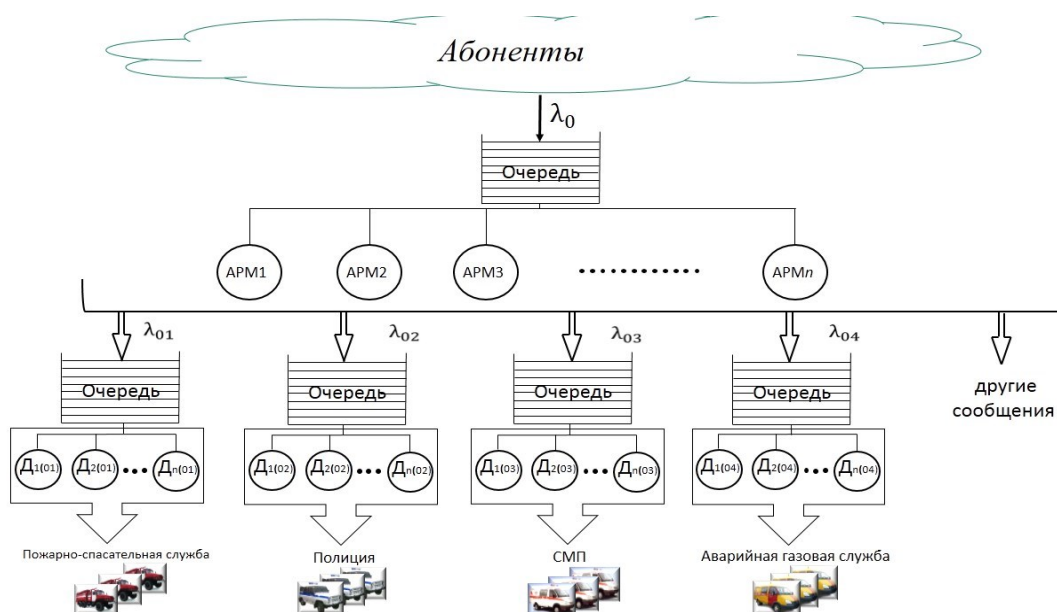


Рисунок 2 - Современная двухуровневая структура службы экстренного реагирования

В работе одноуровневая ДС рассматривается, как составная часть двухуровневой системы управления и предназначена для информационного обеспечения ДДС экстренных оперативных служб, действующих на территории субъектов РФ, а также ЕДДС муниципальных образований.

По результатам анализа работы Системы-112 на территории РФ сделан вывод, о том, что по аналогии с зарубежными системами она также является двухуровневой – рисунок 2.

В качестве примера рассмотрена работа Системы-112 в Республике Коми. Проведен анализ интенсивности поступающих сообщений в центр обработки вызовов (результаты представлены на рисунке 3).

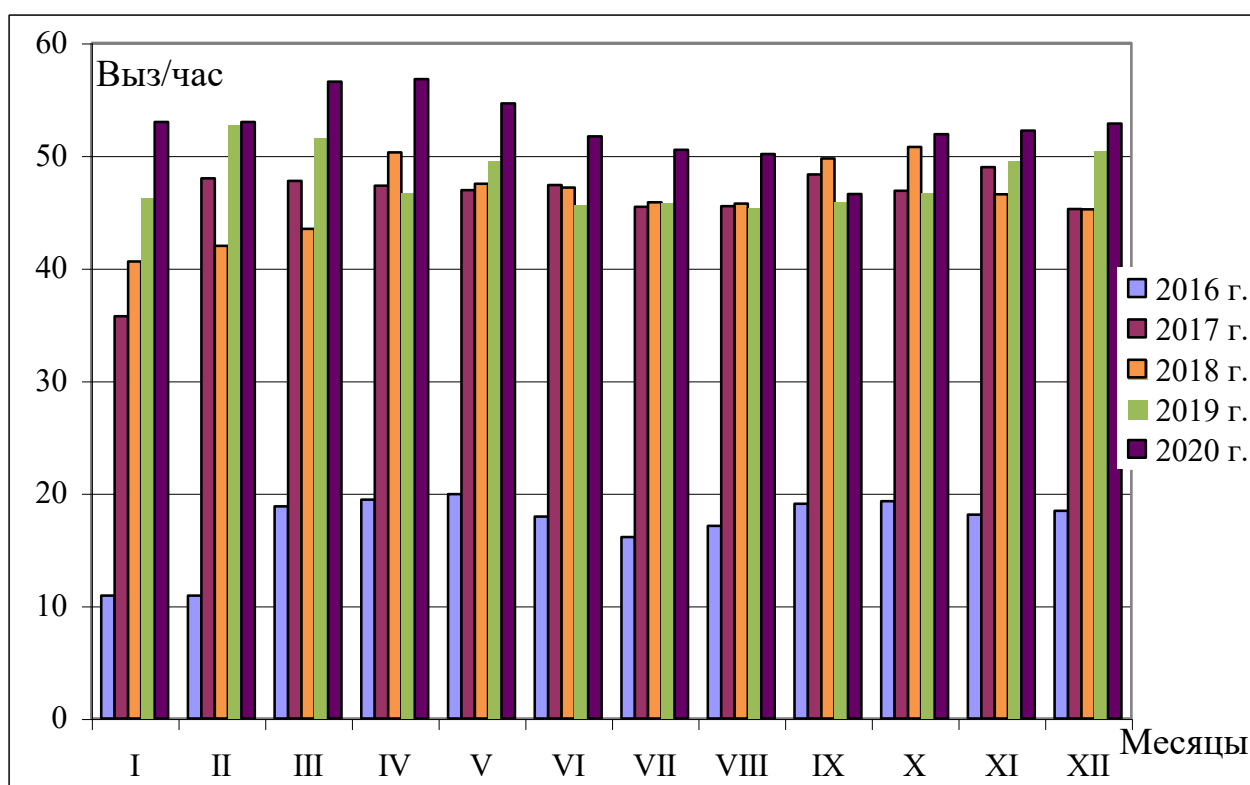


Рисунок 3 -Средняя интенсивность поступающих сообщений (вызовов/час) за 2016 – 2020 гг.

Структурная схема поддержки принятия решения при управлении Системой -112 на региональном уровне, представлена на рисунке 4 и отличается от существующей, основанной на нормативном подходе в зависимости от количества населения, проживающего на обслуживаемой территории.

Таким образом, разработка моделей и алгоритмов поддержки управления системой вызова экстренных служб на региональном уровне, позволяющих обосновать количественные показатели ДДС и 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.



Рисунок 4 - Структурная схема поддержки принятия решения при управлении Системой-112 на региональном уровне

Во второй главе «Математическое моделирование функционирования дежурно-диспетчерской службы Системы-112» предложено моделировать работу ДДС с использованием математического аппарата теории массового обслуживания. При этом ДДС представляется в виде СМО, куда от абонентов с частотой  $\lambda$  поступает поток заявок (сообщений, вызовов и т.п.) к диспетчерам (которые рассматриваются в качестве каналов обслуживания - КО), где заявки обслуживаются (осуществляется приём информации, её обработка, принятие решения и доведение его до исполнителя) в течение среднего времени  $t_{об}$ .

При моделировании использовались стандартные допущения о том, что поток заявок стационарный пуассоновский, время обслуживания распределено по экспоненциальному закону с параметром  $\mu = 1/t_{об}$ , процессы, установившиеся за рассматриваемый период времени, обслуживание происходит без приоритетов по принципу «первый пришёл – первый обслужен», число КО (диспетчеров, АРМ) –  $n$ , число линий связи –  $L$ , число мест в очереди  $m = L - n$ , источником заявок являются абоненты.

С учетом основных положений теории массового обслуживания предложена математическая модель ДДС в виде СМО, связывающей между собой вероятности её состояний  $\{p_i\}$  с параметрами  $n$ ,  $m$ ,  $t_{об}$ ,  $\lambda$ , а также позволяющей определить наиболее важные характеристики – вероятность отказа в приёме заявки  $p_{отк}$ , среднюю длину очереди  $m_{оч}$ , вероятность немедленного ответа диспетчера  $p_n$  и др.

Поскольку в современных условиях связь абонента с основными экстренными службами осуществляется по двухуровневой схеме, представленной на рисунке 2, через call-центр (в отличие от существовавшей ранее традиционной «прямой» схемы, рисунок 1), разработана математическая модель, учитывающая двухуровневый характер обслуживания сообщений от абонентов.

Разработанная модель основывается на моделях подсистем - call-центра и экстренных служб, являющихся многоканальными СМО с очередями. Вероятности потери заявки  $p_{пз}$  из-за отказа в приёме заявки call-центром и экстренными службами предложено оценивать по выражению:

$$p_{пзи} = 1 - (1 - p_{ц})(1 - p_{отки}), i = 1, \dots, 4, \quad (1)$$

где ( $p_{ц}$  – вероятность отказа в приеме заявки в call-центре;  $p_{отк1}, \dots, p_{отк4}$  – вероятности отказа в приеме заявки в ДДС экстренной службы), а вероятности немедленного приёма заявки к обслуживанию – по выражению:

$$p_{ни} = p_{ниц}p_{ди}, i = 1, \dots, 4, \quad (2)$$

где:  $p_{ниц}$  – вероятность немедленного приёма заявки в call-центре;

$p_{д1}, \dots, p_{д4}$  – вероятности немедленного приёма заявки в ДДС экстренной службы.

Разработанная модель позволяет оценить вероятности по выражениям, соответствующим многоканальной СМО с очередью (М/М/п/п) при приведённой нагрузке  $\alpha = \lambda t_{об}$ .

Учитывая, что к вероятности отказа в приёме заявки экстренной службой, согласно РД 45.120-2000 (НТП 112-2000), предъявляется требование  $p_{отк} \leq 0,1\%$ , установлено, что при двухуровневой схеме в соответствии с (1) для каждого уровня требование ужесточается:  $p_{отк} \leq 0,05\%$ .

Для наглядности разработанной модели была построена графическая зависимость, связывающая приведённую нагрузку  $\alpha$ , величины  $n$  и  $L$ , вероятность немедленного приёма заявки  $p_{н}$  и нагрузку на диспетчера  $\rho = \alpha / n$ , которая приведена на рисунке 5. На графике для удобства применено преобразование

$$K_9 = -\lg(1 - p_{н}), \quad (3)$$

представляющее собой «количество девяток после запятой», например:  $K_9 = 1$  при  $p_{н} = 0,9$ ;  $K_9 = 3$  при  $p_{н} = 0,999$  и т.п.

Как показывают проведенные исследования функционирования Коми республиканской подсистемы РСЧС, для описания ДДС в случаях быстрого и масштабного развития пожаров и ЧС абоненты могут не дожидаться ответа диспетчера и преждевременно прервать звонок, в результате критически важная

информация о ЧС природного и техногенного характера, а также социально-значимых происшествиях может быть потеряна.

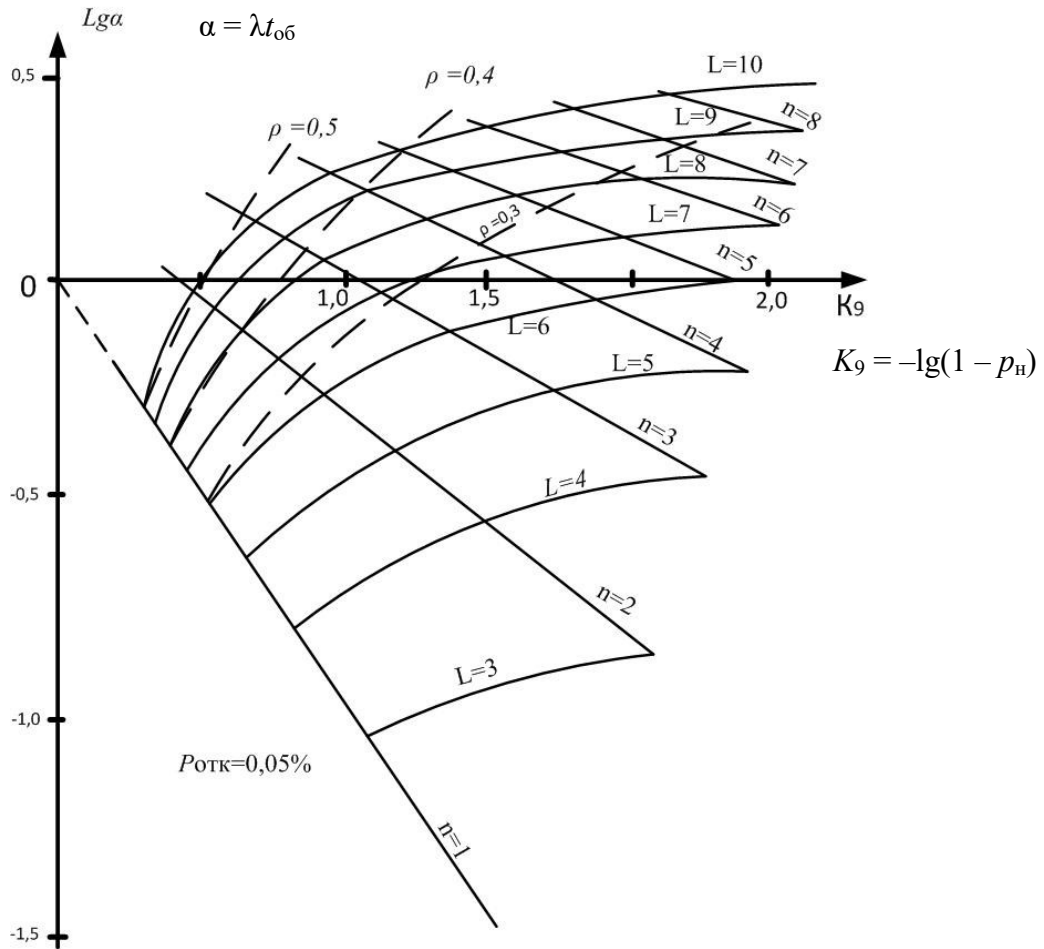


Рисунок 5 - Графическое представление зависимости числа диспетчеров  $n$ , линий связи  $L$  и приведенной нагрузки  $\alpha$  при вероятности  $p_{отк} = 0,05\%$

Поэтому было предложено представить такую ДДС как СМО с «нетерпеливыми» заявками – см. рисунок 6.

Граф переходов данной СМО представлен на рисунке 7, а вероятности состояний  $\{p_i\}$  в рамках вышеуказанных допущений определяются из выражений:

$$p_0^{-1} = \sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{j=1}^m \alpha^j \prod_{k=1}^j \frac{1}{n + k\theta}, \quad (4)$$

$$p_i = p_0 \frac{\alpha^i}{i!}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (5)$$

$$p_{n+j} = p_0 \frac{\alpha^{n+j}}{n!} \prod_{k=1}^j \frac{1}{n+k\theta}, \quad j = 1, \dots, m, \quad (6)$$

где  $\theta = t_{06} / t_0$  – приведённая «нетерпеливость»,  $t_0$  – среднее возможное время ожидания абонентом.

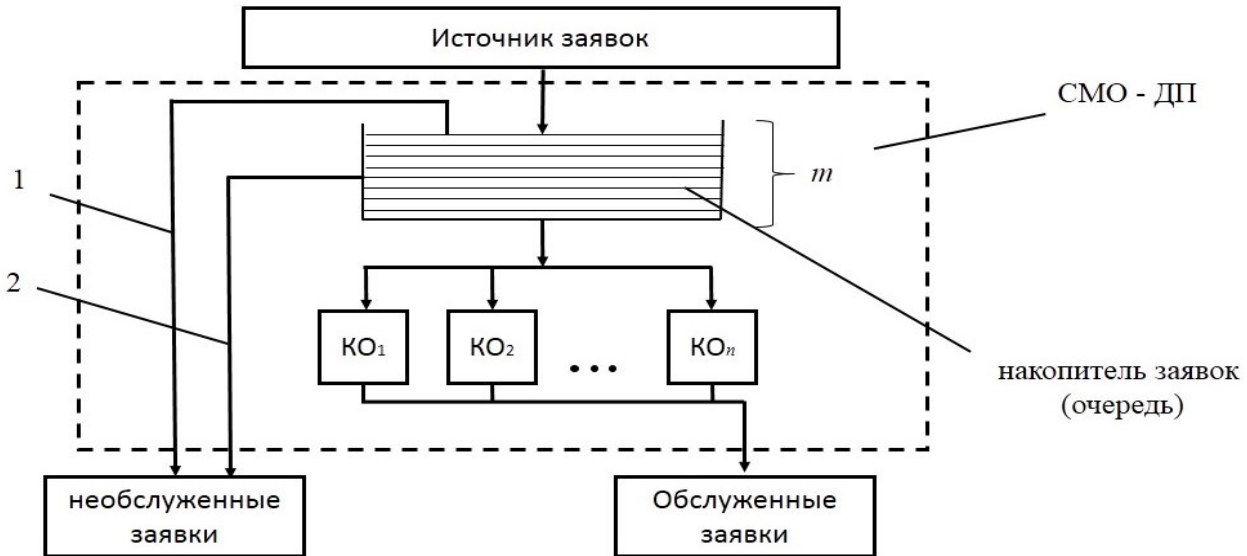


Рисунок 6 - Схема  $n$ -канальной СМО с  $m$ -местной очередью и «нетерпеливыми» заявками (1 – уход заявок из очереди по причине переполнения накопителя, 2 – уход из очереди по причине «нетерпеливости»)

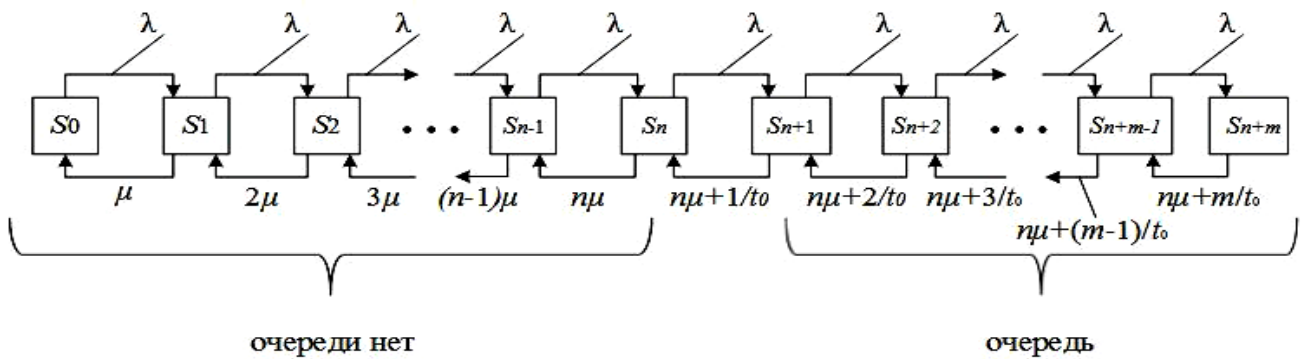


Рисунок 7 - Граф переходов для  $n$ -канальной СМО с  $m$ -местной очередью и «нетерпеливыми» заявками ( $S_i$  – состояния, в которых СМО пребывает с вероятностями  $p_i$ ,  $S_0$  – состояние, когда заявок нет и все КО свободны),  $\mu = 1 / t_{06}$

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

$$p_{пз} = p_{отк} + p_{yh} = p_0 \frac{\alpha^n}{n!} \left( \prod_{k=1}^m \frac{\alpha}{n+k\theta} + \frac{\theta}{\alpha} \sum_{j=1}^m j \prod_{k=1}^j \frac{\alpha}{n+k\theta} \right). \quad (7)$$

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

$$p_{n3} = p_{n+m} = \frac{\alpha^{n+m}}{n!n^m} \left( \sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{j=1}^m \frac{\alpha^j}{n^j} \right)^{-1}. \quad (8)$$

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

$$p_{n3} = \frac{\alpha^n}{n!} \left( \sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!} \right)^{-1}. \quad (9)$$

В результате анализа данных моделей можно утверждать, что для стандартных  $n$ -канальных СМО с  $m$ -местной очередью и ограниченным временем ожидания вероятность потери заявки лежит в пределах:

$$\frac{\alpha^n}{n!} \left( \sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!} \right)^{-1} > p_{n3} > \frac{\alpha^{n+m}}{n!n^m} \left( \sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{j=1}^m \frac{\alpha^j}{n^j} \right)^{-1}. \quad (10)$$

Доказательство этого утверждения приведено в тексте диссертации и следует также из рисунка 8.

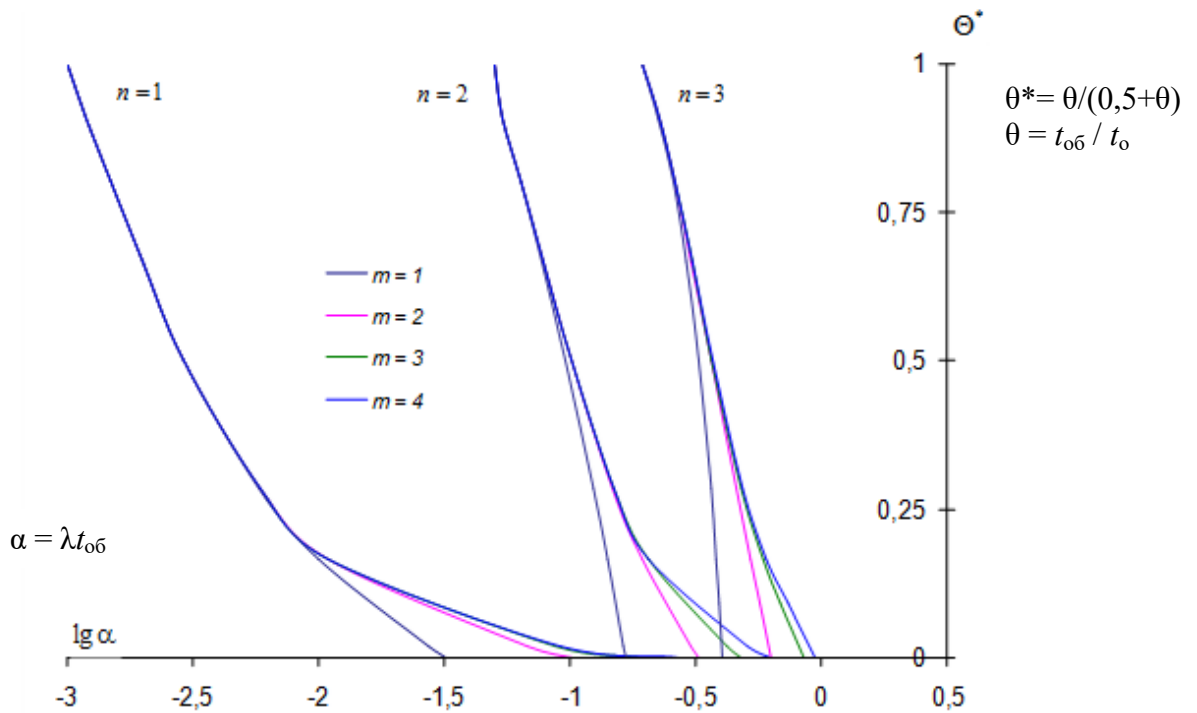


Рисунок 8 – Графическая зависимость числа КО  $n$  и мест в очереди  $m$  от приведённой нагрузки  $\alpha$  и «нетерпеливости» абонентов  $\theta$  при  $p_{n3} = 0,1\%$ .  
 Здесь:  $\theta^* = \theta / (0,5 + \theta)$  – нормированная «нетерпеливость»

Расчёты, проведенные с использованием разработанной модели, позволили установить следующую закономерность: чем больше «нетерпеливость», тем меньше на вероятность  $p_{пз}$  влияет число мест в очереди  $m$  – рисунок 9. Для СМО с «нетерпеливыми» заявками с использованием специально разработанной программы `smo_nete.exe` построена графическая зависимость (рисунок 9), связывающая приведённые нагрузку  $\alpha$  и «нетерпеливость»  $\theta$  с величинами  $n$  и  $m$  при вероятности  $p_{пз} = 0,001$ . Использование этой графической зависимости существенно упрощает применение разработанной методики на практике.

Таким образом, разработаны математические модели, описывающие работу ДДС как СМО с учетом двухуровневого характера обслуживания поступающих сообщений и ограничения времени ожидания абонентов.

Разработанные модели позволяют обосновать количественные показатели ДДС в Системе-112 на региональном уровне.

Кроме того, сформулировано и доказано утверждение о диапазоне вероятности потери заявки в стандартных  $n$ -канальных СМО с  $m$ -местной очередью и ограниченным временем ожидания.

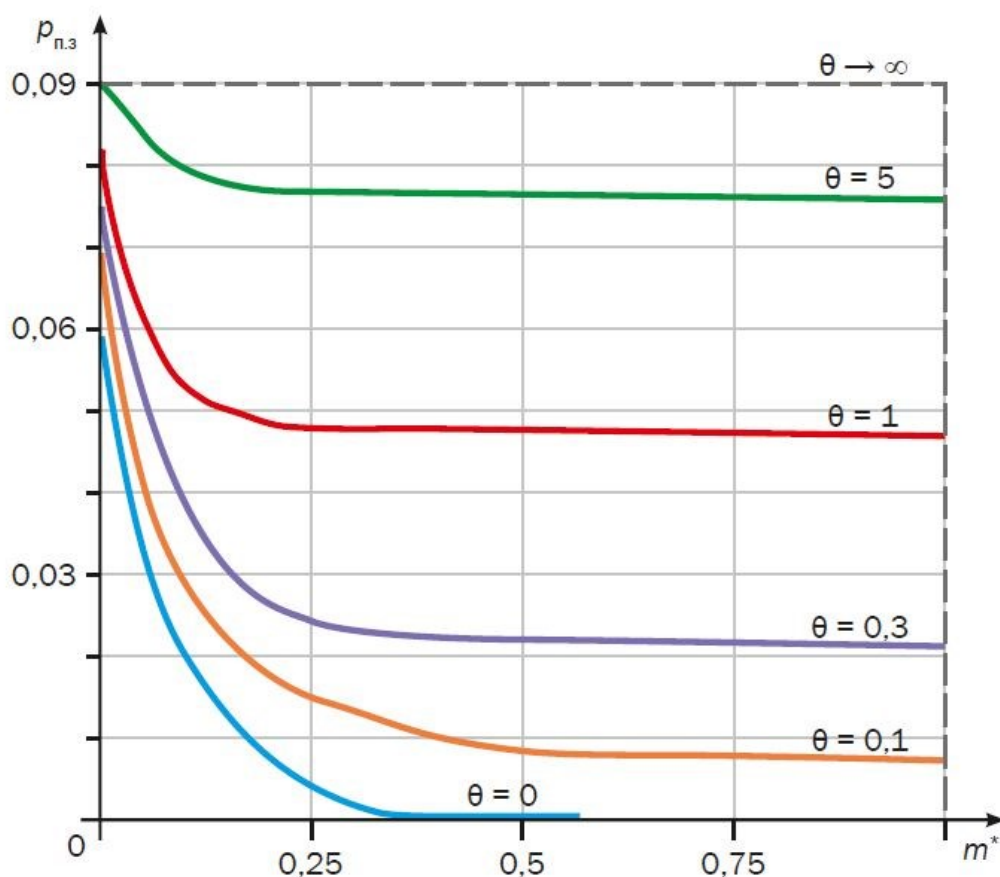


Рисунок 9 - Зависимость вероятности потери заявки  $p_{пз}$  в одноканальной СМО ( $n = 1$ , ДДС с одним диспетчером) от числа мест  $m$  в очереди при различной «нетерпеливости» абонентов и нагрузке  $\alpha = 0,1$ . Здесь:  $m^* = m / (4+m)$  – нормированный размер накопителя заявок

В третьей главе «Методика обеспечения устойчивой работы дежурно-диспетчерской службы в системе экстренного реагирования» показано, что одним из основных требований к ДДС является устойчивость её работы в различных условиях функционирования, что может достигаться нормативным путём - предъявлением требований к основным характеристикам ДДС:  $p_{отк} < p_{доп}$ ,  $p_n > p_{ндоп}$ ,  $\rho < \rho_{доп}$  и др. Это предполагает решение задач анализа и синтеза (рисунок 10).

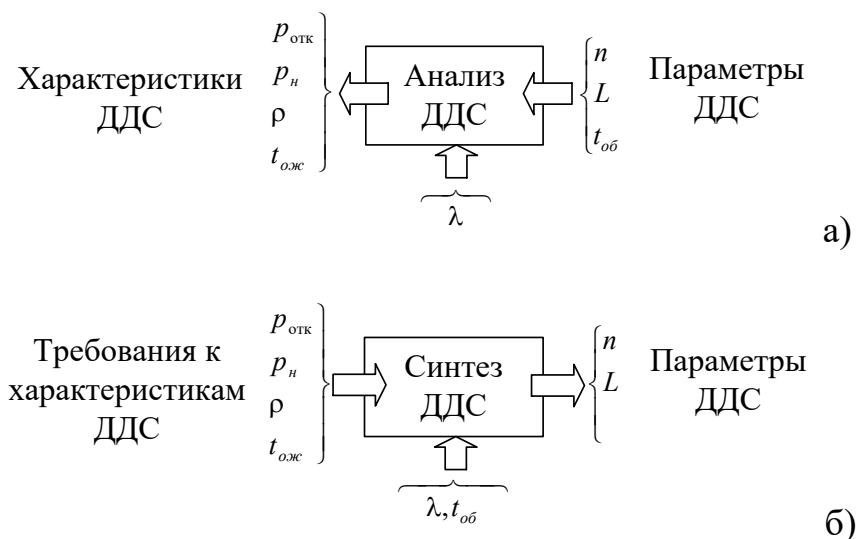


Рисунок 10 - Схематическое представление задач анализа (а) и синтеза (б) параметров и характеристик ДДС как системы массового обслуживания

В первом случае (задача анализа) по параметрам ДДС-СМО: числу диспетчеров (АРМ, КО)  $n$ , линий связи  $L$ , среднему времени обслуживания  $t_{об}$  и частоте поступления заявок  $\lambda$  (для ДДС экстренных служб «101»÷«104» - это  $\lambda_{101} \div \lambda_{104}$ , для call-центра -  $\lambda_{\Sigma} \geq \lambda_{101} + \lambda_{102} + \lambda_{103} + \lambda_{104}$ ) - определяются основные характеристики -  $p_{отк}$ ,  $p_n$ ,  $\rho$  и др. - рисунок 10а. Для двухуровневой схемы (Система-112) могут использоваться известные выражения для СМО вида  $M/M/n/m$ , для СМО с «нетерпеливыми» заявками - выражения (4)-(7). После определения характеристик их значения сравниваются с допустимыми значениями, и делается вывод, насколько данная ДДС как СМО отвечает предъявляемым требованиям и нуждается в увеличении числа  $n$ ,  $m$  и оперативности обслуживания заявок.

Второй случай (задача синтеза) предполагает создание ДДС как СМО, отвечающей заданным требованиям к характеристикам  $p_{доп}$ ,  $p_{ндоп}$ ,  $\rho_{доп}$  и др. При этом требуется подобрать такие параметры (наименьшее число КО  $n$  и линий связи  $L$ ), чтобы выполнялось условие соответствия заданным требованиям - рисунок 10б. При этом определяется общее число диспетчеров (АРМ, КО) и линий связи:

$$n_{\Sigma} = n_{ц} + n_{01} + n_{02} + n_{03} + n_{04}, \quad (11)$$

$$L_{\Sigma} = L_{ц} + L_{01} + L_{02} + L_{03} + L_{04}. \quad (12)$$

Поскольку процедура выбора количественных показателей ДДС носит итеративный характер, были построены соответствующие графические зависимости, которые позволяют значительно упростить этот процесс без применения ЭВМ.

Применительно к двухуровневой схеме (рисунок 2) для синтеза может быть использована графическая зависимость - рисунок 5.

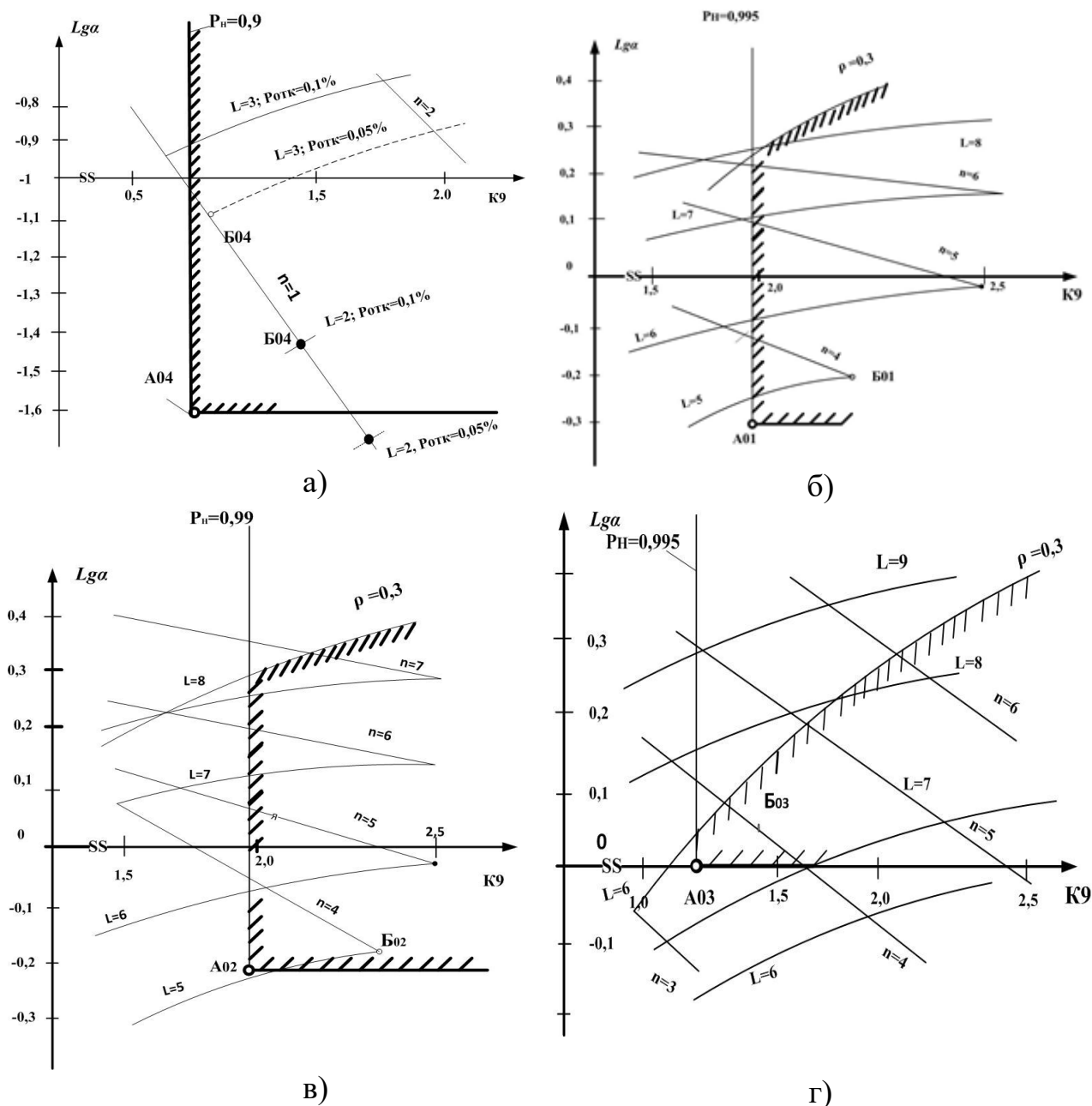


Рисунок 11 - Последовательность нахождения необходимого числа диспетчеров  $n$  и линий связи  $L$  (при  $p_{отк} \leq 0,05\%$ ) для двухуровневой схемы (а – call-центр, б – служба «101», в – служба «102», г – служба «103») по рабочим точкам «Б»

На рисунке 11 представлен пример решения задачи синтеза, когда вероятность потери заявки  $p_{пз} < 0,05\%$ :



- вероятности отказа в приёме заявки, как для call-центра, так и для ДДС служб «101»-«104» - не более 0,05%;
- нагрузка на диспетчеров  $\rho \leq 0,3$ ;
- вероятность немедленного принятия заявки для call-центра  $p_n > 0,995$  ( $K_9 = 2,3$ ), для служб «101» и «102»  $p_n > 0,99$  ( $K_9 = 2$ ), для службы «103»  $p_n > 0,9$  ( $K_9 = 1$ ).

Тогда на графической зависимости на рисунке 11 (без учёта службы «104») были получены рабочие точки  $B_{ц}$ ,  $B_{01}$ ,  $B_{02}$ ,  $B_{03}$  и, согласно (10), были определены значения согласно (11, 12):  $n_{\Sigma} = 5 + 4 + 4 + 4 = 17$ ;  $L_{\Sigma} = 6 + 5 + 5 + 7 = 23$ .

На рисунке 12 представлены примеры решения задачи синтеза, когда  $\alpha = 0,1$  вероятность потери заявки  $p_{пз} < 0,1\%$ . В первом случае ( $\theta = 1$ , рабочая точка  $A$ ) число диспетчеров должно быть не меньше  $n = 3$ , число мест в очереди может быть минимальным –  $m = 1$ , тогда число линий связи  $L = 4$ . Во втором случае ( $\theta = 0,25$ , рабочая точка  $B$ ) число диспетчеров должно быть не меньше  $n = 2$ , число мест в очереди также  $m = 1$ , а число линий связи  $L = 3$ .

Таким образом, разработана методика обеспечения устойчивой работы дежурно-диспетчерской службы в системе экстренного реагирования на основе решения задач анализа и синтеза при обосновании количественных показателей ДДС.

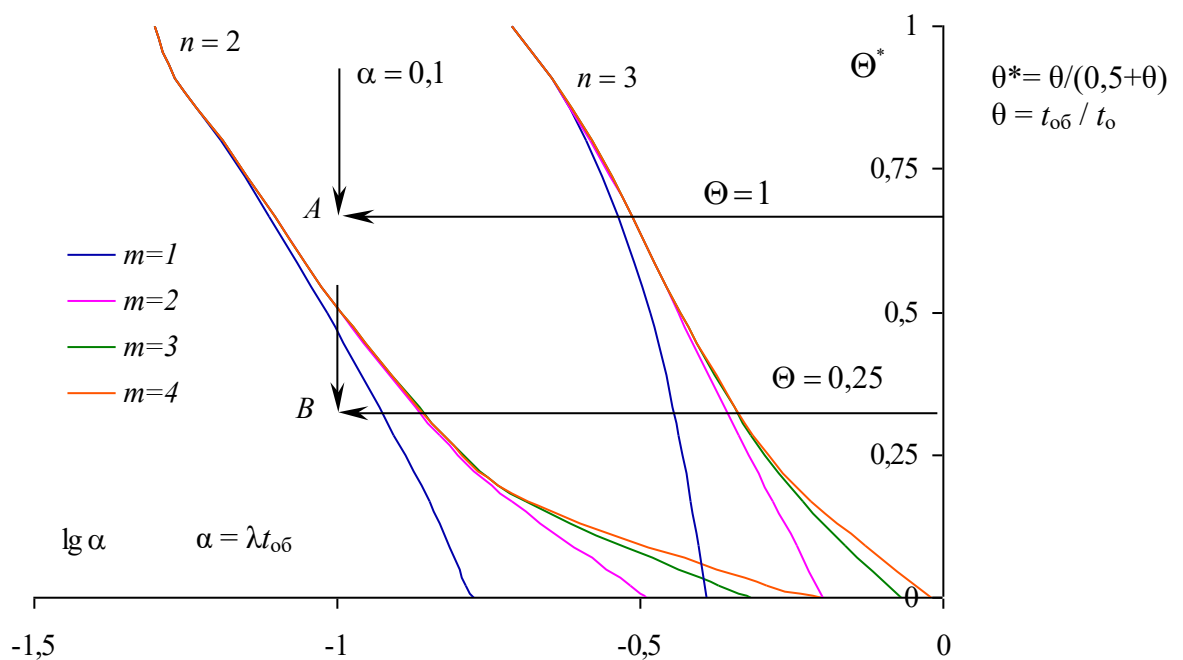


Рисунок 12 – Графическая иллюстрация решения задачи синтеза - нахождения необходимого числа КО  $n$  и мест в очереди  $m$  при  $\alpha = 0,1$ ,  $\theta = 1$  (рабочая точка  $A$ ) и  $\theta = 0,25$  (рабочая точка  $B$ ) для  $p_{пз} = 0,1\%$

Описанные выше последовательности действий в рамках методики обеспечения устойчивой работы дежурно-диспетчерской службы в системе экстренного реагирования были реализованы в виде алгоритмов (рисунки 13 и

14), на основе которых написана компьютерная программа, представленная в приложении диссертации.



Рисунок 13 - Алгоритм решения задачи анализа ДДС при определении характеристик дежурно-диспетчерской службы

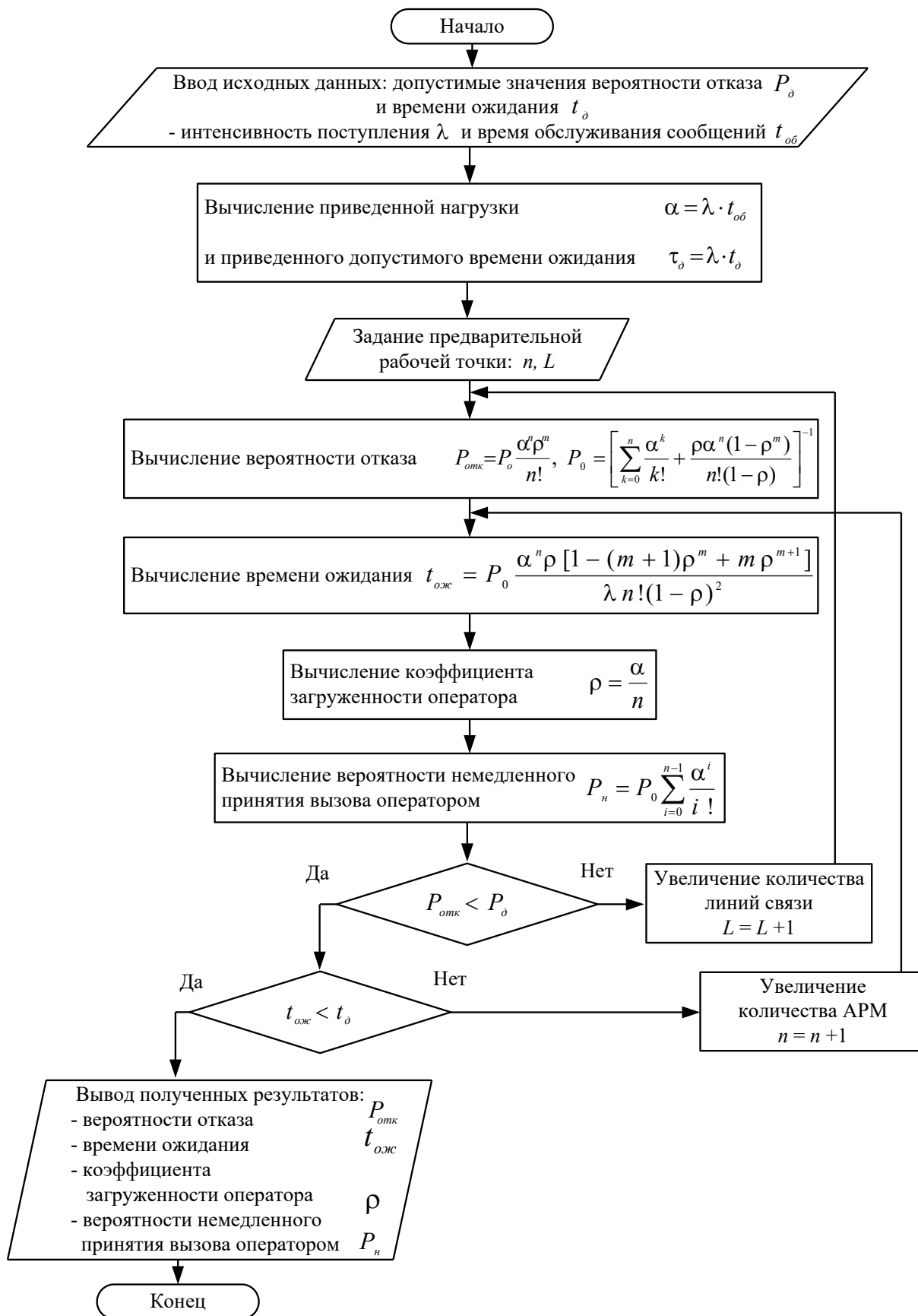


Рисунок 14 - Алгоритм решения задачи синтеза ДДС при определении параметров дежурно-диспетчерской службы

Изложенный выше порядок нахождения требуемых параметров и характеристик дежурно-диспетчерской службы, обеспечивающих ее устойчивую работу, составляет методику обеспечения устойчивой работы дежурно-диспетчерской службы в системе экстренного реагирования, представленную в виде блок-схемы (рисунок 15).

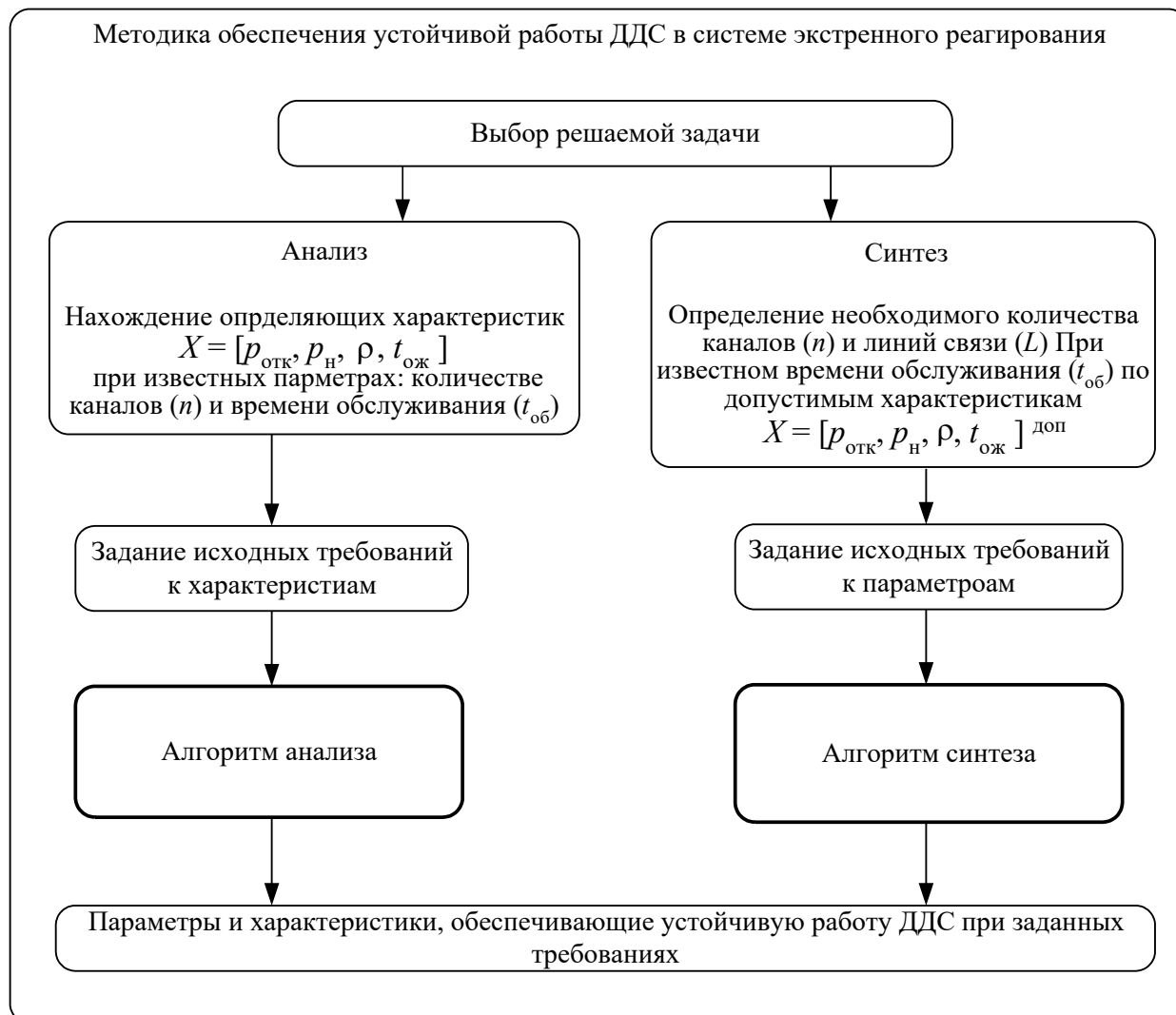


Рисунок 15 - Блок-схема методики обеспечения устойчивой работы ДДС в системе экстренного реагирования.

Оценка эффективности применения разработанных в диссертации моделей и алгоритмов проводилась с использованием статистических данных о поступающих сообщениях за период 2016-2020 гг. в Систему-112 Республики Коми. На основе критериев по оперативности реагирования, изложенных в Методических рекомендациях по созданию Системы-112 в субъектах Российской Федерации, проведен расчет необходимого количества АРМ и диспетчеров дежурной смены (среднее время обработки сообщений ( $t_{об}$ ) 1,25 мин, максимально допустимое время ожидания абонента в очереди ( $t_{доп}$ ) – 0,333 мин). Использовались данные об отклонении среднего количества вызовов от

максимального и минимального значения за декабрь 2018 г., как месяца с нагрузкой, близкой к средней за исследуемый период. Среднее количество сообщений в сутки - 45,21 выз/час. Максимальное отклонение от среднего значения – 91 выз/час, что составляет 88%. Минимальное отклонение – 12 выз/час, что составляет 73%, 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.

Для каждого месяца 2017-2018 годов был произведен расчет необходимого количества АРМ (диспетчеров) и линий связи. Показано, что с использованием разработанных моделей и алгоритмов можно организовать эффективную работу ЦОВ с соблюдением требований нормативных документов, сократив экономические затраты.

Для ЦОВ Системы-112 Республики Коми предложено два варианта: сокращение количества диспетчеров с 6 до 4 человек и с 6 до 5 человек.

В качестве экономических затрат рассматривались: оплата труда, взносы во внебюджетные фонды, стоимость обмундирования, стоимость льготного проезда, оборудование рабочего места, коммунальные расходы.

С учетом представленных в диссертации исходных данных получены следующие значения: 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.

В **Приложении** приведены тексты разработанных программ для ЭВМ и акты внедрения результатов диссертации.

## **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 системе 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 работ, опубликованных автором по теме диссертации:**

#### **1. Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК России для публикации результатов диссертации:**

1. 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>.

2. Малышев, Д.А. Номограммы для решения задач синтеза систем массового обслуживания [Электронный ресурс] / А.А. Таранцев, Д.А. Малышев, А.П. Нодь // 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](https://www.igps.ru/Content/publication/documents/probl_upr_2-15_635914183568701016.pdf).

3. Малышев, Д.А. О возможности совершенствования ГОСТ Р 22.7.01-99 «Единая дежурно-диспетчерская служба» / А.А. Таранцев, Д.А. Малышев // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24. – №11. – С. 77–81.

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

5. Малышев, Д.А. Моделирование работы дежурно-диспетчерских служб с учетом ограничения времени ожидания абонентов / А.А. Таранцев, А.Л. Холостов, Д.А. Малышев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение и ликвидация. – 2017. – №4. – С. 23–27. DOI:10.25257/FE.2017.4.23-27.

6. Малышев, Д.А. О закономерностях в системах массового обслуживания с нетерпеливыми заявками / Д.А. Малышев, А.А. Таранцев, А.Л. Холостов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение и ликвидация. – 2018. – № 3. – С. 90 – 93. – DOI: 10/25257/FE.2018.3.90-93.

## **2. Другие публикации автора:**

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

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

9. Малышев, Д.А. Информационные технологии, применяемые в обеспечении безопасности на территории Республики Коми / Д.А. Малышев // Материалы международной научно-практической конференции курсантов (студентов), магистрантов, адъюнктов (аспирантов) «Чрезвычайные ситуации: теория и практика – 2015». – г. Гомель, 2015. – С. 103–106.

10. Малышев, Д.А. Обоснование количественных показателей дежурно-диспетчерских служб при управлении экстренными службами на региональном уровне / 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.

11. Малышев, Д.А. Создание и развитие аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» в Республике Коми / 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. – С. 143–148.

12. Малышев, Д.А. Создание и развитие современной системы обработки вызовов экстренных оперативных служб Системы 112, на территории Республики Коми / 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. – С. 258 – 261.