

На правах рукописи



КУСАИНОВ АРМАН БУЛАТОВИЧ

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ И СРЕДСТВ
ГАРНИЗОНА ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ СЛУЖБЫ
ГОРОДА**

Специальность: 05.13.10 –

Управление в социальных и экономических системах
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2020

Работа выполнена в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России на кафедре управления и экономики ГПС (в составе научно-образовательного комплекса организационно-управленческих проблем ГПС)

Научный руководитель: **Брушлинский Николай Николаевич**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры управления и экономики ГПС (в составе НОК организационно-управленческих проблем ГПС) ФГБОУ ВО «Академия ГПС МЧС России»

Официальные оппоненты: **Тараканов Денис Вячеславович**
доктор технических наук, профессор кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ (в составе УНК «Пожаротушение») ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России»

Парфененко Александр Павлович
кандидат технических наук, доцент кафедры комплексной безопасности в строительстве ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»

Защита диссертации состоится «18» февраля 2021 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 205.002.01 при Академии Государственной противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4, зал диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте:
<https://academygps.ru/upload/iblock/176/1768e7515767c79e7c9a108b7e717c2c.pdf>

Автореферат разослан «23» декабря 2020 г.

Отзыв на автореферат с заверенной подписью и печатью просим направить в Академию Государственной противопожарной службы МЧС России по указанному адресу.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Р.Ш. Хабибулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В декабре 1991 г. Республика Казахстан стала независимым государством и скоро будет отмечать свое 30-летие.

В начале 2019 г. население Казахстана составило 18,5 млн человек, по площади территории республики занимает девятое место среди государств мира.

С обретением независимости республика обязана была заниматься и обеспечивать различные аспекты национальной безопасности, включая и пожарную. Необходимо было провести реорганизацию всей системы обеспечения пожарной безопасности на основе современных организационно-правовых основ. В этом заключалась научно-практическая задача государственной важности.

Однако до 2015 г. специальных исследований, связанных с обеспечением пожарной безопасности городов, по ряду причин в республике не проводилось.

Проведенный анализ нормативно-правовых актов показал, что в республике пока отсутствуют научно обоснованные нормы по определению необходимого числа пожарно-спасательных служб. Имеющиеся строительные нормы и правила заимствованы из ряда зарубежных стран и не подходят для обеспечения пожарной безопасности городов Республики Казахстан.

Степень разработанности темы исследования. Для решения организационно-управленческих задач по обеспечению защиты городов и населенных пунктов от пожаров разработана теория интегральных пожарных рисков. Вопросами разработки и использования теории интегральных (территориальных) рисков занимаются Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, Н.Л. Присяжнюк, Ю.М. Глуховенко, Е.А. Клепко, А.В. Красавин, С.Ю. Попков и др.

Вопросы обоснования критериев деятельности пожарно-спасательных подразделений городов исследовали Н.Н. Брушлинский, Н.Г. Топольский, С.С. Радулов, Буй Ван Нган, И. Букович, Я. Олшанский, С.В. Соколов, Ю.Н. Коломиец, А. Майка, Е.М. Алехин, В.Б. Коробко, До Нгок Кан, В.И. Климкин, В.А. Белов, P. Wagner и др.

В результате проведенных ими исследований был сделан существенный шаг по разработке методологии оценки интегральных рисков, обоснования ресурсов пожарно-спасательных подразделений городов и населенных пунктов, которые легли в основу нормативно-правовых актов, регламентирующих организацию пожарно-спасательной службы в зависимости от численности населения и площади города.

Вместе с тем проведенный анализ позволил установить, что до настоящего времени не проводилась оценка комплексной пожарной опасности городов Республики Казахстан с использованием индексного показателя. Используемые методы обоснования критериев функционирования пожарно-спасательных подразделений не учитывают комплекс организационно-управленческих задач, связанных с обеспечением безопасности социально-экономических систем.

Диссертационная работа посвящена разработке и применению методологии оценки интегральных пожарных рисков и алгоритма проектирования сил и средств гарнизона пожарно-спасательной службы для решения задач управления пожарной безопасностью городов.

Вышеизложенное дает возможность сделать общий вывод об актуальности, объекте и предмете исследования.

Цель исследования – формирование модели и алгоритма определения сил и средств гарнизона пожарно-спасательной службы города.

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

- провести анализ действующей нормативно-правовой базы организации системы обеспечения пожарной безопасности городов Республики Казахстан и дать ее оценку;

- развить существующую методологию оценки интегральных пожарных рисков и на ее основе определить объективный уровень пожарной безопасности городов Республики Казахстан;

- провести детальное математико-статистическое моделирование процесса функционирования пожарно-спасательной службы города и дать ее оценку;

- разработать алгоритм определения сил и средств гарнизона пожарно-спасательной службы и на его основе рассчитать необходимое число пожарных депо, личного состава и пожарной техники города;

- разработать новую нормативно-правовую основу проектирования гарнизона пожарно-спасательных служб городов на основе результатов моделирования, которая позволит формировать научно-обоснованные предложения по определению необходимого числа сил и средств гарнизона пожарно-спасательной службы города.

Объект исследования – оперативная деятельность пожарно-спасательных служб городов Республики Казахстан.

Предмет исследования – определение сил и средств гарнизона пожарно-спасательных служб городов Республики Казахстан.

Методология и методы исследования. Основу теоретических исследований составили системный анализ и математическая статистика произошедших пожаров и их последствий, расчет интегральных пожарных рисков и математическое моделирование деятельности пожарно-спасательных служб города.

Научная новизна:

- разработана индексная модель оценки комплексного показателя пожарной опасности, позволяющая определить объективный уровень пожарной безопасности городов Республики Казахстан;

- разработан алгоритм определения сил и средств гарнизона пожарно-спасательной службы города для расчета необходимого числа пожарных депо, личного состава и пожарной техники;

– определены параметры математических моделей процесса функционирования пожарно-спасательных подразделений городов Республики Казахстан.

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в том, что на основании выполненных исследований и полученных научных результатов предложена индексная модель оценки комплексного показателя пожарной опасности городов, позволяющая определить объективный уровень пожарной безопасности городов Республики Казахстан.

Практическая значимость работы заключается в:

– возможности ранжирования по уровням пожарной опасности города Республики Казахстан с помощью разработанной индексной модели оценки комплексного показателя пожарной опасности;

– совершенствовании организационного проектирования гарнизона пожарно-спасательной службы городов Республики Казахстан.

Положения, выносимые на защиту:

– результаты исследования действующей нормативно-правовой базы организации системы обеспечения пожарной безопасности Республики Казахстан;

– индексная модель оценки комплексного показателя пожарной опасности городов Республики Казахстан;

– результаты исследований статистических данных о пожарах в городах, расчетов по обоснованию числа и мест дислокации, и анализа оперативно-тактических возможностей пожарно-спасательных подразделений;

– алгоритм определения сил и средств гарнизона пожарно-спасательной службы города;

– научно-обоснованные нормативные основы организации пожарно-спасательных служб в городах Республики Казахстан.

Достоверность полученных результатов достигнута за счет использования официальных статистических данных, использованием апробированного математического аппарата, согласованностью полученных результатов с результатами работ других исследователей, удовлетворительной сходимостью эмпирических и теоретических результатов.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы доложены на десяти научно-практических конференциях: Международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации и безопасная жизнь» (Баку, Академия МЧС Азербайджана, 2015), V Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2016» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2016), Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы обеспечения гражданской защиты» (Харьков, Национальный университет гражданской защиты Украины, 2016), XXV международной научно-практической конференции «Системы безопасности – 2016» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2016), V Всероссийской конференции и школы для молодых ученых (с международным участием) «Системы обеспечения техносферной

безопасности» (Таганрог, Южный федеральный университет, 2018), VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций» (Воронеж, Воронежский институт – филиал ФГБОУ ВО Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, 2018), Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности» (Екатеринбург, Уральский институт ГПС МЧС России, 2018), X Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (Кокшетау, Кокшетауский технический институт КЧС МВД Республики Казахстан, 2019) и др.

Публикации. По теме исследования опубликовано 13 научных работ, из них 4 в журналах, включенных в перечень ВАК.

Результаты исследования, обладающие научной новизной и полученные лично соискателем. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в работе, заключается в разработке и научном обосновании индексной модели комплексной оценки пожарной опасности городов, алгоритма определения ресурсов гарнизона пожарно-спасательной службы города, научно обоснованных нормативных основ организации пожарно-спасательных подразделений в городах и населенных пунктах Республики Казахстан. В публикациях результаты, связанные с анализом текущей ситуации в исследуемой области, разработкой индексной модели, алгоритма расчета сил и средств пожарно-спасательных подразделений получены автором самостоятельно.

Материалы диссертационной работы реализованы в:

– работе Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан;

– работе ГУ «Служба пожаротушения и аварийно-спасательных работ» Департамента по чрезвычайным ситуациям Акмолинской области Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан;

– учебном процессе Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан при изучении дисциплин «Организация службы и подготовки», «Тактика спасательных работ и ликвидация чрезвычайных ситуаций», «Оценка риска в области чрезвычайных ситуаций»;

– учебном процессе Академии ГПС МЧС России при изучении дисциплины «Организация и координация деятельности пожарно-спасательных гарнизонов».

Практическое применение результатов исследования подтверждается актами внедрения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Содержание работы изложено на 170 страниц текста, включает в себя 32 рисунка, 53 таблицы, список литературы из 90 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, изложены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту.

Глава 1 «Организация противопожарной службы в городах Республики Казахстан». Рассматривается классификация и характеристика городов Республики Казахстан и численность населения проживающего в них.

Проведенный анализ структуры и объем работы пожарно-спасательных служб городов Республики Казахстан позволил установить, что до 64,8 % всех боевых выездов противопожарных подразделений приходится на случаи горения, не берущиеся на учет как пожары, и 23,9 % непосредственно на пожары (рисунок 1). Таким образом, 88,7 % всех выездов связаны с пожарами и 11,3 % с другими работами.

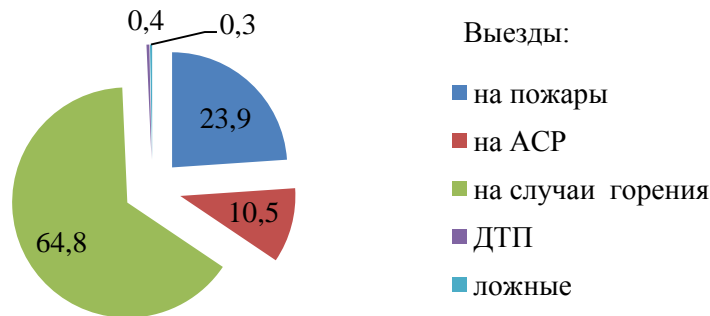


Рисунок 1 – Структура работы пожарно-спасательных служб в городах Республики Казахстан

Исследован объем выполняемой работы пожарно-спасательными службами и их приведенная численность к населению в 85 городах республики по следующим показателям:

– количество пожаров, приходящихся в единицу времени на одного пожарного, $Q_1, \left[\frac{\text{Пожаров}}{\text{Пожарный, год}} \right]$,

– численность населения, приходящаяся на одно противопожарное подразделение, $Q_2, \left[\frac{10^3 \text{ чел.}}{\text{Пож. депо}} \right]$,

– численность населения, приходящаяся на одного пожарного $Q_3, \left[\frac{\text{чел.}}{\text{Пожарный}} \right]$,

– количество выездов, приходящихся в единицу времени на одно противопожарное подразделение, $Q_4, \left[\frac{\text{Выезд}}{\text{Пож. депо, год}} \right]$,

– площадь территории города, приходящаяся на одно противопожарное подразделение по, $Q_5, \left[\frac{\text{км}^2}{\text{Пож. депо}} \right]$.

По результатам исследования установлено, что нагрузка на пожарно-спасательные службы в городах распределяется по-разному. Одни подразделения перегружены, другие в большей части своего рабочего времени находятся в режиме ожидания (рисунок 2 и 3).

Данное обстоятельство стало возможным из-за отсутствия в Республике Казахстан научно обоснованных нормативов по организации пожарно-спасательной службы.



Рисунок 2 – Количество выездов, приходящихся в единицу времени на одно противопожарное подразделение, в городах с населением от 100 тыс. и более



Рисунок 3 – Площадь территории города, приходящаяся на одно противопожарное подразделение, в городах с населением от 100 тыс. и более

Анализ нормативных документов, регламентирующих численность сил и средств, а также времени реагирования пожарно-спасательных служб на вызовы в Республике Казахстан и за рубежом, показал, что в республике не проводились исследования по разработке научно-обоснованных норм.

Пожарно-спасательные подразделения Республики Казахстан спроектированы согласно нормам, принятым в СССР в 1930 г., согласно которым радиус обслуживания пожарным депо был принят 3 км. В 50-х гг. XX в. к данному нормативу был добавлен еще один норматив, касающийся числа

пожарных автомобилей, из расчета один пожарный автомобиль на 5 тыс. человек, проживающих в населенном пункте. В 2009 г. к данным нормам Техническим регламентом Республики Казахстан «Общие требования к пожарной безопасности» были включены временные параметры прибытия к месту вызова первых противопожарных подразделений (10 мин).

Таким образом, в настоящее время существуют проблемы с выполнением установленных нормативов и проектированием пожарно-спасательного гарнизона города.

Глава 2 «Развитие теории пожарных рисков». Освещены основные понятия теории интегральных пожарных рисков, выделены виды пожарных рисков, проанализирована и дана оценка основных пожарных рисков. Предложен индексный метод объединения пожарных рисков.

В процессе исследования в качестве основных интегральных пожарных рисков использовались: R_1 – риск для человека столкнуться с пожаром (его опасными факторами) за единицу времени, пожар/ чел. год; R_2 – риск для человека погибнуть при пожаре (оказаться его жертвой), жертва/ пожар; R_3 – риск для человека погибнуть при пожаре за единицу времени, жертва/ чел. год; R_4 – риск для человека получить увечья при пожаре, пострад./ пожар; R_5 – риск для человека получить увечья при пожаре за единицу времени, жертва/ чел. год.

Очевидно, что риски R_1, R_2, R_3 связаны соотношением

$$R_3 = R_1 \cdot R_2.$$

Риск R_1 характеризует возможность реализации пожарной опасности, а риски R_2, R_3, R_4, R_5 – некоторые последствия реализации пожарной опасности.

Проведенные исследования основных интегральных пожарных рисков городов Республики Казахстан показали, что риск R_1 находится в диапазоне в средних городах – 1,5 и в крупных городах – 5,9 пожара на 1000 чел., средний показатель в городах республики составляет – 3,2. Риск R_2 находится в диапазоне в малых городах – 0,03 и в больших городах – 1,0 жертв на 100 пожаров, средний показатель в городах республики составляет – 0,8. Риск R_3 находится в диапазоне в малых городах – 0,09 и в больших городах – 6,7 жертв на 100 000 чел. в год (таблица 1).

Таблица 1 – Интегральные пожарные риски в городах Республики Казахстан

№ п/п	Город	Численность населения тыс. человек	Интегральные пожарные риски				
			R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
1	Крупнейшие	Более 1000	2,6	0,6	1,5	8,7	5,1
2	Крупные	От 250 до 1000	5,9	0,9	5,3	4,5	4
3	Большие	От 100 до 250	6,7	1	6,7	3,6	3,6
4	Средние	От 50 до 100	1,5	0,09	0,1	3,9	3,5
5	Малые	До 50	3,4	0,03	0,09	3,3	4,1
ИТОГО			3,2	0,8	2,5	1,4	4,6

Методология интегральных пожарных рисков позволила определить пожарную опасность городов по 5 показателям. Однако имеется ряд проблем,

препятствующих повышению эффективности обеспечения пожарной безопасности городов, решение которых позволит повысить безопасность и действенность управления пожарной безопасностью городов, в частности не разработаны следующие системы:

- критериев, для анализа интегральных пожарных рисков;
- индексов, позволяющая оценить результативность управления пожарной безопасностью и степень опасности возможных интегральных рисков для городов.

Применение индексов для оценки и планирования деятельности дает следующие преимущества:

- 1) индексы позволяют определить параметры верхних и нижних границ, в пределах которых города будут устойчиво функционировать;
- 2) индексы позволяют установить соответствующие уровни приемлемого риска и ответственность за достижение определенных целевых показателей;
- 3) индексы позволяют заблаговременно сигнализировать о приближении критического состояния в соответствующем городе, и задействовать экстренные меры для минимизации последствий риска;
- 4) индексы можно использовать при проведении качественного анализа интегральных пожарных рисков.

Основным преимуществом индексного метода является то, что внутри установленных границ создастся «информационное пространство», необходимое и достаточное для выявления возможных интегральных рисков.

Индексный метод позволяет провести оценку интегральных рисков и сравнить их между городами.

Таким образом, местные исполнительные органы и уполномоченный орган в области пожарной безопасности получит возможность выявить критические интегральные риски и определить соответствующие управленческие решения, направленные на их минимизацию.

Таблица 2 – Этапы индексного моделирования комплексной оценки пожарных рисков городов

Этап	Краткое содержание этапа моделирования
1 этап	Проводится сбор данных о произошедших пожарах и их последствиях за единицу времени
2 этап	Вычисляются основные пожарные риски: R_1 – количество пожаров, приходящихся в год на одного человека; R_2 – количество погибших при одном пожаре; R_3 – количество людей, погибающих от пожаров за год, в расчете на одного человека; R_4 – количество пострадавших при одном пожаре; R_5 – количество людей, пострадавших от пожаров за год, в расчете на одного человека
3 этап	Сравнительный анализ пожарных рисков путем ранжирования и присвоения соответствующего индекса J_{R_i} .
4 этап	Комплексная оценка пожарной опасности проводится путем суммирования полученных итоговых индексов $J_k = \sum_{i=1}^5 J_{R_i}$.
5 этап	Определение интервальных значений комплексного показателя пожарной опасности $J_{k_{cp}} - \epsilon < J_{k_{cp}} < J_{k_{cp}} + \epsilon$
6 этап	Вывод о пожарной обстановке в городах и проводится анализ с целью разработки мер по ее улучшению (управление пожарными рисками)

В целях упорядочения и систематизации, в таблице 2 представлены этапы индексного моделирования комплексной оценки пожарных рисков городов.

Проведен последовательный анализ пожарных рисков индексным методом для 85 городов Республики Казахстан (рисунки 4 и 5).

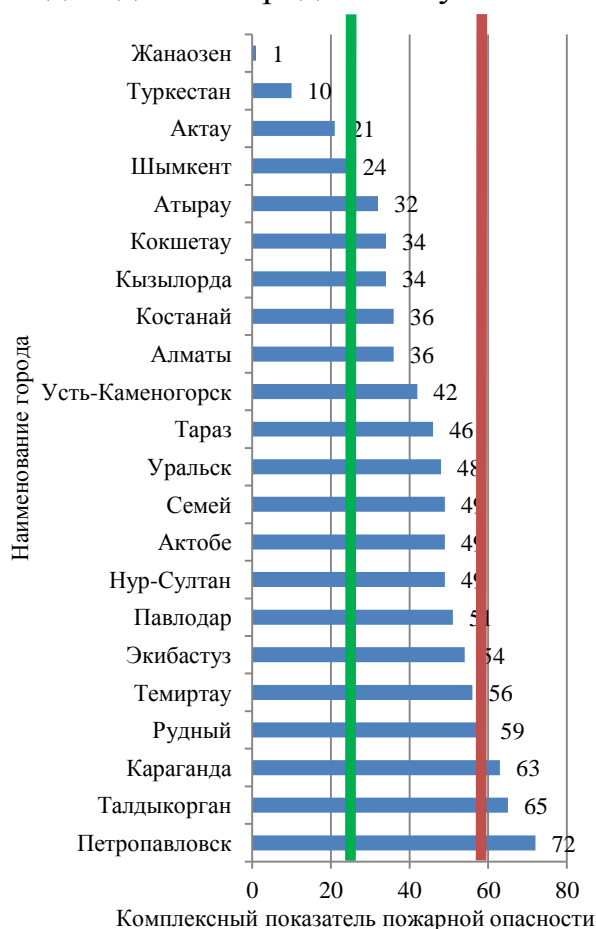


Рисунок 4 – Комплексный показатель пожарной опасности городов с численностью населения от 100 тыс. и более

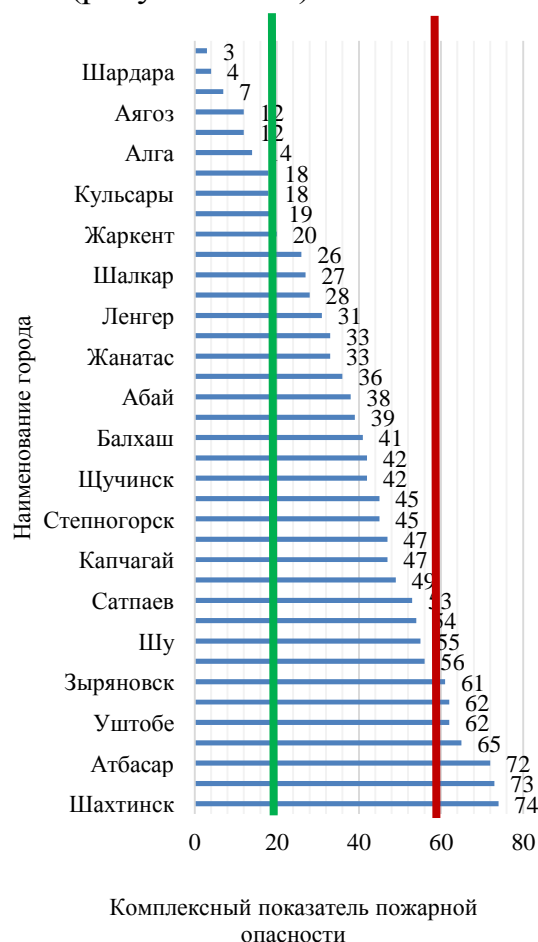


Рисунок 5 – Комплексный показатель пожарной опасности городов с численностью населения от 50 до 100 тыс.

На основании результатов проведенного исследования обоснованы значения комплексного показателя пожарной опасности J_k к оценке уровня пожарной опасности.

Сводная информация по городам и регионам республики, в которых комплексный показатель пожарной опасности превышает интервальные значения $J_{k_{cp}} - 6 < J_k < J_{k_{cp}} + 6$, представлена в таблице 3.

Из 85 исследуемых городов в 16 комплексный показатель пожарной опасности превышает интервальные значения $J_{k_{cp}} - 6 < J_k < J_{k_{cp}} + 6$. Наибольшее количество таких городов приходится на Карагандинскую (5), Акмолинскую (3), Восточно-Казахстанскую (3), Алматинскую (2), Костанайскую (2) и Северо-Казахстанскую (1) область.

Таблица 3 – Сводная информация по городам и регионам республики

№ п/п	Наименование	Всего городов	Группа города		
			I	II	III
1	Акмолинская область	10	-	Атбасар	Акколь
2			-	-	Есиль
3	Актюбинская область	8	-	-	-
4	Алматинская область	10	Талдыкорган	Уштобе	-
5	Восточно-Казахстанская область	10	-	Риддер	Шемонаиха
6			-	Зыряновск	-
7	Жамбылская область	4	-	-	-
8	Западно-Казахстанская область	2	-	-	-
9	Карагандинская область	11	Караганда	Шахтинск	Приозерск
10			-	Сарань	Каркаралинск
11	Костанайская область	4	Рудный	Аркалык	-
12					
13	Павлодарская область	3	-	-	-
14	Северо-Казахстанская область	5	Петропавловск	-	-
15	Туркестанская область	7	-	-	-

Таким образом, по итогам применения разработанной методики впервые был установлен объективный уровень пожарной опасности в городах Республики Казахстан.

Далее был проведен анализ пожаров, произошедших в городах Республики Казахстан. Анализ показал, что до 37,5 % пожаров приходится на неосторожное обращение с огнем, на нарушение правил пожарной безопасности при эксплуатации электроприборов – 23,1 %, на поджоги – 10,5 %, шалость детей – 2,7 % и т.д. (рисунок 6).

Анализ причин возникновения пожаров показал, что в крупнейших городах наибольшее число пожаров приходится на нарушение правил пожарной безопасности при эксплуатации электроприборов (37,7 %) и неосторожное обращение с огнем (34,6 %), в крупных на неосторожное обращение с огнем (46,3%), в больших на неосторожное обращение с огнем (48,1 %), в средних на неосторожное обращение с огнем (31,3 %) и малых на неосторожное обращение с огнем (33,5 %). Все данные пожары произошли по вине «человеческого фактора», то есть социального.

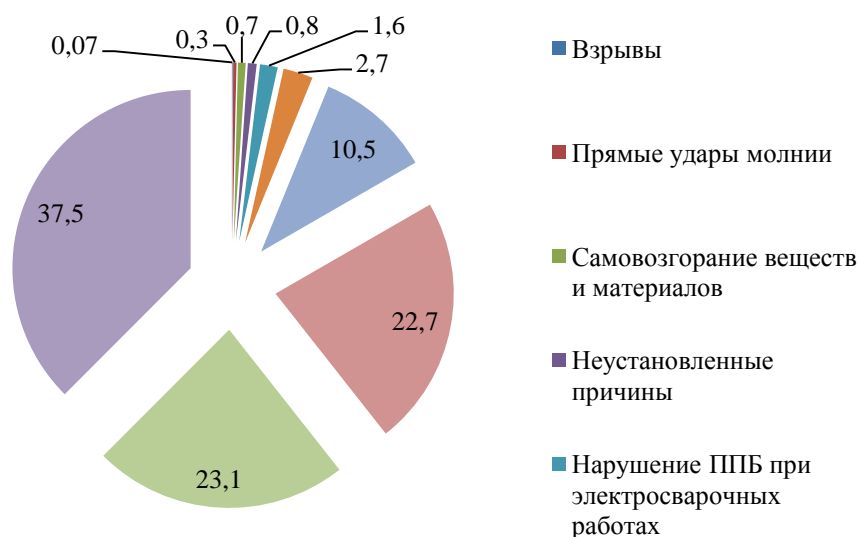


Рисунок 6 – Причины пожаров в городах Республики Казахстан, %

Анализ обстановки с пожарами в зависимости от объектов пожаров показал, что наибольшее число пожаров в городах Республики Казахстан приходится на жилой сектор и прочие объекты, в состав которых входят надворные постройки, на транспорте, промышленные и иные объекты (таблица 4).

Таблица 4 – Распределение пожаров по видам объектов

Объекты пожаров	Величина	Классификация городов				
		Крупнейшие	Крупные	Большие	Средние	Малые
С массовым пребыванием людей	Кол-во, ед.	223	97	21	11	20
	%	17,3	2,5	1,3	1,7	1,4
Жилой сектор	Кол-во, ед.	833	2594	866	466	1050
	%	64,7	68,6	55,6	73,2	74,8
Природные	Кол-во, ед.	2	18	3	4	24
	%	0,2	0,5	0,3	0,6	1,7
На прочих объектах	Кол-во, ед.	229	1074	667	156	311
	%	17,8	28,4	42,8	24,5	22,1

Отсюда следует, что в работе по предупреждению пожаров особое внимание необходимо уделять жилому сектору и адресной работе с населением.

Глава 3 «Математико-статистический анализ процесса функционирования пожарно-спасательных служб городов Республики Казахстан». Произведена оценка количественных закономерностей оперативной деятельности пожарно-спасательного гарнизона города, подобраны и использованы математические модели функционирования гарнизона. Проведены анализ состояния, дислокации сил и средств, параметров оперативного реагирования пожарно-спасательного гарнизона.

Результаты статистического исследования и моделирования вероятностного распределения числа вызовов пожарно-спасательного гарнизона, на примере города Кокшетау показали, что в целом поток вызовов является нестационарным (рисунок 7).

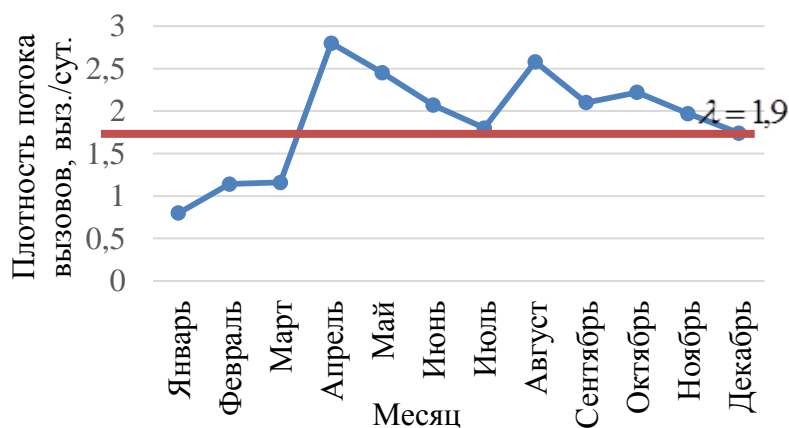


Рисунок 7 – Динамика плотности потока вызовов противопожарных подразделений города Кокшетау по месяцам 2017 г.

В случаях распределения числа вызовов на 3 месяца поток вызовов пожарно-спасательного гарнизона города Кокшетау практически всегда является стационарным и описывается законом распределения Пуассона.

В результате произведенных перерасчетов распределения вызовов пожарно-спасательных подразделений города установлено, что критерий Романовского в январе-марте составил $R = 0,8 < 3$ (рисунок 8); в апреле-августе $R = 15,9 > 3$; сентябре-декабре $R = 3,0 = 3$, это позволило использовать в данной работе известные математические модели в исследовании процессов функционирования пожарно-спасательной службы.

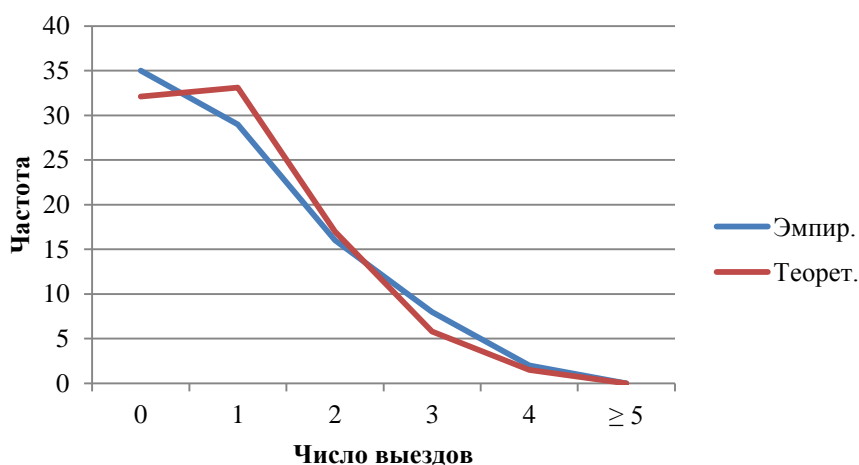


Рисунок 8 – Распределение числа вызовов пожарно-спасательных служб города Кокшетау за 3 месяца (январь-март 2018 г.)

Плотность потока вызовов по трем периодам колеблется от 1,03 до 2,34 вызовов в сутки.

Полученные результаты позволили использовать более сложные математические модели для проведения оценки оперативной деятельности гарнизона пожарно-спасательной службы.

Проведенный анализ деятельности пожарно-спасательных служб для всех городов Республики Казахстан показал, что пожарно-спасательные подразделения в 29 % всех вызовов не укладываются в нормативное время

прибытия к месту пожара, установленного «Техническим регламентом Общие требования к пожарной безопасности». Наиболее сложная обстановка в крупнейших городах, где противопожарные подразделения в 39,7 % вызовов не укладываются в нормативное время. Не менее сложная ситуация в крупных городах, где данный показатель составляет 33,8 % (рисунок 9).

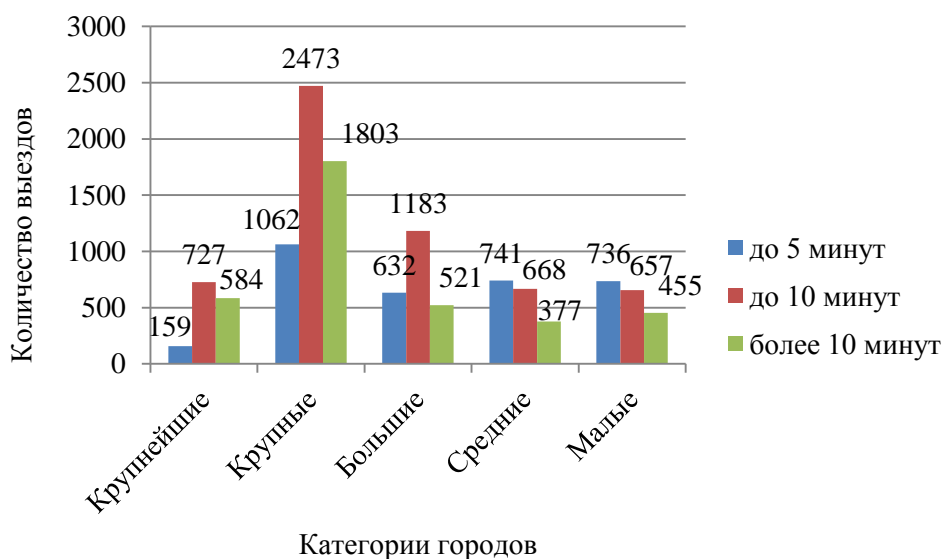


Рисунок 9 – Время следования пожарных подразделений в городах Республики Казахстан

Проведенные экспериментальные расчеты среднего времени следования $\bar{\tau}_{\text{ср.след}}$ к месту вызова пожарно-спасательных служб для всех городов Республики Казахстан показали, что наибольшее значение времени следования приходится на город Туркестан $\bar{\tau}_{\text{ср.след}} = 15,7$ мин. При этом максимальное время следования составляет 45 мин, что недопустимо для пожарно-спасательных подразделений.

В городах Темиртау, Тараз, Павлодар, Жезказган, Кентау, Атырау, Костанай, Рудный и Петропавловск значение среднего времени следования расположены в интервале от 10,2 до 12,3 мин. Данные значения показывают, что максимальное время следования в этих городах будет превышать 20 мин.

В остальных городах республики среднее время следования пожарно-спасательных подразделений расположено в интервале от 3,2 до 10 мин.

Проведенные исследования длительности времени обслуживания вызовов пожарно-спасательными подразделениями на примере города Кокшетау показали об удовлетворительном соответствии эмпирического и теоретического распределений (показательный закон распределения) (рисунок 10). При этом $\bar{\tau}_{\text{обсл}} = 35,3$ мин.

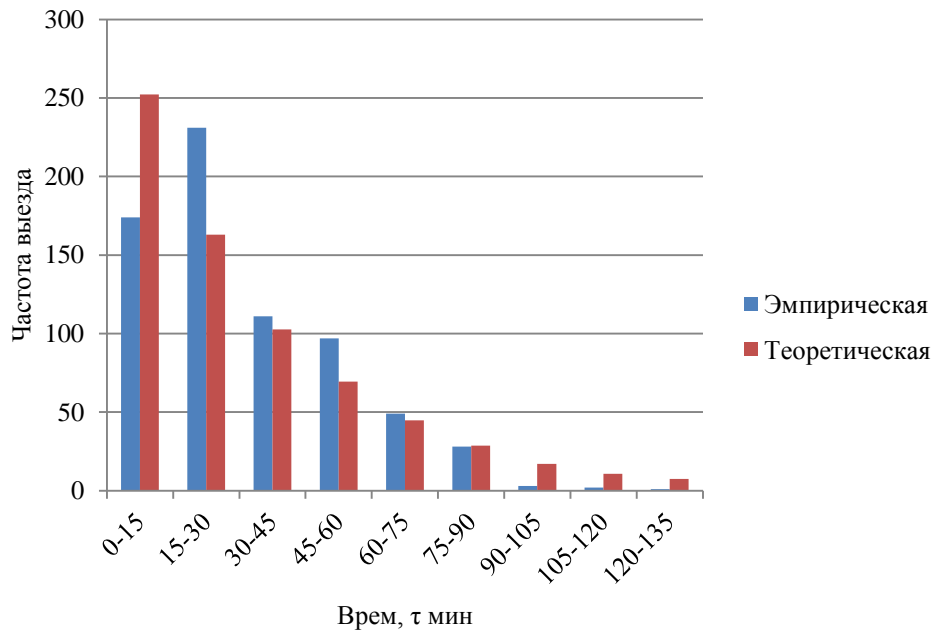


Рисунок 10 – Гистограмма эмпирического и теоретического распределений длительности времени обслуживания вызовов пожарно-спасательных служб в городе

В работе детально исследована скорость следования пожарно-спасательных автомобилей к месту вызова на примере города Кокшетау (рисунок 11). Средняя скорость следования составила $v_{\text{ср.след}} = 28$ км/ч.

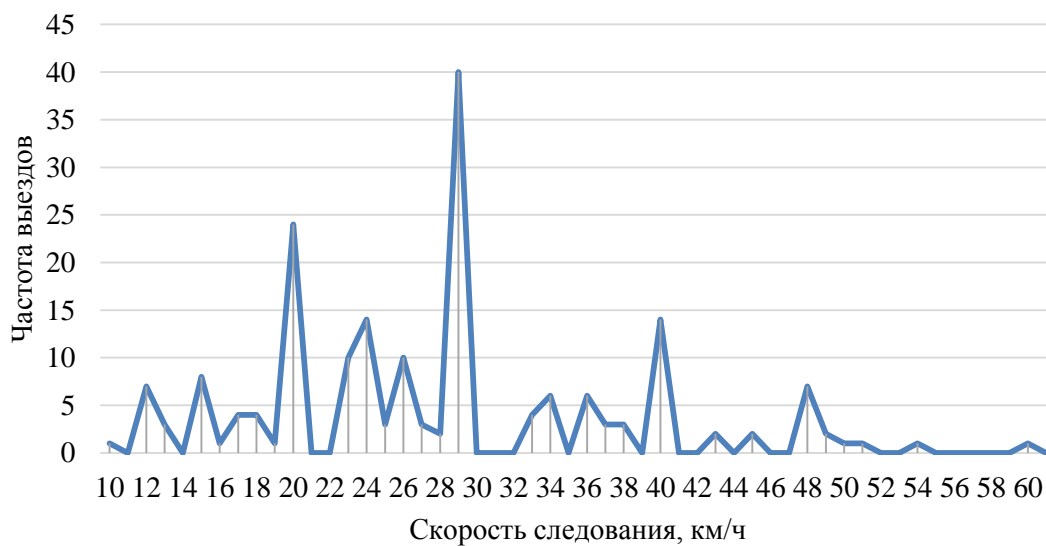


Рисунок 11 – Данные по скорости следования пожарно-спасательных автомобилей

Далее были исследованы статистические закономерности привлечения пожарной техники для обслуживания вызовов на примере города Кокшетау. В таблице 5 представлено распределение числа, выезжавших по вызову пожарных автомобилей (ПА) в городе.

Из таблицы 5 следует, что подавляющее число вызовов (около 78 % от общего числа вызовов) в городе обслуживается с привлечением не более двух ПА (т.е. один или два).

Таблица 5 – Распределение числа вызовов на пожары, в зависимости от количества привлекавшихся для их обслуживания ПА

Количество ПА, l	Число вызовов (частота), n_l	Относительная частота, ω_l
1	365	0,5244
2	171	0,2456
3	131	0,1968
4	23	0,0330
5	2	0,0028
6	1	0,0014
7	1	0,0014
8	1	0,0014
9	1	0,0014
Всего	696	1,000

Результаты расчетов параметров одновременной занятости числа оперативных отделений пожарно-спасательных служб обслуживанием вызовов на примере города Кокшетау представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Значения характеристик одновременной занятости пожарно-спасательных служб обслуживанием вызовов в городе Кокшетау за 2018 г.

Число k одновременно занятых ПА	Число вызовов n	Вероятность возникновения $p\{k\}$	Суммарная длительность времени $T\{k\}$, час в год	Частота возникновения $f\{k\}$, случаев в год
0	-	0,9323	8166,9	-
1	365	0,0342	299,6	340,3
2	171	0,0166	145,4	171,8
3	131	0,0137	120,0	139,6
4	23	0,0028	24,5	33,9
5	2	0,0003	2,6	7,3
6	1	0,0001	1,7	2,6
7	1	0,0000	0,9	0,6
8	1	0,0000	0,0	0,0
9	1	0,0000	0,0	0,0
Всего	696	1,00000	8760,0	696,00

Из таблицы 6 видно, что примерно 93 % времени исследуемые подразделения находятся в ситуации, в которой все оперативные отделения на основных ПА свободны от обслуживания вызовов.

Зная вероятностные характеристики одновременной занятости оперативных отделений обслуживанием вызовов, можно обосновать количество N оперативных отделений на основных ПА в составе дежурных караулов пожарно-спасательной службы города Кокшетау, достаточное для того, чтобы обеспечить безотказное обслуживание вызовов.

Глава 4 «Алгоритм определения сил и средств гарнизона пожарно-спасательной службы». На основании результатов исследования и существующих математических моделей разработан алгоритм определения сил и средств гарнизона пожарно-спасательной службы города (рисунок 12).

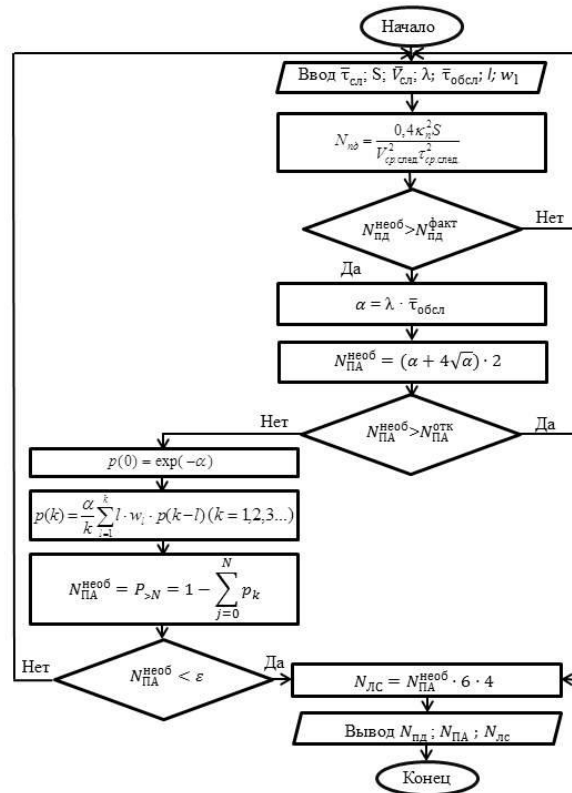


Рисунок 12 – Алгоритм определения сил и средств гарнизона пожарно-спасательной службы города

$\bar{t}_{сл}$ – среднее время следования пожарно-спасательных служб к месту вызова;
 n_l – число вызовов пожарных автомобилей, S – застроенная площадь города, км²;
 $\bar{V}_{сл}$ – средняя скорость следования пожарного автомобиля к месту вызова, км/ч;
 l – перечень различных значений числа выезжавших по вызову пожарных автомобилей; ω_l – относительная частота; λ – плотность потока вызова, выз/сут; α – приведенная интенсивность потока вызовов, эрл.; $\tau_{обсл}$ – среднее время обслуживания вызова пожарно-спасательных службами в год, мин; $N_{пд}$ – количество пожарных депо; $N_{лс}$ – количество пожарных автомобилей; $N_{лс}$ – количество личного состава; P_k – вероятность того, что одновременно заняты оперативной работой k однотипных пожарных автомобилей; ϵ – риск такой ситуации, когда потребуется больше чем N автомобилей; $P_{>N}$ – вероятность того, что потребуется одновременно больше автомобилей, чем N имеющихся в гарнизоне

Алгоритм выполняется поэтапно:

1. Проводится ввод данных.

2. С учетом среднего времени следования $\bar{t}_{сл}$ (км/мин), средней скорости следования $\bar{V}_{сл} = 25 \div 36$ (км/ч), площади населенного пункта $S_{гор.}$ (км²), коэффициента непрямолинейности уличной сети k_H , изменяющегося в зависимости от сети города от 1 до $\sqrt{2} \approx 1,4$ и безразмерного эмпирического коэффициента α , учитывающего особенности каждого населенного пункта и чаще всего находящегося в интервале от 0,3 до 0,5.

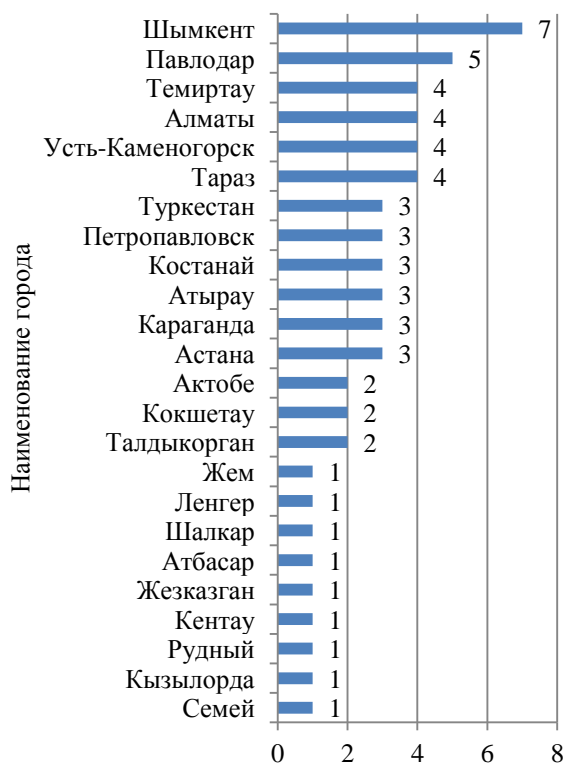
3. Определить необходимое число пожарных автомобилей (ПА) следующими способами:

первый способ – (ориентировочный) – учитывается одновременная занятость ПА, рассчитанная по приведенной интенсивности потока вызовов, эрл. $a = \lambda \cdot \tau_{\text{ср.обсл.}}$;

второй способ (основной) – учитывается вероятность того, что в городе может быть занято N отделений пожарно-спасательных служб $P_{>N}$, число одновременно занятых j отделений пожарно-спасательных служб p_j и критическое значение вероятности отказа ε .

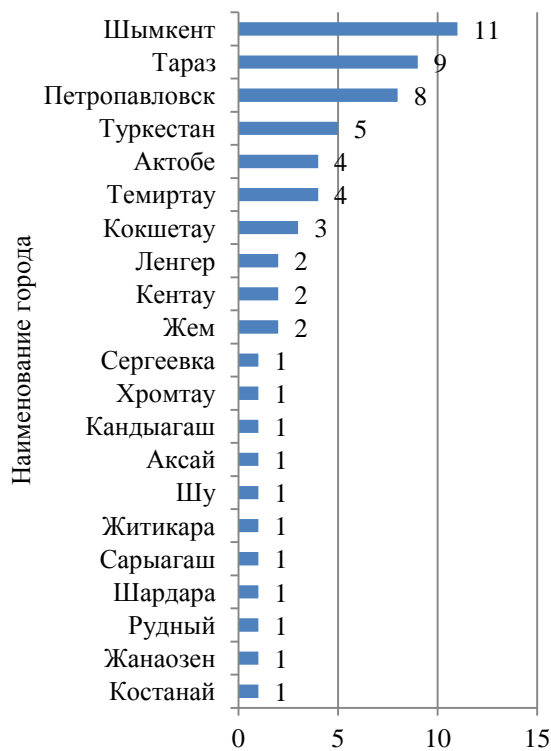
4. Определить необходимое число личного состава $N_{\text{ЛС}}$, из расчета один ПА – 6 человек личного состава, полученные данные умножаются на количество дежурных смен, в нашем случае на 4. По необходимости добавляется спецтехника. Таким же образом определяется численность других основных и специальных ПА, личного состава пожарных депо и пр.

Согласно разработанному алгоритму, произведен расчет необходимого числа пожарно-спасательных служб и числа личного состава и ПА для 85 городов Республики Казахстан. Установлено, что в 24 городах требуется строительство дополнительно 61 пожарного депо (рисунок 13), приобретение 61 ПА (рисунок 14).



Необходимое количество пожарных депо

Рисунок 13 – Дополнительно необходимое количество пожарных частей



Необходимое количество пожарных автомобилей

Рисунок 14 – Дополнительно необходимое количество пожарных автомобилей

Для эффективного функционирования пожарно-спасательных подразделений необходимо увеличить штат личного состава противопожарной службы Республики Казахстан на 8051 человек.

Проведен расчет необходимого числа пожарно-спасательных подразделений с учетом средней скорости следования, среднего времени следования к месту вызова за 3 и 7 минут (таблица 7). Установлено, что при среднем времени следования к месту вызова 3 мин (требования «Технического регламента») потребуется строительство большого количества пожарных депо, что экономически нецелесообразно.

Таблица 7 – Необходимое количество пожарных депо с учетом среднего времени следования

Застроенная площадь города S , км ²	5	10	15	20	35	40	50	70	90	100	150	200	300	400	500	600	700
Средняя скорость движения v , км/ч	30	30	30	30	30	30	30	30	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Значения для среднего времени следования $\tau = 7$ мин																	
Число пож. депо	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	8	11	16	22	25	32	38
Площадь обслуживания одного пож. депо S , км ²	5	10	15	20	17	20	17	17	18	17	19	18	19	18	20	19	18
Радиус обслуживания одного пож. депо R , км	1,4	1,9	2,4	2,8	2,6	2,8	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,6	2,7	2,6	2,8	2,7	2,6
Значения для среднего времени следования $\tau = 3$ мин																	
Число пож. депо	1	3	5	7	12	14	17	24	30	34	51	68	102	136	170	205	239
Площадь обслуживания одного пож. депо S , км ²	5	3,3	3	2,8	2,9	2,8	2,9	2,9	3	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Радиус обслуживания одного пож. депо R , км	1,4	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таким, образом, наиболее рациональное значение среднего времени следования к месту вызова в городах должно составлять 7 мин.

Таблица 8 – Нормативы положенности основной и специальной пожарной техники

Численность населения, тыс. чел.	АЦ, АН (боевой расчет)	Резерв АЦ, АН	АЛ, КП	АГДЗС	АСА	АСО
менее 10	2	1	1*	-	1	-
от 10-20	3	1	1*	-	1	-
от 20-50	3-5	2	1*	-	1	-
от 50-100	5-7	2-3	2	1	1	-
от 100-250	6-14	3-7	10	1	1	-
от 250-500	14-34	7-15	13	2	2	1
от 500 до 1000	35-45	15-20	14	4	4	2
Астана	48	24	20	5	5	3
Алматы	42	22	17	5	5	3

* При наличии зданий высотой 4 этажа и более.

Компьютерное моделирование времени следования к месту вызова противопожарных подразделений в соответствии с распределением Эрланга при $r = 3$, $\tau_{cp} = 7$ мин показало, что в 56,6 % выездов ППС будут укладываться до 7 мин, в 30,6 % – от 7 до 10 мин, в 12,8 % – более 10 мин (рисунки 15 и 16).

Распределения Эрланга для заданных параметров:

$r = 3$ Среднее (мин) $\tau = 7.0$ Интервал (мин) $\Delta = 1$ $\sigma = 3.50$ $T_{max} = 23$

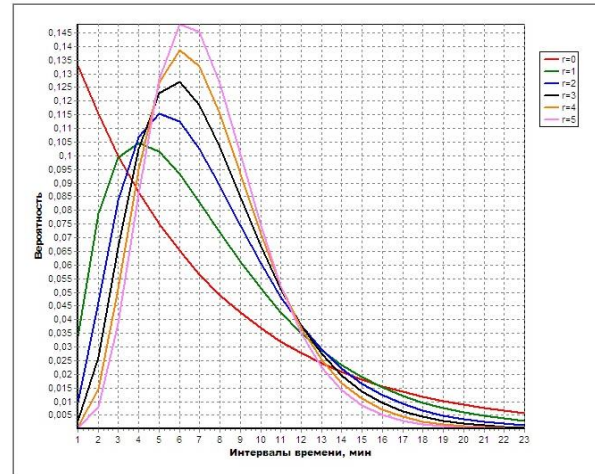
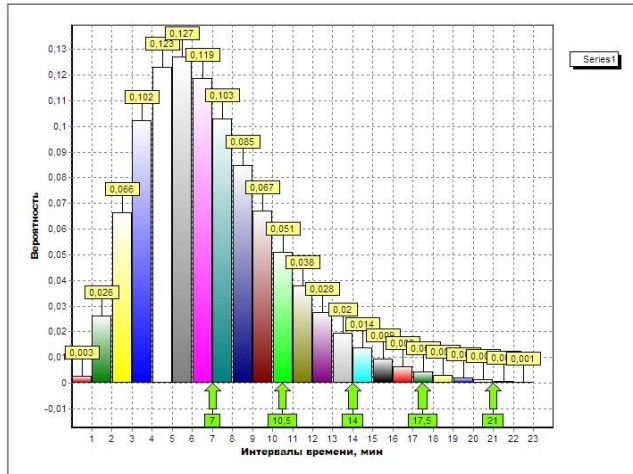


Рисунок 15 – Распределение времени прибытия в городах Республики Казахстан при $\tau_{cp} = 7$ мин и $r = 3$

Рисунок 16 – Семейство распределений Эрланга для времени прибытия в городах Республики Казахстан при $\tau_{cp} = 7$ мин и r от 0 до n

Таким образом, при среднем времени следования $\tau_{cp} = 7$ мин противопожарные подразделения в 87,2 % выездов будут укладываться в 10 мин.

На основании проведенного математического моделирования по использованию основной и специальной техники определено необходимое их количество для противопожарных подразделений с учетом численности населения (таблица 8). На основании результатов исследования и проведенного моделирования разработаны научно-обоснованные нормативно-правовые основы проектирования пожарно-спасательных служб городов Республики Казахстан при средней скорости следования к месту вызова 7 мин (таблица 9).

Таблица 9 – Количество пожарно-спасательных подразделений

Площадь города S , км ²	20	35	40	50	70	90	100	150	200	300	400	500	600	700
Сред. скорость движения v , км/ч	30	30	30	30	30	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Число пож. депо	1	2	2	3	4	5	6	8	11	16	22	25	32	38
Площадь обслуживания пож. депо S , км ²	20	17	20	17	17	18	17	19	18	19	18	20	19	18
Радиус обслуживания пож. депо R , км	2,8	2,6	2,8	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,6	2,7	2,6	2,8	2,7	2,6

В приложении приведены подробные расчеты сил и средств пожарно-спасательных служб для каждого из 85 городов Республики Казахстан и акты внедрения диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных исследований получены следующие научные и практические результаты:

1. Проведен анализ нормативно-правовой базы организационной системы обеспечения пожарной безопасности Республики Казахстан характеризующий обоснование необходимого числа пожарных депо и пожарно-спасательной техники показал, что в настоящее время отсутствуют научно-обоснованные нормативно-правовые акты по определению необходимого числа пожарно-спасательных подразделений; существующие нормативно-правовые акты заимствованы в зарубежных странах, не подходят для обеспечения пожарной безопасности городов и противоречат друг другу.

2. Разработанная индексная модель оценки комплексного показателя пожарной опасности, которая позволила установить объективный уровень пожарной опасности городов Республики Казахстан. Оценка пожарной опасности городов с применением индексной модели позволит вырабатывать соответствующие научно-обоснованные решения по управлению пожарными рисками городов Республики Казахстан.

3. Проведено детальное математико-статистическое моделирование потоков вызовов, временных характеристик процесса функционирования городских пожарно-спасательных служб (время следования и обслуживания, скорость следования). В результате проведенного математико-статистического моделирования установлено, что потоки вызовов описываются законом распределения Пуассона, примерно в 96 % времени исследуемые подразделения находятся в ситуации, в которой все оперативные отделения на основных пожарных автомобилях свободны от обслуживания вызовов.

4. Разработан алгоритм определения сил и средств гарнизона пожарно-спасательной службы города. Алгоритм позволил определить необходимое число пожарно-спасательных подразделений, пожарной техники и личного состава города с учетом рационального среднего времени следования пожарно-спасательных служб к месту вызова 7 мин. Установлено, что в 24 городах Республики Казахстан требуется дополнительное строительство 61 пожарного депо на общую сумму 9,9 млрд. рублей.

5. Разработаны научно-обоснованные нормативно-правовые основы по определению необходимого числа пожарно-спасательных служб, которые позволят устранить существующие противоречия в нормативно-правовых актах проектирования гарнизонов пожарно-спасательных служб городов Республики Казахстан.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК:

1. **Кусаинов, А.Б.** Анализ обстановки с пожарами в городах Республики Казахстан [Текст] / А.Б. Кусаинов // Пожары и чрезвычайные ситуаций: предотвращение и ликвидация. – 2016. – № 2. – С. 54–57.

2. **Кусаинов, А.Б.** Пожарная обстановка в намеченных для проведения международной выставки «ЭКСПО-2017» городах Казахстана [Электронный ресурс] / А.Б. Кусаинов // Технологии техносферной безопасности. 2016. – № 3 (67). – Режим доступа <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-3/06-03-16.ttb.pdf> (дата обращения 05.02.2017).

3. **Кусаинов, А.Б.** Алгоритм оргпроектирования гарнизона противопожарной службы города [Текст] / А.Б. Кусаинов // Пожаровзрывобезопасность – 2018. – Т. 27. – № 11. – С. 23–29. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.23-29.

4. **Кусаинов, А.Б.** Оценка комплексного показателя пожарной опасности городов Республики Казахстан [Текст] / А.Б. Кусаинов // Пожары и чрезвычайные ситуаций: предотвращение и ликвидация. – 2016. – № 4. – С. 80–82.

Остальные публикации по теме диссертационной работы:

5. **Брушлинский, Н.Н.** Анализ обстановки с пожарами в городах Республики Казахстан [Текст] / Н.Н. Брушлинский, К.Ж. Раимбеков, А.Б. Кусаинов // Чрезвычайные ситуации и безопасная жизнь – 2015 : сб. международной научно-практической конференции посвященной 10-летию Министерства по чрезвычайным ситуациям Азербайджанской Республики. – Баку: Академия МЧС Азербайджана, 2015. – С. 99–103.

6. **Кусаинов, А.Б.** Обеспечение безопасности города Алматы при проведении всемирной зимней универсиады [Текст] / А.Б. Кусаинов // Проблемы техносферной безопасности – 2016 : сб. материалов V международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 211–216.

7. **Кусаинов, А.Б.** Пожары в городах Республики Казахстан [Текст] / А.Б. Кусаинов // Проблемы и перспективы обеспечения гражданской защиты – 2016: сб. материалов международной научно-практической конференции. – Харьков: Национальный университет гражданской защиты Украины, 2016. – С. 37.

8. **Кусаинов, А.Б.** Оценка комплексного показателя пожарной опасности в городах [Текст] / А.Б. Кусаинов // Системы безопасности – 2016 : материалы XXV Международной научно-технической конференции. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 157–160.

9. **Кусаинов, А.Б.** Комплексный показатель пожарной опасности городов [Текст] / А.Б. Кусаинов // Вестник Кокшетауского технического 2017. – № 1 (25). – С. 19–28.

10. **Кусаинов, А.Б.** Обоснование необходимости внесения изменений и дополнений в некоторые нормативные правовые акты в области проектирования объектов органов противопожарной службы // Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности [Текст]: материалы Дней науки с международным участием, посвященных Году гражданской обороны. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2018. Ч. 1. – С. 85–89.

11. **Кусаинов, А.Б.** Индекс потенциала противодействия пожарам в городах Республики Казахстан [Текст] / А.Б. Кусаинов // Системы обеспечения техносферной безопасности – 2018: материалы V Всероссийской конференции и школы для молодых ученых (с международным участием). – Таганрог: ЮФУ, 2018. – С. 291–293

12. **Кусаинов, А.Б.** Алгоритм определения необходимого числа противопожарных подразделений города [Текст] / А.Б. Кусаинов // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций – 2018 : сб. ст. по материалам VI Всерос. науч.- практ. конф. с междунар. уч. – Воронеж: Воронежский институт – филиал ФГБОУ ВО Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, 2018. – С. 377–380.

13. **Кусаинов, А.Б.** Нормативное определение необходимого числа противопожарных подразделений [Текст] / А.Б. Кусаинов // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций - 2019: сб. ст. по материалам X Международной науч.- практ. конф. с междунар. уч. – Кокшетау: Кокшетауский технический институт КЧС МВД РК, 2019. – С. 49–53