

Обзор подходов, методов и алгоритмов обоснования управленческих решений по снижению времени прибытия подразделений пожарной охраны к месту вызова

Олег Сергеевич Малютин¹✉, Ренат Шамильевич Хабибулин²

¹ Сибирская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Железнодорожск, Россия

² Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Наилучшим образом подобранные параметры количества, размещения и технической оснащенности подразделений экстренных служб позволяют снизить ущерб от пожаров. Для оценки направлений совершенствования такой деятельности предлагается обобщить и проанализировать накопленный в России опыт.

Цели и задачи. Целью работы является получение углубленного представления об актуальных отечественных подходах, методах и алгоритмах обоснования управленческих решений по снижению времени прибытия подразделений пожарной охраны к месту вызова. В соответствии с целью поставлены задачи:

- 1) выявление научных школ, занимающихся вопросами проектирования гарнизонов пожарной охраны;
- 2) определение основных методов решения задач проектирования гарнизонов пожарной охраны;
- 3) формулирование перспективных направлений совершенствования задач проектирования гарнизонов пожарной охраны.

Материалы и методы. В исследовании использованы методы литературного обзора: деконструкция литературных источников, анализ с использованием логических заключений на основе анализа графовой модели данных рассмотренных публикаций. Основным источником информации является научная электронная библиотека Elibrary.ru.

Результаты и обсуждение. Ключевая роль в развитии идей организационного проектирования экстренных служб в России принадлежит АГПС МЧС России и ВНИИПО МЧС России. Наиболее развитыми и применяемыми методами решения задач проектирования экстренных служб являются методы имитационного моделирования с использованием компьютерных технологий и методы математического моделирования. Не рассматриваются или редко упоминаются такие методы, как анализ больших данных, машинное обучение, открытые геопространственные данные, современные языки и технологии программирования.

Выводы. К числу перспективных направлений совершенствования задач организационного проектирования экстренных служб относятся современные методы аналитики больших данных, пространственного анализа, инструментов ГИС, продвинутые алгоритмы теории графов и методы машинного обучения.

Ключевые слова: размещение пожарных подразделений; скорость следования; гарнизон; экстренные службы; моделирование; оптимизация; статистика

Для цитирования: Малютин О.С., Хабибулин Р.Ш. Обзор подходов, методов и алгоритмов обоснования управленческих решений по снижению времени прибытия подразделений пожарной охраны к месту вызова // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2023. Т. 32. № 5. С. 60–77. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.05.60-77

✉ Малютин Олег Сергеевич, e-mail: malyutin@sibpsa.ru

Approaches, methods and algorithms for substantiating management decisions to reduce the fire units arrival time

Oleg S. Malyutin¹✉, Renat Sh. Khabibulin²

¹ Siberian Fire and Rescue Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Zheleznogorsk, Russian Federation

² The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The best selected parameters of the quantity, location and technical equipment of emergency services allow to reduce the damage from fires. To assess the directions of improvement of such activity, it is proposed to generalize and analyze Russian experience.

Goals and objectives. The purpose of this work is to obtain a deeper understanding about current Russian approaches, methods and algorithms on the basis of which management decisions can be made to reduce the time of arrival of fire brigades to the place of an emergency call. In accordance with the aims, the tasks are set:

- 1) identification of scientific schools dealing with the design of fire protection garrisons;
- 2) determination of the main methods of solving the problems of designing fire protection garrisons;
- 3) formulation of perspective directions for improving fire protection garrisons design.

Materials and methods. The research used methods of literary review: deconstruction of literature sources, analysis using logical conclusions on the basis of graph model data of the reviewed publications. The main source of information is the scientific electronic library Elibrary.ru.

Results and discussion. The key role in the development of the ideas of organizational design of emergency services in Russia belongs to the Academy of State Fire Service of the Ministry of Russian Federation and VNIIPPO EMERCOM of Russia. The most developed and applied methods of solving problems of emergency services design are methods of simulation modelling with the use of computer technologies and methods of mathematical modelling. Such methods as big data analysis, machine learning, open geospatial data, modern programming languages and technologies are not considered or rarely mentioned.

Conclusions. Promising directions for improving the tasks of organizational design of emergency services include modern methods of big data analytics, spatial analysis, tools of Geospatial Information Systems, advanced graph theory algorithms and machine learning methods.

Keywords: location of fire stations; response speed; garrison; emergency services; modelling; optimization; statistic

For citation: Malyutin O.S., Khabibulin R.Sh. Approaches, methods and algorithms for substantiating management decisions to reduce the fire units arrival time. *Pozharovzryvobezopasnost'/Fire and Explosion Safety*. 2023; 32(5):60-77. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.05.60-77 (rus).

✉ Oleg Sergeevich Malyutin, e-mail: malyutin@sibpsa.ru

Введение

Одним из ключевых показателей, рассматриваемых при оценке качества защиты населенных пунктов от пожаров, является время прибытия первого пожарного подразделения к месту вызова. Согласно статистике, большая часть людей, пострадавших при пожарах, погибает до времени прибытия пожарных подразделений, равного 10 мин [1, табл. 51]. В Федеральном законе № 123-ФЗ¹ установлено, что время прибытия первого пожарного подразделения должно составлять не менее 10 мин в пределах городских населенных пунктов и 20 мин — сельских.

Расчетные методы определения оптимального размещения вновь создаваемых пожарных подразделений в Российской Федерации с учетом названных требований оформлены в виде свода правил СП 11.13130.2009² и ряда методических рекомендаций^{3, 4, 5}. Последние

на сегодняшний день отменены, однако изложенные в них методики по-прежнему представляют научный интерес. В 2021 г. был издан приказ МЧС России от 15 октября 2021 г. № 700⁶, определяющий подход к расчету численности и технической оснащенности подразделений пожарной охраны.

В России тема определения оптимального размещения новых пожарных подразделений наиболее глубокую проработку получила в работах научных коллективов Академии ГПС МЧС России [2, 3] и ВНИИПО МЧС России [4–7]. Результатами работы этих коллективов стали программные решения КИС КОСМАС [2, 3] и АСОП-ПО [8], предназначенные для проектирования гарнизонов пожарной охраны и экстренных служб крупных населенных пунктов. Данные программные решения располагают обширным функционалом, позволяющим в том числе определять оптимальные места размещения пожарных подразделений.

Объем вышедших в последние годы публикаций, посвященных разработке и практическому применению методов расчетного обоснования мест размещения и ресурсной оснащенности пожарных подразделений, существенен.

Изучение литературных источников показало наличие значительного количества публикаций как в России, так и за рубежом. Качественно осветить все эти публикации в рамках одной публикации едва ли представляется возможным. В связи с чем данная работа посвящена обзору только отечественных работ, касающихся проблематики проектирова-

¹ Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ.

² СП 11.13130.2009. «Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения».

³ Методические рекомендации по определению мест размещения подразделений пожарной охраны в населенных пунктах в целях доведения времени прибытия первого подразделения пожарной охраны до нормативных значений // Утверждены Главным Государственным инспектором Российской Федерации по пожарному надзору 30.12.2009 № 2-4-60-14-18. 28 с.

⁴ Методические рекомендации по оценке ресурсной потребности пожарно-спасательных подразделений моногородов Российской Федерации с учетом их социально-экономического положения. М. : ВНИИПО, 2015. 20 с.

⁵ Методические рекомендации по формированию ресурсов пожарной охраны в сельских поселениях Российской Федерации в зависимости от величины рисков пожарной опасности : методические рекомендации. М. : ВНИИПО, 2019. 18 с.

⁶ Приказ МЧС России от 15 октября 2021 г. № 700 «Об утверждении методик расчета численности и технической оснащенности подразделений пожарной охраны».

ния гарнизонов пожарной охраны, опубликованных за последние 10 лет, т.е. за период с 2013 по 2022 г.

Цель исследования — получение углубленного представления об актуальных отечественных подходах, методах и алгоритмах обоснования управленческих решений по снижению времени прибытия подразделений пожарной охраны к месту вызова.

Исходя из цели задачами исследования были определены:

- 1) выявление научных школ, занимающихся вопросами проектирования гарнизонов пожарной охраны и тенденций их развития;
- 2) определение основных методов решения задач определения оптимальных мест размещения и технической оснащенности пожарных подразделений;
- 3) формулирование перспективных направлений решения задач проектирования гарнизонов пожарной охраны.

Материалы и методы

В основу методики проведения исследования положен метод литературного обзора. Основным источником информации об опубликованных работах является научная электронная библиотека Elibrary.ru.

Полученные из Elibrary.ru источники в диапазоне дат 2013–2022 гг. были подвергнуты деконструкции с целью выявить следующие качественные характеристики публикаций:

- направленность работы;
- методы, использованные в исследовании;
- область применения результатов исследования.

Под *направленностью работ* в рамках исследования были установлены следующие категории, характеризующие цель рассматриваемых работ:

1. Постановка задачи.
2. Анализ исходных данных.
3. Разработка прикладных инструментов.
4. Применение для решения реальных задач.
5. Обзор публикаций и работ.
6. Распространение знаний и опыта.

Поскольку спектр научных методов, использованных в рассматриваемых работах, чрезвычайно обширен, для выявления закономерностей их применения была введена укрупненная классификация *использованных методов*, основанная на их общности, природе возникновения и частоте применения:

1. Имитационное моделирование.
2. Математическое моделирование (детерминированный подход).
3. Статистический анализ.
4. Анализ нормативных актов.
5. Прочие методы (методы, применение которых встречается реже 3 раз в разных работах).

Также в качестве *областей применения* результатов исследований были выбраны виды экстренных служб:

- 1) пожарные подразделения;
- 2) аварийно-спасательные формирования;
- 3) прочие подразделения и формирования.

Первый вид касается подразделений, для которых основной задачей является борьба с пожарами. Ко второму виду относятся формирования, выполняющие в первую очередь спасательные задачи, в том числе пожарно-спасательные подразделения, рассматриваемые в контексте выполнения ими первоочередных аварийно-спасательных работ за пределами основных задач пожарной охраны. Все прочие виды экстренных служб были отнесены к третьему виду, например добровольные пожарные формирования.

Полученные результаты деконструкции были дескриптивно сформированы в виде сетевой модели данных и далее подвергнуты анализу с использованием аксиоматического метода и логических заключений на основе анализа структуры полученного графа.

Деконструкция публикаций

База научной методологии расчета оптимальных пространственных параметров пожарных подразделений была заложена в работах Н.Н. Брушлинского, С.В. Соколова, в конце XX и начале XXI в. Она основывается на методах математического и имитационного моделирования, теории вероятности и системного анализа [2, 3]. Параллельно схожая задача решалась специалистами из ВНИИ ПО МЧС России А.В. Матюшиным, А.А. Порошиным и др. В 2005 г. выходят две схожих статьи, посвященные опыту нормирования ресурсов оперативных подразделений пожарной охраны и мест их дислокации в населенных пунктах — в России [9] и за рубежом [10].

Дальнейшие публикации будут рассмотрены в хронологическом порядке.

В статье [11] перечисляются основные недостатки, существовавшие на момент написания (2005 г.), методов расчетного обоснования мест размещения пожарных подразделений. Предлагается методология расчета количества пожарных подразделений, основанная на методах математического моделирования с учетом достижения одной из трех задач:

1. Площадь пожара на момент прибытия не превышает площади, которую можно потушить силами одного караула.
2. От момента возникновения пожара до момента его ликвидации не должен наступить предел огнестойкости несущих и ограждающих строительных конструкций в помещении с очагом пожара.

3. За время от момента возникновения пожара и до момента его ликвидации опасные факторы пожара не должны достигнуть критических для жизни людей значений.

В работе отмечено, что введение в модель «возмущающих факторов», таких как некомплект личного состава, его плохая подготовка, отказ техники и т.д. могут помочь обосновать количество резервов сил и средств.

Статья [12] рассматривает решение задачи определения максимально допустимого расстояния от объекта пожара до места расположения пожарной части в рамках стохастического моделирования. Исходные параметры модели рассматривались как случайные величины.

В работе [13] показан способ оценки возможностей гарнизона противопожарной службы по обеспечению необходимого количества сил и средств в случае возникновения пожара на объекте с использованием КИС КОСМАС при проведении экспертизы объекта. Работа представляет интерес как практический пример использования методов имитационного моделирования применительно к решению задачи проведения экспертизы проекта здания.

В статье [14] анализируется проблема обоснования численности личного состава противопожарной службы и предлагаются конкретные пути и методы ее решения. Работа содержит краткую справку по истории вопроса, описание научной методологии его решения, сведения о численности противопожарных служб в некоторых странах мира по состоянию на начало XXI в., конкретный пример обоснования численности противопожарной службы (далее — ППС) для города и оценку требуемой численности личного состава ППС России, основанную на методах математического моделирования. Авторы выступают с критикой существующего «волевого» метода определения количества пожарных подразделений и численности личного состава. В качестве альтернативы предлагаются методы математического моделирования, позволяющие учитывать при расчетах реальные особенности отдельных территорий.

В статье [15] на основе статистических данных о пожарах рассматриваются вопросы нормирования времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара. Работа содержит анализ распределения жертв пожаров по основным причинам их гибели, статистические сведения о количестве погибших в различных странах мира, а также сведения о распределении количества пожаров по их последствиям в зависимости от времени прибытия первого подразделения за период 2006–2010 гг. Делается вывод о чрезмерных финансовых затратах, возникающих в результате принятия организационных решений по снижению времени прибытия

первого пожарного подразделения на одну минуту. В заключение авторы выступают с предложениями по совершенствованию нормирования времени прибытия первого пожарного подразделения. Например, предложено определить, что лишь 90 % всех выездов в городской местности должно укладываться во время 10 мин, при этом площадь обслуживания одним депо должна составлять 12–15 км².

В статьях [6, 16] представлены результаты разработки системы проектирования деятельности и ресурсной оснащенности оперативных подразделений пожарной охраны населенных пунктов (АСОП-ПО), проводившейся во ВНИИПО МЧС России во второй половине 2000-х гг., и в основу которых положены в том числе результаты, изложенные в [11, 12]. Содержатся основные сведения о ГИС и их применении в решении вопросов организационного проектирования гарнизонов пожарной охраны. Даны общие сведения об АСОП ПО и приводятся примеры ее использования. Согласно информации, приведенной в материале, платформой для разработки являлось программное обеспечение ESRI ArcGIS. Данный материал является одной из основных публикаций, освещающих разработку АСОП ПО.

В работе [17] описывается решение научно-технической проблемы обоснования и проектирования подсистемы инфраструктуры современных городов — комплекса экстренных и аварийно-спасательных служб. Работа обозначает актуальность проблемы, содержит описание основных этапов ее решения, аналитические модели процесса функционирования экстренных аварийно-спасательных служб (далее — ЭАСС) и сведения о способах их имитационного моделирования, общее описание КИС КОСМАС и ИС СТРЕС и основных принципов их работы. Статья является одним из наиболее полных описаний принципов работы КИС КОСМАС, опубликованных в научных изданиях. Здесь упоминается о функционале КИС КОСМАС, позволяющем решать оптимизационные задачи по определению мест дислокации пожарных подразделений, больниц и т.д., распределению техники по пунктам дислокации.

В публикации [18] рассмотрены вопросы моделирования временных характеристик оперативной деятельности противопожарной службы с помощью распределения Эрланга. Показано, что все временные характеристики являются случайными непрерывными величинами, поэтому изучать их нужно вероятностно-статистическими методами. Выполнен статистический анализ показателей времени прибытия первого пожарного подразделения и времени локализации пожаров в Москве. Проанализированы нормативы по времени прибытия пожарных подразделений, изложенные в Федеральном законе¹. Приведены некоторые статистические сведения о параметрах

рах реагирования пожарных подразделений в России на 2012 г. Проведено их математическое моделирование с использованием распределения Эрланга. В заключении авторами озвучивается критика определенных в ФЗ-123¹ нормативов прибытия первого пожарного подразделения, аналогичная [15], и предложена своя формулировка нормативов времени прибытия пожарных подразделений к месту вызова для городов и сельской местности.

В докладе [19] сообщаются основные сведения о результатах работы по определению на научной основе требуемой численности ППС для защиты территории России от пожаров. Приведена постановка задачи и подходы к ее решению. В заключении сделаны выводы, что для защиты Российской Федерации от пожаров требуется 240–150 тыс. человек ППС и 670–700 тыс. добровольных пожарных.

В статье [20] описана математическая модель определения необходимого числа оперативных подразделений пожарной охраны для защиты населенных пунктов от пожаров. Представлены научно-методический подход к обоснованию необходимого числа пожарных подразделений населенных пунктов, учитывающий достижение 3 целей прибытия, и результаты разработки автоматизированной геоинформационной АСОП-ПО, предложенные в [18]. Описаны ее структура и функциональные возможности.

В обзорной статье [21] описана история разработки КИС КОСМАС и приведены основные причины появления компьютерных имитационных систем. Работа содержит историю создания имитационной системы КОСМАС, ее общее описание, возможности и пути адаптации для конкретных задач. Приводится опыт применения системы за 25 лет ее развития и использования. В заключении делается вывод о том, что «будущее за имитационными системами», в том числе за системой КОСМАС. Указывается, что для адаптации системы под районы выезда требуется от 6 до 7 месяцев работы.

В статье [22] представлены результаты многолетнего исследования по обоснованию и проектированию подсистемы экстренных и аварийно-спасательных служб по состоянию на 2016 г. Подчеркивается важность проблемы оргпроектирования экстренных аварийных служб города. Авторами сформулированы основные принципы и этапы ее решения, а также недостатки математического моделирования и необходимость применения имитационного моделирования для более глубокого исследования особенностей оргпроектирования экстренных аварийно-спасательных служб (далее — ЭАСС). В качестве примера использования данного подхода приводится КИС КОСМАС и ИС СТРАС.

Авторами в работах [23, 24] представлены результаты исследования по определению характера движе-

ния пожарных автомобилей в транспортном потоке. В работах обозначена проблема оценки скорости движения пожарных автомобилей с учетом загруженности дорог и предложено ее решение на основе анализа записей характера GPS-трекеров, установленных на пожарных автомобилях. Отмечено увеличение скорости следования в зависимости от расстояния от пожарного депо до места вызова. Проведен сравнительный анализ скоростей следования для пожарных автомобилей различного типа, а также для любого времени суток и дней недели. В результате проведенного исследования были получены коэффициенты влияния различных факторов на скорость движения пожарных автомобилей к месту вызова, которые могут быть использованы при имитационном моделировании процесса реагирования на пожары.

В работах [25, 26], развивающих тему определения численности подразделений добровольной пожарной охраны, рассмотрено применение методов имитационного моделирования для оценки параметров оперативного реагирования добровольных пожарных команд. Особый интерес в публикациях представляет модель, учитывающая квалификации членов ДПО при проведении имитационных экспериментов. Описываемые результаты предлагается использовать при оценке времени прибытия личного состава ДПК к месту вызова и его распределения по территории населенного пункта в разные времена года, дни недели и время суток.

Статья [27] посвящена адаптации КИС КОСМАС к особенностям применения пожарных подразделений в Республике Вьетнам. Приводятся основные сведения о характере реагирования пожарных подразделений в Республике Вьетнам, описывается процесс адаптации КИС КОСМАС, приводятся сведения о проверке полученной модели на адекватность. В заключении предлагается использовать полученную модель и результаты имитационного моделирования для проведения дальнейших расчетов по определению требуемого количества и размещения пожарных депо во Вьетнаме.

В статье [28] на основе статистических данных по реагированию на пожары в Российской Федерации за 2007–2015 гг. демонстрируются основные тенденции изменения характера возникновения пожаров и реагирования на них подразделений пожарной охраны. Работа содержит краткий обзор обстановки с пожарами в Российской Федерации по состоянию на 2015 г., сведения об особенностях учета пожаров в СССР, США и современной России, а также анализ статистических показателей ущерба от одного пожара и наблюдения, связанные с динамикой изменения показателей среднего времени прибытия и тушения пожаров.

В работе [29] приводятся результаты анализа статистики времени прибытия пожарных подразделений в Санкт-Петербурге за период с 2006 по 2015 г. с использованием КИС КОСМАС. Представлены статистические сведения о времени прибытия, отмечено несоответствие распределений количества выездов по времени прибытия значениям, полученным с использованием распределения Эрланга пятого порядка, также отмечена тенденция увеличения скорости следования пожарных подразделений к месту вызова за период с 2006 по 2015 гг. Для оценки соответствия реальности представленных сведений проведено математическое и имитационное моделирование реальных показателей прибытия. С использованием КИС КОСМАС проведен анализ территориального распределения времени прибытия подразделений к местам вызова. В заключении авторами делается вывод, что «в современных условиях средняя скорость движения пожарных подразделений к местам вызовов в городе составляет 21–22 км/ч, при такой скорости среднее время прибытия первых пожарных подразделений к местам вызовов будет находиться в интервале 9,0–9,5 мин, при этом доля случаев с временем прибытия более 10 мин будет составлять 28–35 %» [29].

Авторы [30], располагая необходимым статистическим материалом, разделили проведение исследования на несколько этапов:

- анализ абсолютных значений параметров городов и их противопожарных служб (далее — ППС);
- исследование относительных характеристик этих параметров, вытекающих из предыдущего анализа;
- сравнительный анализ некоторых параметров организации ППС в городах при использовании расчетных методов. В заключении авторами делается вывод о наличии закономерностей организации противопожарных служб в разных странах и городах.

В публикации [31] рассмотрены вопросы разработки методов определения скорости следования дежурного караула пожарной охраны по дорогам населенного пункта на место пожара на примере города Ханой (Республика Вьетнам). В основу положен научно-методический подход к обоснованию числа пожарных подразделений, основанный на расчете максимально допустимого расстояния между защищаемым объектом и пожарным депо, исходя из различных целей выезда дежурного караула. Материал содержит описание методики расчета основных статистических показателей скоростей следования пожарных подразделений и сами эти исходные значения. В заключении авторы делают вывод, что с учетом неблагоприятных факторов (погодные усло-

вия, дорожный трафик и т.д.) скорость следования пожарных автомобилей в городе Ханой составляет 23 км/ч.

В статье [32] рассмотрены вопросы применения методологии обоснования необходимого числа оперативных подразделений пожарной охраны и мест их дислокации в населенных пунктах для анализа оперативно-тактических возможностей гарнизона пожарной охраны г. Ханой. Проведены расчеты и построены графики зависимости для оценки влияния оперативно-тактических параметров подразделений пожарной охраны на их необходимое число в населенном пункте. По результатам анализа сформулированы выводы о возможности достижения гарнизоном пожарной охраны тех или иных целей выезда подразделений пожарной охраны на пожар.

В докладе [33] затрагиваются вопросы определения требуемой численности основных пожарных автомобилей и личного состава. Рассмотрены статистические сведения о реагировании пожарных подразделений на пожары в Московской области. На основе математического моделирования характера реагирования пожарных подразделений предложена математическая модель обоснования ресурсной потребности пожарных подразделений.

В статье [34] приводится краткий анализ сложившихся к моменту публикации подходов к определению ресурсной потребности пожарной охраны поселений и городских округов. На основе анализа предложен порядок расчета численности и технической оснащенности пожарно-спасательных подразделений МЧС России.

В публикации [35] описываются основные подходы, использованные при разработке методических рекомендаций по формированию ресурсов пожарной охраны в сельских поселениях Российской Федерации в зависимости от величины рисков пожарной опасности⁵. Описаны основные статистические данные по тушению пожаров в сельских поселениях РФ в 2016, 2017 гг., проводится их факторный анализ, предложена классификация населенных пунктов для оценки ресурсов пожарной охраны в зависимости от численности населения.

Особый интерес представляет публикация [36], посвященная рассмотрению подходов к нормированию количества пожарных автомобилей, требуемых для защиты населенного пункта. В качестве классификационного подхода предлагается разделение общего массива методов на «жесткие» и «гибкие» подходы к нормированию. В первом случае количество пожарных депо и их оснащенность определяются на основе фиксированных норм, во втором — на основе проведенных расчетов. Перечисляются сильные и слабые стороны каждого из подходов. В заключении делается вывод, что «при разработке

нормативных документов в этой области следует ориентироваться в первую очередь на величины пожарных рисков, степень пожарной опасности объектов защиты на территории обслуживания пожарного депо, кроме того, необходимо учитывать перспективные документы развития территорий на основе региональных целевых программ» [36].

В статье [37] рассматривается модель определения мест размещения специализированных пожарно-спасательных частей (далее — СПСЧ). СПСЧ принимают участие не только в тушении обычных техногенных пожаров, но и в ликвидации последствий широкого спектра ЧС: взрывы, аварии, природные пожары, наводнения, землетрясения и т.д. В связи с этим размещение СПСЧ имеет ряд особенностей, требующих специфического подхода к решению задачи размещения, основанного на учете рисков возможных ЧС на территории субъектов РФ. В приведенном в статье примере расчета используются декартовы координаты. Однако сам подход в целом может быть использован и для расчета с использованием графа дорожной сети, с соответствующими изменениями в методе расчета.

В докладе [38] поднимается проблема отсутствия прямых норм и соответствующих схем расчета по определению мест размещения подразделений пожарной охраны для зданий классов функциональной пожарной опасности Ф1.1, Ф1.2, Ф4.1, Ф4.2. Для ее решения предлагается подход, описанный в СП 11.13130.2009². Приведен пример расчета для объектов, расположенных на территории г. Балашиха. Более подробно вопросы определения оптимальных мест дислокации пожарных подразделений для защиты таких объектов описаны в [39]. В заключении статьи делается вывод, что «выполнение некоторых целей выезда дежурного караула на пожар для зданий классов функциональной пожарной опасности Ф1.1, Ф1.2, Ф4.1, Ф4.2 проблематично при существующей, исторически сложившейся дислокации действующих подразделений пожарной охраны и предлагается применение организационных и технических мероприятий».

В материале [40] рассмотрены различные нормативные и расчетные подходы к обоснованию мест размещения вновь создаваемых пожарных подразделений. Внимание уделено ФЗ-123¹, СП 11.13130.2009², КИС КОСМАС и Методическим рекомендациям⁷. Проведен сравнительный анализ и перечислены положительные и отрицательные стороны каждого из подходов.

⁷ Методические рекомендации по действиям подразделений федеральной противопожарной службы при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ (направлен указ. МЧС России от 26.05.2010 № 43-2007-18).

В статье [41] на основе анализа особенностей мегаполисов в качестве наилучшего подхода к организационному проектированию гарнизонов пожарной охраны предлагается имитационное моделирование. Используя в качестве источников научные публикации в данной области, авторы предлагают принципы информационной поддержки системного проектирования развития сети пожарных депо на территории мегаполиса, а именно: фактологичность используемых данных, наличие количественных (желательно) и/или качественных оценок основных показателей, интерактивность (или возможность диалога) и законность (используемых данных, оценок, вариантов и т.п.). В заключении предлагается направление дальнейших исследований в виде синтеза системы имитационного моделирования, позволяющей редактировать пространственные данные о размещении пожарных депо, местах возникновения пожаров и оценивать результаты реагирования пожарных подразделений.

В публикациях [42, 43] описывается подход к расчету количества необходимых депо, основной и специализированной техники с использованием методов компьютерного имитационного моделирования с использованием ГИС. Приводятся сведения о параметрах реагирования пожарных подразделений в городе Санкт-Петербурге, на основе методов теории систем массового обслуживания и инструментов сервисов Яндекс.Карты и Яндекс.Навигатор разработана компьютерная имитационная модель, проведены расчеты требуемого количества отделений для защиты Санкт-Петербурга. В качестве опорных рассмотрены 4 основных варианта дорожной сети, размещения и оснащения пожарных депо. Несмотря на то что авторы называют свою систему системой имитационного моделирования, буквальное прочтение материала говорит о том, что речь идет скорее о компьютерной системе математического моделирования, так как в ходе расчетов не производится расчет текущего состояния оперативной обстановки и взаимного влияния параметров реагирования пожарной службы на вызовы. Недостатками реализации можно отметить использование таких данных, как расчет кратчайшего маршрута и времени следования пожарных подразделений с использованием удаленных сервисов, что снижает гибкость решения и делает систему зависимой от внешних источников данных.

В тезисах доклада [44] с целью совершенствования геоинформационных систем диспетчеризации пожарных подразделений за счет обеспечения их устойчивости разработана подобного рода системы с использованием трехступенчатой архитектуры, включающей: публичные картографические интернет-сервисы, специальное программное обеспечение на базе алгоритма Дейкстры и картосхемы, индивидуальной для

каждого подразделения МЧС, на которой нанесены кратчайшие маршруты следования, опасные и нежелательные для использования участки дороги, особенности городской среды (зоны многоэтажной застройки), светофоры.

Статья [45] представляет особый интерес как одна из немногих публикаций, посвященных применению методов машинного обучения в деятельности экстренных служб. В статье рассмотрен алгоритм *ResQ*. Алгоритм проводит анализ поступающих вызовов, анализирует и сравнивает их с информацией из социальных сетей, выявляя пострадавших и сопоставляя их потребности с возможностями спасательных подразделений; на основе полученных данных производит оптимальное распределение сил и средств (СиС) подразделений в динамично меняющейся ситуации, для чего строит кратчайшие пути до пострадавших, рассчитывая количество потерпевших, к которым уже направлена помощь, и ожидающих ее, формирует очереди спасения по приоритетам. Также упоминаются такие методы поиска как «случайное блуждание», «лучший — первый» и «поиск по правилам». В качестве литературных источников авторы используют преимущественно публикации зарубежных авторов.

В статье [46] рассматриваются вопросы, связанные с задачей определения рационального места размещения спасательных воинских формирований. Данная задача родственна задаче определения мест дислокации пожарных подразделений, однако имеет свои особенности, которые и отмечены в данной публикации. Подчеркивается важность учета не только равноудаленности объектов защиты от мест дислокации, но и их значимости с точки зрения рисков возникновения пожаров. Для определения значимости объектов предлагается использование метода экспертных оценок и дается его предварительная формулировка применительно для решаемой задачи. Методами решения частных задач предлагаются метод парных сравнений и метод сравнительных суждений Терстоуна.

В статье [47], являющейся продолжением [48], описывается постановка научной задачи определения рационального варианта дислокации спасательных воинских формирований МЧС России. На основе опыта проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ при ликвидации крупных ЧС делается вывод, что существующие подходы дислокации спасательных формирований имеют недостатки. Описываются отдельные возможные пути сокращения времени прибытия спасательных формирований к месту ЧС. Перечисляются некоторые характеристики потенциально опасных объектов, которые следует учитывать при определении дислокации спасательных подразделений.

К таковым автор относит: количество людей в зоне возможной ЧС, наличие материальных ценностей, наличие и количество пунктов управления, наличие критически важных объектов, площадь территории, которая может быть поражена в результате ЧС, и объем эвакуационных мероприятий, а также характер дорожной сети и уровень развития инфраструктуры. В заключении формулируется научная задача определения мест дислокации с учетом перечисленных факторов.

В материале [48] рассматривается задача определения ресурсной потребности пожарных подразделений в пожарной технике. В качестве метода оценки потребности предложен метод векторного анализа, подразумевающий представление всех параметров реагирования пожарно-спасательных подразделений на конкретный вид действий в виде вектора и последующий его анализ.

В статье [49] предложен подход к определению мест дислокации аварийно-спасательных подразделений МЧС России на основе анализа географических социально-экономических характеристик и особенностей субъектов Федерации. Предложены некоторые подходы к выбору математических моделей определения мест оптимального размещения АСФ.

Публикация [50], посвященная показателям для определения мест дислокации пожарно-спасательных частей. В работе приведен обзор подходов к определению мест дислокации пожарных подразделений в России и за рубежом. Предложены базовые показатели оценки размещения пожарных подразделений, к которым отнесены: радиус обслуживания, время прибытия и скорость движения пожарных автомобилей. В заключении отмечено, что перспективным направлением дальнейших работ представляется изучение опыта США по определению радиуса обслуживания пожарных подразделений в зависимости от плотности застройки и наличия высотных зданий.

Доклад [51] представляет интерес с точки зрения описания углубленного анализа параметров, учитываемых при проведении расчетов, связанных с определением областей нормативного времени прибытия пожарных подразделений и мест их дислокации. В заключении авторами делается вывод о возможности определения оптимальных мест дислокации пожарных подразделений, только совместив различные подходы.

Работа авторов [52] посвящена оценке степени прикрытия г. Воронежа пожарными подразделениями по состоянию на 2013 г. и динамике ее изменения с учетом роста города. Приводится подробный анализ обстановки с пожарами и факторов, оказывающих на них влияние; сравниваются реальные показатели с требованиями федерального законодательства.

В статье [53] описывается процесс разработки информационной системы расчета областей нормативного обслуживания пожарными подразделениями, основанной на Методических рекомендациях³. В материале предлагается подход на основе методов теории графов, реализованный в виде программных инструментов языка программирования С# и визуализации результатов расчетов с использованием современных ГИС-технологий. Полученные результаты были использованы ГУ МЧС России по Красноярскому краю для пересмотра границ районов выезда пожарных подразделений красноярского гарнизона.

В статье [54] обоснована необходимость определения оптимального количества аварийно-спасательных формирований и мест их дислокации на территории Республики Татарстан с учетом источников и факторов опасности, географических и социально-экономических условий зон ответственности. Представлены формулировка общей постановки задачи оптимального размещения аварийно-спасательных формирований и методы ее решения. В основу математического аппарата положена теория графов и ее адаптация для дорожной сети регионов. В качестве инструмента решения поставленной задачи рассматривается метод уступок, методически основанный на материалах статьи [55]. Как достоинство метода отмечен его циклический характер, связанный с тем, что на каждом этапе решается задача оптимизации соответствующих показателей, а также возможность применения различных математических методов оптимизации. Недостатком метода называется связь с субъективным характером определения уступок. Отдельный интерес в данной публикации представляет использование принципа Парето-оптимальности для определения требуемого количества аварийно-спасательных формирований.

В докладе [56] приводятся результаты исследования влияния географических и социально-экономических факторов субъекта РФ (на примере Республики Татарстан) на характер реагирования аварийно-спасательных формирований (АСФ) на ЧС. На основе исследования, проведенного с использованием методов математического моделирования, показано, что при определении оптимальных мест размещения АСФ следует учитывать такие факторы, как численность и плотность населения, протяженность автодорог, протяженность газопроводов, количество потенциально опасных объектов, озерность и количество мест выхода на лед.

Результаты и их обсуждение

Всего было рассмотрено 49 публикаций. Из них основную массу составляют научные статьи, опубликованные в рецензируемых изданиях (38 ед.), также рассмотрены 9 публикаций в сборниках науч-

ных конференций. В связи с большим количеством ссылок в обзор были включены 2 книги [2, 3].

Изначально рассматривались только публикации, вышедшие в свет начиная с 2013 г., однако в ходе работы выяснилось, что существует ряд более ранних публикаций, без упоминания которых картина исследования может оказаться неполной. Поэтому из 49 публикаций 10 относятся к диапазону дат 2005–2012 гг. Общий граф публикаций представлен на рис. 1.

Как видно из рис. 1, большая часть публикаций имеют ссылки друг на друга, что говорит о связанности методов для большей части работ. Вместе с тем граф имеет как изолированные вершины (1), так и два не связанных компонента (2 и 3). Изолированные вершины представляют публикации, описывающие применение нестандартных или нетиповых методов. Так, в [45] описывается применение методов машинного обучения, в [37] описывается применение методов многокритериальной оптимизации применительно к СПСЧ, а в [40] упор сделан на анализ нормативной базы. Несвязный компонент 2 отражает публикации [23, 24], относящиеся к вопросам экспериментального определения скоростей движения пожарных подразделений. Наиболее крупный несвязный компонент 3 отражает публикации, связанные с определением мест размещения аварийно-спасательных подразделений.

На рис. 2 представлены результаты анализа публикаций по направленности. Видно, что большая часть работ посвящена разработке прикладных инструментов и анализу исходных данных. Основоплагающих работ, связанных с обзором имеющегося опыта и постановкой новых задач исследования, немного, что говорит о невысокой активности

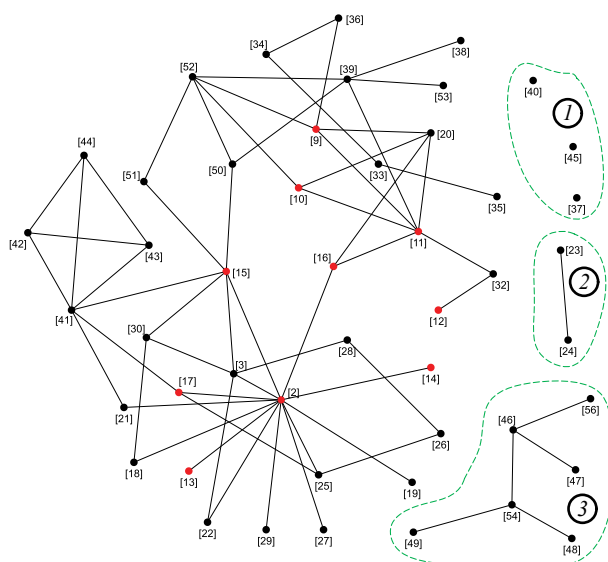


Рис. 1. Общий граф публикаций. Красные узлы — публикации, вышедшие до 2013 г., черные — после
Fig. 1. Publications graph. Red nodes — publications published before 2013, black — after

развития проблематики проектирования размещения пожарных подразделений. Анализ текстов публикаций подтверждает эту мысль — многие авторы сходятся во мнении, что имитационное моделирование является наилучшим способом решения данной задачи, а также что существующие решения позволяют в полной мере решить все задачи организационного проектирования гарнизонов.

Обращает на себя внимание и тот факт, что за последние 20 лет свет увидели всего 3 обзорные публикации, посвященные работам в области определения оптимального размещения пожарных подразделений [9, 10, 21]. Анализ областей применения рассмотренных работ (рис. 3) говорит о том, что наибольший интерес представляет организационное проектирование именно пожарных подразделений.

В данной работе рассматривались только ссылки между публикациями, участвовавшими в обзоре, поэтому в целом популярность той или иной работы по ней оценить нельзя. Кроме того, ряд публикаций, будучи написанными одними и теми же авторами, ссылаются на одни и те же, зачастую собственные, публикации. Исходя из количества ссылок, наибо-

лее знаковыми работами в рассматриваемой области являются [2, 9, 15]. Данные работы предлагается в дальнейшем рассматривать как основополагающие.

Следует заметить, что в настоящей статье не рассматривались ссылки на нормативные документы (ФЗ, ГОСТы и т.д.), своды правил и методические рекомендации, поскольку их влияние, как представляется, лежит за пределами объектной области исследования.

Распределение работ по организациям и применяемым методам
Publications distribution by institutes and methods

Метод Method	СПбГУ Saint-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia	АППС Academy of State Fire Service of the Emercom of Russia	ВНИИПО VNIIPo of Emercom of Russia	Прочие Other	Итого по методам Total by method
Математическое моделирование (детерминированный подход) Mathematical modelling (deterministic approach)	2	6	8	4	20
Прочие методы Other methods	6	3	4	4	17
Статистический анализ Statistical analysis	0	9	0	3	12
Имитационное моделирование Computer simulation	3	7	1	0	11
Анализ нормативных актов Regulations analysis	2	0	2	1	5
Натурный эксперимент Experiments	0	2	0	0	2
Обзор публикаций и работ Works and publications review	0	0	2	0	2
Машинное обучение Machine learning	1	0	0	0	1
Итого Total	14	27	17	12	70

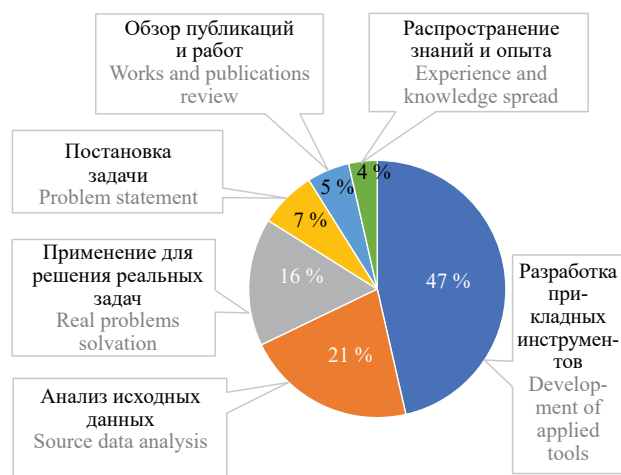


Рис. 2. Распределение работ по направленности
Fig. 2. Distribution of works by focus

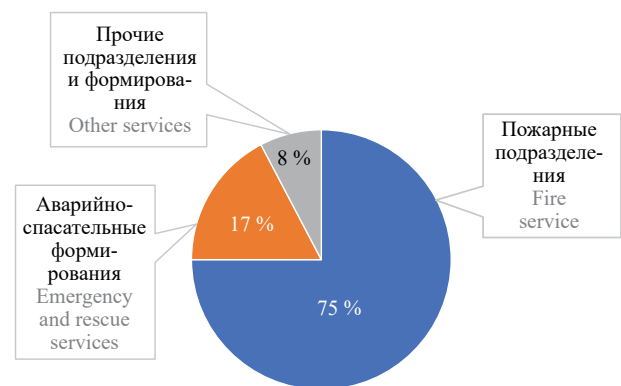


Рис. 3. Распределение работ по области применения
Fig. 3. Distribution of work by field of application

На основе собранных данных об использованных и упомянутых в публикациях научных методов была составлена таблица, отражающая количество публикаций, соотнесенных с научными коллективами и используемыми методами. В одной и той же публикации могут описываться несколько методов, поэтому общее количество упоминаний различных методов превышает количество рассмотренных публикаций.

Из таблицы видно, что наиболее популярными группами методов исследования задач поиска оптимальных мест размещения пожарных подразделений являются «Математическое моделирование (детерминированный подход)», «Статистический анализ» и «Имитационное моделирование».

Группа «Прочие методы» включает в себя методы, не вошедшие, в силу малого количества упоминаний, в прочие группы, поэтому при сравнении не рассматривается. Среди наиболее интересных методов, отнесенных к данной группе, стоит отметить применение экспертных методов, методов системного анализа и методов машинного обучения.

Группа методов математического моделирования (детерминированный подход) также включает большое количество частных методов, среди которых можно выделить методы многофакторной оптимизации, теории массового обслуживания и теории графов. Методы последней группы в том или ином виде используются в подавляющем большинстве работ.

Изучение публикаций позволило выделить следующие наиболее широко используемые группы исходных данных:

- граф дорожной сети;
- сведения о размещении территориальных подразделений и их оснащении;
- сведения о статистике реагирования подразделений;
- сведения об объектах, размещенных на территории населенного пункта;
- сведения о пожароопасных характеристиках веществ и материалов;
- данные открытых сервисов.

Проведенный анализ говорит о том, что в целом вопросам расчетного обоснования мест размещения подразделений экстренных служб в России уделяется значительное внимание. Вместе с тем прослеживается и тот факт, что за последние десять лет заметного прогресса в развитии таких методов не наблюдается. Остро стоит и вопрос применения существующих методов к решению масштабных расчетных задач. Несмотря на то что в ряде публикаций идет речь о проведении расчетов для достаточно крупных регионов [27], алгоритмическая сложность таких методов, как имитационное моделирование деятельности пожарной охраны, может

приводить к заметным временным затратам на проведение расчетов.

Отдельную сложность представляет задача подготовки исходных данных. В рассмотренных публикациях говорится, что большая часть исходных данных, требуемых для расчета, либо должна быть введена вручную, либо требует основательной обработки. Очевидно, что чем более высокую точность расчетов требуется получить, тем более значительным объемом исходных данных мы должны располагать. При этом едва ли представляется возможным учесть все многообразие факторов, оказывающих влияние на эффективность деятельности пожарных подразделений.

Одним из следствий описанных выше недостатков существующих решений является сложность в их применении за пределами научных коллективов. Ни в одной из рассмотренных публикаций не упоминается о применении разработанных решений в гарнизонах пожарной охраны, органах местной исполнительной власти или даже в центральном аппарате МЧС России, что наталкивает на мысль о сложностях, связанных с их распространением.

Анализ показал, что в настоящее время в России существует, как минимум, два наиболее широко используемых для расчета места дислокации подразделений и их технической оснащенности подходов: математическое моделирование и имитационное моделирование. Каждый из подходов имеет сильные и слабые стороны, которые делают их более или менее применимыми в тех или иных случаях. Вместе с тем не существует методов выбора подхода для решения конкретной задачи.

Общими недостатками для подавляющего большинства публикаций можно отметить слабое использование современных подходов к анализу и визуализации данных. Так, научные инструменты, созданные с использованием языков программирования Python и R, не упоминаются ни в одной из работ, несмотря на то, что де-факто именно эти инструменты на текущий момент являются стандартом научных вычислений во всем мире. Кроме того, в публикациях редко упоминаются методы пространственной аналитики из области геоинформационных систем. Наконец, практически никто из авторов не упоминает об использовании в работах открытых данных о дорожной сети, зданиях и сооружениях, свойствах объектов и материалов, демографических данных и т.д.

Выводы

В ходе проведения обзора были получены следующие результаты.

1. Наиболее развитыми и применяемыми методами решения задач определения оптимальных мест

размещения и технической оснащенности пожарных подразделений являются методы математического моделирования и имитационного моделирования с использованием компьютерных технологий.

2. В целом методы решения задач определения оптимальных мест размещения и технической оснащенности пожарных подразделений в настоящий момент развиваются на основе современных информационных технологий. Из числа отмеченных в публикации можно упомянуть методы машинного обучения и экспертные методы.

3. Основными факторами, учитываемыми при определении оптимальных мест размещения пожарных подразделений, являются: удаленность от пожарных подразделений с учетом кратчайшего маршрута следования, характер застройки, оснащенность и укомплектованность пожарных подразделений, оперативная обстановка в районе выезда, пожароопасные характеристики зданий и сооружений.

Онлайн-подшивка рассмотренных в статье публикаций расположена по адресу URL: https://www.zotero.org/groups/4991792/fire_units_dislocation/library

С целью дальнейшего развития методов расчетного обоснования количества, мест размещения и технической оснащенности пожарных подразделений предлагается:

1. Применение современных информационных технологий из области ГИС, аналитики данных и искусственного интеллекта, в том числе алгоритмов теории графов. Такие инструменты совершенствуют реализацию существующих расчетных методик в виде конечных программных решений и способствуют развитию новых методов.

2. Разработка подходов к использованию открытых данных, таких как дорожная сеть, здания и сооружения, экономические и демографические данные.

3. Создание единой научной терминологии, что способствовало бы унификации подходов в области расчетного обоснования мест дислокации пожарных подразделений.

4. Создание открытой научно-исследовательской программной платформы для разработки и тестирования различных подходов и методов расчетного обоснования мест дислокации пожарных подразделений.

5. Создание базы пожарно-технических пространственных данных зданий, сооружений, дорожной сети и т.д., которая могла бы использоваться как в повседневной деятельности пожарных подразделений, так и в проведении научных и инженерных расчетов при решении задач деятельности экстренных служб.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году : стат сб. Балашиха : ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
2. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Алехин Е.М., Коломиец Ю.И., Вагнер П. Безопасность городов. Имитационное моделирование городских процессов и систем. М. : ФАЗИС, 2004. 172 с.
3. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. Математические методы и модели управления в противопожарной службе : учебник. 2-е изд. испр. и доп. М. : Академия МЧС России, 2019. 194 с.
4. Матюшин А.В. и др. Модель обоснования мест дислокации оперативных подразделений пожарной охраны на территории населенного пункта // Мат. XX междунар. науч.-практ. конф. Секция 3. М. : ВНИИПО, 2007. С. 66–71.
5. Матюшин А.В., Порошин А.А., Бобринев Е.В., Кондашов А.А., Удавцова Е.Ю., Сергеев А.Э. и др. Определение областей нормативного обслуживания территории населенного пункта (района) оперативными подразделениями пожарной охраны // Пожарная безопасность. 2010. № 4. С. 104–110. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15318628>.
6. Порошин А.А. и др. Автоматизированная система организационного проектирования деятельности и ресурсной оснащенности оперативных подразделений пожарной охраны // Юбилейный сб. трудов ФГБУ ВНИИПО МЧС России / под общ. ред. В.И. Климкина. 2012. С. 523–542.
7. Матюшин А.В., Порошин А.А., Бобринев Е.В., Кондашов А.А., Матюшин Ю.А., Маштаков В.А. Оперативное реагирование и тушение пожаров в населенных пунктах Московской области // Пожарная безопасность. 2010. № 4. С. 91–103. EDN: MXFQXP.
8. Порошин А.А. Методология проектирования гарнизонов пожарной охраны : автореф. дис. ... д-ра тех. наук : 05.26.03. М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. 49 с.
9. Матюшин А.В., Порошин А.А., Матюшин Ю.А. Отечественный опыт нормирования ресурсов оперативных подразделений пожарной охраны и мест их дислокации в населенных пунктах // Пожарная безопасность. 2005. № 3. С. 75–80. EDN: KVOFAT.
10. Матюшин А.В., Порошин А.А., Матюшин Ю.А. Зарубежный опыт обоснования мест дислокации оперативных подразделений пожарной охраны // Пожарная безопасность. 2005. № 2. С. 74–82. EDN: KVOESR.
11. Матюшин А.В., Порошин А.А., Матюшин Ю.А. Методологические основы определения необходимого числа оперативных подразделений пожарной охраны для защиты городских и сельских поселений от пожаров (новый взгляд на старую проблему) // Пожарная безопасность. 2005. № 3. С. 45–52. EDN: KVOEZR.

12. Матюшин А.В., Порошин А.А., Кондашов А.А., Матюшин Ю.А. Определение максимально допустимого расстояния между пожарным депо и объектом предполагаемого пожара при стохастической постановке задачи // Пожарная безопасность. 2007. № 2. С. 103–121. EDN: JWNRRRL.
13. Брушлинский Н.Н., Глуховенко Ю.М., Коробко В.Б., Соколов С.В. Компьютерные технологии для экспертизы пожарной безопасности объектов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2008. Т. 17. № 4. С. 53–58. EDN: KNUATH.
14. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Морозов В.И. Проблема государственной важности (как обосновать численность противопожарной службы России?) // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2009. Т. 18. № 6. С. 7–12. EDN: KUXUTR.
15. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. О нормировании времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2011. Т. 20. № 9. С. 42–48. EDN: OFXCVT.
16. Матюшин А.В., Порошин А.А., Бобринев Е.В., Кондашов А.А., Матюшин Ю.А., Терехов А.В. Современные геоинформационные технологии в проектировании гарнизонов пожарной охраны // Пожарная безопасность. 2012. № 3. С. 107–119. EDN: PHSLGR.
17. Алехин Е.М., Брушлинский Н.Н., Вагнер П., Коломиец Ю.И., Соколов С.В. Проблемно-ориентированные имитационные системы для автоматизированного проектирования и стратегического управления экстренными и аварийно-спасательными службами городов // Вестник РАЕН. 2012. Т. 12. № 3. С. 27–34. EDN: TXIKGX.
18. Алехин Е.М., Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. О распределении Эрланга и некоторых его приложениях // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2014. Т. 23. № 6. С. 11–17. EDN: SNVTNF.
19. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. Оргпроектирование противопожарной службы России // Проблемы управления безопасностью сложных систем : Труды XXI Междунар. конф., Москва, 18 декабря 2013 г. / под ред. Н.И. Архиповой, В.В. Кульбы. М. : Российский государственный гуманитарный университет, 2013. С. 34–36. EDN: SWVMLZ.
20. Матюшин А.В., Порошин А.А., Матюшин Ю.А., Бобринев Е.В., Кондашов А.А. Проектирование размещения подразделений пожарной охраны в населенных пунктах с использованием геоинформационных технологий // Bezpieczenstwo i Technika Pożarnicza. 2013. Т. 31. № 3. С. 81–86. DOI: 10.12845/bitp.31.3.2013.9 EDN: SBOQIR.
21. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Алехин Е.М., Коломиец Ю.И., Вагнер П. Опыт применения компьютерных имитационных систем моделирования деятельности экстренных служб // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2016. Т. 25. № 8. С. 6–16. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.6-16 EDN: WYJWGL.
22. Алехин Е.М., Брушлинский Н.Н., Вагнер П., Коломиец Ю.И., Соколов С.В. Решение проблемы оргпроектирования экстренных и аварийно-спасательных служб в городах // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 3 (67). С. 192–199. EDN: YKVVJOV.
23. Соколов С.В., Сибиряков М.В. Определение преимущества движения пожарно-спасательных подразделений в транспортном потоке // Технологии техносферной безопасности. 2017. № 1 (71). С. 244–254. EDN: ZDRKFT.
24. Сибиряков М.В. Анализ геоинформационных данных о следовании пожарно-спасательных подразделений к местам экстренных вызовов // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 6 (70). С. 214–221. EDN: YTCZGD.
25. Соколов С.В., Портнов Д.А., Попков С.Ю. Имитационная модель процесса функционирования территориальных добровольных пожарных команд для оценки параметров оперативного реагирования // Технологии техносферной безопасности. 2018. № 6 (82). С. 22–31. DOI: 10.25257/TTS.2018.6.82.22-31 EDN: YOQRIL.
26. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Портнов Д.А. Организация территориальных подразделений добровольной пожарной охраны // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2018. № 2. С. 39–44. DOI: 10.25257/FE.2018.2.39-44 EDN: XUONRJ.
27. Соколов С.В., Брушлинский Н.Н., Фам К.Х. Разработка и адаптация имитационной системы оперативной деятельности пожарных подразделений к условиям Вьетнама // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2021. № 2. С. 5–14. DOI: 10.25257/FE.2021.2.5-14 EDN: HHZERM.
28. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Григорьева М.П. О некоторых закономерностях и особенностях российской пожарной статистики // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2016. Т. 25. № 6. С. 33–38. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.33-38 EDN: WWLUZJ.
29. Соколов С.В., Судаков Е.А. Анализ и оценка времени прибытия пожарных подразделений к местам вызовов в Санкт-Петербурге в 2006–2015 гг. // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 2 (66). С. 86–93. EDN: YGDJUR.

30. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Григорьева М.П. Организация пожарно-спасательных служб в городах мира // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2017. № 1. С. 49–55. DOI: 10.25257/FE.2017.1.49-55 EDN: ZFKDUL.
31. Матюшин А.В., Нго К.Т. Определение скорости следования дежурного караула пожарной охраны на место пожара в г. Ханое Республики Вьетнам // Пожарная безопасность. 2015. № 2. С. 44–48. EDN: UAAQCL.
32. Матюшин А.В., Матюшин Ю.А., Нго К.Т. Анализ оперативно-тактических возможностей гарнизона пожарной охраны Г. Ханоя (Республика Вьетнам) // Пожарная безопасность. 2016. № 1. С. 89–96. EDN: VOKTWN.
33. Порошин А.А., Харин В.В., Бобринев Е.В., Удавцова Е.Ю., Кондашов А.А. Разработка методики оценки ресурсной потребности пожарно-спасательных подразделений моногородов Российской Федерации // Актуальные проблемы пожарной безопасности : мат. XXVIII междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч., Ногинск, 19–20 мая 2016 г. Часть 1. Ногинск : Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2016. С. 44–57. EDN: YGQDTV.
34. Порошин А.А., Харин В.В., Бобринев Е.В., Еремина В.В., Удавцова Е.Ю. Вопросы расчета ресурсной потребности пожарной охраны поселений и городских округов // Пожарная безопасность. 2018. № 4. С. 93–96. EDN: YRAFHF.
35. Порошин А.А., Харин В.В., Кондашов А.А., Бобринев Е.В., Удавцова Е.Ю. Разработка методики обоснования ресурсов пожарной охраны в сельских поселениях Российской Федерации в зависимости от уровня пожарной опасности // Пожарная безопасность. 2018. № 4. С. 32–38. EDN: AZJZBL.
36. Порошин А.А., Харин В.В., Бобринев Е.В., Удавцова Е.Ю., Кондашов А.А. Вопросы нормирования ресурсной потребности пожарной охраны // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2020. № 1 (5). С. 507–512. EDN: SIEOQZ.
37. Харин В.В., Кондашов А.А., Бобринев Е.В., Удавцова Е.Ю., Рюмина С.И. Технологии математического моделирования для определения оптимальных мест дислокации специализированных пожарно-спасательных частей // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций : сб. мат. Междунар. науч.-практ. конф., Красноярск, 21 октября 2022 г. Красноярск : ФГБОУ высшего образования «Сибирская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2022. С. 12–18. EDN: FXHTPE.
38. Порошин А.А. Определение мест дислокации пожарных частей для защиты от пожаров зданий классов функциональной пожарной опасности Ф1.1, Ф1.2, Ф4.1, Ф4.2.н // Актуальные проблемы пожарной безопасности : мат. Междунар. XXXIV науч.-практ. конф., посвященной 85-летию образования ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Балашиха, 23–24 августа 2022 года. Москва : Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2022. С. 20–25. EDN: EIZBTM.
39. Порошин А.А. Определение мест дислокации подразделений пожарной охраны для защиты от пожаров социально значимых объектов // Технологии техносферной безопасности. 2022. № 4 (98). С. 68–78. DOI: 10.25257/TTS.2022.4.98.68-78 EDN: ROHVJC.
40. Таранцев А.А. О проблеме размещения вновь создаваемых пожарных частей на территориях регионов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2013. Т. 22. № 5. С. 52–57. EDN: QIYYVB.
41. Буйневич М.В., Максимов А.В., Пелех М.Т. Принципы информационной поддержки системного проектирования развития сети пожарных депо на территории мегаполиса // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2017. № 3. С. 129–135. EDN: ZRPAMZ.
42. Буйневич М.В., Пелех М.Т., Ахунова Д.Г. Развитие пожарной охраны мегаполиса с использованием технологии имитационного моделирования // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2019. № 3. С. 150–156. EDN: QPSJFU.
43. Буйневич М.В., Пелех М.Т. Проектирование пожарных депо с применением поисково-информационных картографических сервисов // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство : сб. науч. статей по итогам VI междунар. науч. конф., Казань, 31 июля 2019 г. Часть 1. Казань : Общество с ограниченной ответственностью «КОНВЕРТ», 2019. С. 139–141. EDN: LTZAFB.
44. Буйневич М.В., Пелех М.Т. Совершенствование маршрутов следования пожарно-спасательных подразделений к месту вызова // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования,

- проблемы внедрения в производство : сб. науч. статей по итогам VII междунар. науч. конф., Казань, 31 августа 2019 г. Казань : Общество с ограниченной ответственностью «КОНВЕРТ», 2019. С. 86–88. EDN: JDBXAW.
45. Буйневич М.В., Вострых А.В. Адаптация алгоритма RESQ под задачи оптимального управления ресурсами организационных систем экстренных служб // Вестник Воронежского института МВД России. 2022. № 3. С. 17–26. EDN: BFVHYC.
 46. Барышев П.Ф. Методический подход к определению рациональных вариантов дислокации спасательных воинских формирований МЧС России // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2015. № 2 (25). С. 3–7. EDN: UCEBMZ.
 47. Барышев П.Ф. Постановка общей научной задачи определения рационального варианта дислокации спасательного воинского формирования МЧС России // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2015. № 3 (26). С. 3–7. EDN: ULNQOP.
 48. Мартинович Н.В., Татаркин И.Н., Антонов А.В., Мельник А.А. Методика определения потребности пожарно-спасательных подразделений в пожарной технике, оборудовании и пожарно-техническом вооружении // Интернет-журнал Науковедение. 2015. Т. 7. № 6 (31). С. 120. DOI: 10.15862/85TVN615 EDN: VOBHID.
 49. Матюшев П.А., Афанасьев В.М. Исследование вопроса оптимального размещения аварийно-спасательных формирований на территории субъекта Российской Федерации с учетом его географических, природных, социально-экономических характеристик // Вестник НЦБЖД. 2018. № 4 (38). С. 98–102. EDN: YPMEXJ.
 50. Костямин Д.И., Добрякова Е.И. Базовые показатели для определения мест дислокации пожарно-спасательных частей // Научный вестник НИИГД «Респиратор». 2019. № 1 (56). С. 17–24. EDN: YWXKCL.
 51. Лучин М.Н., Фролов П.А. Анализ методик проведения расчетов нормативного времени прибытия и мест дислокации подразделений пожарной охраны // Мат. Междунар. науч.-технич. конф. «Системы безопасности». 2019. № 28. С. 399–405. EDN: VKXDZO.
 52. Лобода А.В., Муконина И.А. Анализ расположения подразделений пожарной охраны в городах (на примере г. Воронежа) // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2013. № 4 (9). С. 29–34. EDN: ROEXCJ.
 53. Мельник А.А., Антонов А.В., Мартинович Н.В., Малютин О.С. Расчетное определение области нормативного обслуживания пожарных частей на территории города Красноярск // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2019. № 3 (14). С. 61–66. EDN: TWSUTH.
 54. Матюшев П.А., Кузнецова М.А., Заринова С.Н. Общая постановка задачи определения мест дислокации аварийно-спасательных формирований // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2021. № 3 (50). С. 68–76. EDN: KGFRJK.
 55. Заозерская Л.А., Китриной Е., Колоколов А.А. Задача оптимального размещения центров телекоммуникаций в регионе // Математическое программирование : Труды XIII Байкальской международной школы-семинара «Методы оптимизации и их приложения». Иркутск, ИСЭМ СО РАН, 2005. № 1. С. 469–475.
 56. Матюшев П.А., Кузнецова М.А. Исследование влияния факторов на количество чрезвычайных ситуаций и происшествий на территории Республики Татарстан // XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых) : Междунар. молодежная науч. конф., посвящ. 60-летию со дня осуществления первого полета человека в космическое пространство и 90-летию Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань, 10–11 ноября 2021 г. Том IV. Казань : Изд-во ИП Сагиева А.Р., 2021. С. 8–16. EDN: AJZYRK.

REFERENCES

1. *Fire and fire safety in 2021 : statistical collection*. 2021; 114. (rus).
2. Brushlinskiy N.N., Sokolov S.V., Alekhin Ye.M., Kolomiets Yu.I., Wagner P. *Security of cities. Simulation modeling of urban processes and systems*. 2004; 172. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.01.57-68 (rus).
3. Brushlinskiy N.N. *Mathematical methods and management models in the fire service*. Moscow, State Fire Service Academy EMERCOM of Russia, 2019; 194 (rus).
4. Matyushin A.V. et al. *The model of justification of the locations of operational fire protection units on the territory of the settlement : conference paper*. Moscow, FGBU VNIPO Emercom of Russia, 2007; 66-71. (rus).
5. Matjushin A.V., Poroshin A.A., Bobrinev E.V., Kondashov A.A., Udavcova E.Ju., Sergeev A.Je. et al. Determination of the areas of normative maintenance of the territory of a locality (district) by operational units of fire protection. *Fire safety*. 2020; 4:104-110 (rus).
6. Poroshin A.A. Automated system of organizational design of activity and resource equipment of operational units of fire protection. *FGBU VNIPO Emercom of Russia*. 2012; 523-542. (rus).
7. Matyushin A.V., Poroshin A.A., Bobrinev Ye.V. Kondashov A.A., Matjushin Ju.A., Mashtakov V.A. Rapid response and fire extinguishing in the settlements of the Moscow region. *Fire safety*. 2010; 4:91-103. EDN: MXFQXP. (rus).

8. Poroshin A.A. *Methodology of designing fire protection garrisons : phd thesis*. Moscow, FGBU VNIPO Emercom of Russia, 2009; 49. (rus).
9. Matyushin A.V., Poroshin A.A., Matyushin Yu.A. Domestic experience in rationing the resources of operational fire protection units and their locations in populated areas. *Fire safety*. 2005; 3:75-80. EDN: KVOFAT. (rus).
10. Matyushin A.V., Poroshin A.A., Matyushin Yu.A. Foreign experience in substantiating the locations of operational fire protection units. *Fire safety*. 2005; 2:74-82. EDN: KVOESR. (rus).
11. Matyushin A.V., Poroshin A.A., Matyushin Yu.A. Methodological foundations for determining the necessary number of operational fire protection units to protect urban and rural settlements from fires (a new look at the old problem). *Fire safety*. 2005; 3:45-52. EDN: KVOEZR. (rus).
12. Matyushin A.V., Poroshin A.A., Kondashov A.A., Matyushin Yu.A. Determination of the maximum allowable distance between the fire station and the object of the proposed fire in the stochastic formulation of the problem. *Fire safety*. 2007; 2:103-121. EDN: JWNRRLL. (rus).
13. Brushlinskiy N.N., Glukhovenko Yu.M., Korobko V.B., Sokolov S.V. Computer technologies for the examination of fire safety facilities. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2008; 4(17):53-58. EDN: KNUATH. (rus).
14. Brushlinskiy N.N., Sokolov S.V., Morozov V.I. A problem of national importance (how to justify the number of the fire service of Russia?). *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2009; 6(18):7-12. EDN: KUXUTR. (rus).
15. Brushlinskiy N.N., Sokolov S.V. On rationing the time of arrival of fire departments to the place of fire. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2011; 9(20):42-48. EDN: OFXCVT. (rus).
16. Matyushin A.V., Poroshin A.A., Bobrinev Ye.V., Kondashov A.A., Matyushin Ju.A., Terehov A.V. Modern geoinformation technologies in the design of fire protection garrisons. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2012; 3:107-119. EDN: PHSLGR. (rus).
17. Alekhin Ye.M., Brushlinskiy N.N., Vagner P., Kolomiec Ju.I., Sokolov S.V. Problem-oriented simulation systems for computer-aided design and strategic management of emergency and emergency rescue services of cities. *Vestnik RAEN/Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2012; 3(12):27-34. EDN: TXIKGX. (rus).
18. Alekhin Ye.M., Brushlinskiy N.N., Sokolov S.V. On the Erlang distribution and some of its applications. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2014; 6(23):11-17. EDN: SNVTNF. (rus).
19. Brushlinskiy N.N., Sokolov S.V. Organizational design of the Fire Service of Russia. *XXI International conference*. Moscow, 2013; 34-36. EDN: SWVMLZ. (rus).
20. Matyushin A.V., Poroshin A.A., Matyushin Yu.A., Bobrinev E.V., Kondashov A.A. Designing the placement of fire protection units in settlements using geoinformation technologies. *Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza*. 2013; 3(31):81-86. DOI: 10.12845/bitp.31.3.2013.9 EDN: SBOQIR. (rus).
21. Brushlinskiy N.N., Sokolov S.V., Alekhin Ye.M., Kolomiec Ju.I., Vagner P. Experience in the use of computer simulation systems for modeling the activities of emergency services. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2016; 8(25):6-16. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.6-16 EDN: WYJWGL. (rus).
22. Alekhin Ye.M., Brushlinskiy N.N., Vagner P., Kolomiec Ju.I., Sokolov S.V. Solving the problem of organizing the design of emergency and emergency rescue services in cities. *Technology of Technosphere Safety*. 2016; 3(67):192-199. EDN: YKVJOV. (rus).
23. Sokolov S.V., Sibiryakov M.V. Determining the advantages of the movement of fire and rescue units in the traffic flow. *Technology of Technosphere Safety*. 2017; 1(71):244-254. EDN: ZDRKFT. (rus).
24. Sibiryakov M.V. Analysis of geoinformation data on the following of fire and rescue units to the places of emergency calls. *Technology of Technosphere Safety*. 2016; 6(70):214-221. EDN: YTCZGD. (rus).
25. Sokolov S.V., Portnov D.A., Popkov S.Yu. Simulation model of the process of functioning of territorial voluntary fire brigades to assess the parameters of rapid response. *Technology of Technosphere Safety*. 2018; 6(82):22-31. DOI: 10.25257/TTS.2018.6.82.22-31 EDN: YOQRIL. (rus).
26. Brushlinskiy N.N., Sokolov S.V., Portnov D.A. Organization of territorial units of voluntary fire protection. *Fire and emergencies: prevention, elimination*. 2018; 2:39-44. DOI: 10.25257/FE.2018.2.39-44 EDN: XUONRJ. (rus).
27. Sokolov S.V., Brushlinskiy N.N., Fam K.Kh. Development and adaptation of the simulation system of operational activities of fire departments to the conditions of Vietnam. *Fire and emergencies: prevention, elimination*. 2021; 2:5-14. DOI: 10.25257/FE.2021.2.5-14 EDN: HHZEPM. (rus).
28. Brushlinskiy N.N., Sokolov S.V., Grigoryeva M.P. About some patterns and features of Russian fire statistics. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2016; 6(25):33-38. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.33-38 EDN: WWLUZJ. (rus).
29. Sokolov S.V., Sudakov Ye.A. Analysis and evaluation of the arrival time of fire departments to the call sites in St. Petersburg in 2006-2015. *Technology of Technosphere Safety*. 2016; 2(66):86-93. EDN: YGDJUR. (rus).
30. Brushlinskiy N.N., Sokolov S.V., Grigoryeva M.P. Organization of fire and rescue services in the cities of the world. *Fire and emergencies: prevention, elimination*. 2017; 1:49-55. DOI: 10.25257/FE.2017.1.49-55 EDN: ZFKDUL. (rus).

31. Matyushin A.V., Ngo K.T. Determination of the speed of the fire guard on duty to the place of fire in Hanoi, Republic of Vietnam. *Fire safety*. 2015; 2:44-48. EDN: UAAQCL. (rus).
32. Matyushin A.V., Matyushin Yu.A., Ngo K.T. Analysis of operational and tactical capabilities of the Hanoi Fire Protection Garrison (Republic of Vietnam). *Fire safety*. 2016; 1:89-96 EDN: VOKTWN. (rus).
33. Poroshin A.A., Kharin V.V., Bobrinev Ye.V., Udavcova E.Ju., Kondashov A.A. Development of a methodology for assessing the resource needs of fire and rescue units of single-industry towns of the Russian Federation. *Actual problems of fire safety. Conference paper 19-20 May 2016*. Noginsk, FGBU VNIPO Emercom of Russia. 2016; 44-47. EDN: YGQDTV. (rus).
34. Poroshin A.A., Kharin V.V., Bobrinev Ye.V., Eremina V.V., Udavcova E.Ju. Issues of calculating the resource needs of fire protection of settlements and urban districts. *Fire safety*. 2018; 4:93-96. EDN: YRAFHF. (rus).
35. Poroshin A.A., Kharin V.V., Kondashov A.A., Bobrinev E.V., Udavcova E.Ju. Development of a methodology for substantiating fire protection resources in rural settlements of the Russian Federation depending on the level of fire danger. *Fire safety*. 2018; 4:32-38. EDN: AZJZBL. (rus).
36. Poroshin A.A., Kharin V.V., Bobrinev Ye.V., Udavcova E.Ju., Kondashov A.A. Issues of rationing the resource needs of fire protection. *Fire and technospheric safety: problems and ways of improvement*. 2020; 1(5):507-512. EDN: SIEOQZ. (rus).
37. Kharin V.V., Kondashov A.A., Bobrinev Ye.V., Udavcova E.Ju., Rjumina S.I. Mathematical modeling technologies for determining the optimal locations of specialized fire and rescue units : conference paper. *International conference "Monitoring, modeling and forecasting of natural hazards and emergencies"*. Krasnoyarsk, 2022; 21-18. EDN: FXHTPE. (rus).
38. Poroshin A.A. Determination of the locations of fire brigades for fire protection of buildings of functional fire hazard classes F1.1, F1.2, F4.1, F4.2 : conference paper. *Actual fire safety problems: XXXIV science-practical conference. Balshiha, 23-24 August 2022*. Moscow, FGBU VNIPO Emercom of Russia, 2022; 20-25. EDN: EIZBTM. (rus).
39. Poroshin A.A. Determination of the locations of fire protection units to protect socially significant objects from fires. *Technology of Technosphere Safety*. 2022; 4(98):68-78. DOI: 10.25257/TTS.2022.4.98.68-78 EDN: ROHVJC. (rus).
40. Tarantsev A.A. About the problem of placement of newly created fire departments in the territories of the regions. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2013; 5(22):52-57. EDN: QIYYVB. (rus).
41. Buynevich M.V., Maksimov A.V., Pelekh M.T. Principles of information support for the system design of the development of a network of fire depots in the territory of the metropolis. *Bulletin of the St. Petersburg university of the state fire service of the ministry of emergency situations of Russia*. 2017; 3:129-135. EDN: ZRPAMZ. (rus).
42. Buynevich M.V., Pelekh M.T., Akhunova D.G. Development of fire protection of the megalopolis using simulation technology. *Bulletin of the St. Petersburg university of the state fire service of the ministry of emergency situations of Russia*. 2019; 3:150-156. EDN: QPSJFU. (rus).
43. Buynevich M.V. Advanced innovative developments. *Prospects and experience of use, problems of introduction into production : collection of scientific articles on the results of the sixth international scientific conference*. Kazan, 2019; 139-141. EDN: LTZAFB. (rus).
44. Buynevich M.V., Pelekh M.T. Improving the routes of fire and rescue units to the place of the call : conference paper. *Advanced innovative developments. Prospects and experience of use, problems of introduction into production : collection of scientific articles on the results of the sixth international scientific conference*. Kazan, 2019; 86-88. EDN: JDBXAW. (rus).
45. Buynevich M.V., Vostrykh A.V. Adaptation of the RSA algorithm to the tasks of optimal resource management of organizational systems of emergency services. *The bulletin of Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2022; 3:17-26. EDN: BFVHYC. (rus).
46. Baryshev P.F. Methodical approach to the definition of rational options for the deployment of rescue military formations of the Ministry of Emergency Situations of Russia. *Scientific and educational problems of civil protection*. 2015; 2(25):3-7. EDN: UCEBMZ. (rus).
47. Baryshev P.F. Statement of the general scientific task of determining the rational variant of the deployment of the rescue military formation of the Ministry of Emergency Situations of Russia. *Scientific and educational problems of civil protection*. 2015; 3(26):3-7. EDN: ULNQOP. (rus).
48. Martinovich N.V., Tatarkin I.N., Antonov A.V., Melnik A.A. Methodology for determining the needs of fire and rescue units in fire equipment, equipment and fire-technical equipment. *Internet-journal Naukovedeniye*. 2015; 6(31):120. DOI: 10.15862/85TVN615 EDN: VOBHID. (rus).
49. Matyushev P.A., Afanasyev V.M. Investigation of the issue of optimal placement of emergency rescue units on the territory of the subject of the Russian Federation, taking into account its geographical, natural, socio-economic characteristics. *Vestnik NCBJhD*. 2018; 4(38):98-102. EDN: YPMEXJ. (rus).
50. Kostyamin D.I., Dobryakova Ye.I. Basic indicators for determining the locations of fire and rescue units. *Scientific Bulletin of the NII "Respirator"*. 2019; 1(56):17-24. EDN: YWXKCL. (rus).

51. Luchin M.N., Frolov P.A. Analysis of methods for calculating the standard arrival time and locations of fire protection units : conference paper. *International science-technical conference "Safety systems"*. 2019; 28:399-405. EDN: VKXDZO. (rus).
52. Loboda A.V., Mukonina I.A. Analysis of the location of fire protection units in cities (using the example of Voronezh). *The bulletin of Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2013; 4(9):29-34. EDN: ROEXCJ. (rus).
53. Melnik A.A., Antonov A.V., Martinovich N.V., Malyutin O.S. Estimated definition of the area of normative maintenance of fire departments in the territory of the city of Krasnoyarsk. *Siberian fire-rescue bulletin*. 2019; 3(14):61-66. EDN: TWSUTH. (rus).
54. Matyushev P.A., Kuznetsova M.A., Zaripova S.N. General statement of the problem of determining the locations of emergency rescue units. *Scientific and educational problems of civil protection*. 2021; 3(50):68-76. EDN: KGFRJK. (rus).
55. Zaozerskaya L.A., Kitrinou Ye., Kolokolov A.A. The task of optimal placement of telecommunications centers in the region. *Mathematical programming Proceedings of the XIII Baikal International School–Seminar "Optimization methods and their applications"*. Irkutsk, ISAM SO RAN, 2005; 1:469-475. (rus).
56. Matyushev P.A., Kuznetsova M.A. Study of the influence of factors on the number of emergencies and incidents in the Republic of Tatarstan. *XXV Tupolev Readings (School of Young Scientists) : International Youth Scientific Conference dedicated to the 60th anniversary of the First Human Flight into Outer Space and the 90th anniversary of the Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev*. Kazan, 2021; 8-16. EDN: AJZYPK. (rus).

Поступила 04.08.2023, после доработки 14.09.2023;

принята к публикации 25.09.2023

Received August 4, 2023; Received in revised form September 14, 2023;

Accepted September 25, 2023

Информация об авторах

МАЛЮТИН Олег Сергеевич, заместитель начальника отдела информационных технологий и компьютерного моделирования научно-технического центра, Сибирская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 662972, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, 1; ORCID: 0000-0001-5543-1324; e-mail: malyutin@sibpsa.ru

ХАБИБУЛИН Ренат Шамильевич, канд. техн. наук, доцент, начальник учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галущкина, 4; ORCID: 0000-0003-1816-1665; e-mail: kh-r@yandex.ru

Вклад авторов:

Малютин О.С. — проведение исследования; написание исходного текста; итоговые выводы.

Хабибулин Р.Ш. — научное руководство; концепция исследования.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Oleg S. MALYUTIN, Deputy of Informational Technologies and Computer Modelling Unit, Science-Technical Center, Siberian Fire and Rescue Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Severnaya St., 1, Krasnoyarskiy Kray, Zheleznogorsk, 662972, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-5543-1324; e-mail: malyutin@sibpsa.ru

Renat Sh. KHABIBULIN, Cand. Sci. (Eng.), Docent, Head of Educational and Scientific Complex of Automated Systems and Information Technologies, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-1816-1665; e-mail: kh-r@yandex.ru

Contribution of the authors:

Oleg S. Malyutin — conducting research; writing the main text; writing the draft; final conclusions.

Renat Sh. Khabibulin — scientific management; research concept.

The authors declare no conflicts of interests.