

УДК 004.94:614.84

DOI 10.37468/2307-1400-2023-3-77-85

## УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСАМИ ПОЖАРНЫХ ЧАСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Иванов Виталий Евгеньевич<sup>1</sup>**  
**Матвеев Александр Владимирович<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Иваново, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева, Санкт-Петербург, Россия

### АННОТАЦИЯ

Стратегическое планирование является важным аспектом в ресурсном обеспечении служб обеспечения безопасности. Эффективность функционирования противопожарной службы во многом зависит от распределения ограниченных ресурсов в пожарных частях и расположения пожарных депо. В данной статье рассматривается применение метода имитационного моделирования и программного обеспечения AnyLogic для исследования функционирования пожарной части. Модель позволяет оценить ее эффективность в зависимости от ресурсного оснащения, оценить динамику изменения коэффициентов готовности пожарных отделений. Использование данной модели позволяет решить задачу управления ресурсами и их оптимизации.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, AnyLogic, управление, стратегическое планирование, ресурсы, пожар.

## FIRE STATIONS RESOURCE MANAGEMENT USING SIMULATION MODELLING

**Ivanov Vitaly E. <sup>1</sup>**  
**Matveev Alexander V. <sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Ivanovo, Russia*

<sup>2</sup> *St. Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia named after Hero of the Russian Federation Army General E.N. Zinichev, St. Petersburg, Russia*

### ABSTRACT

Strategic planning is an important aspect of resourcing security services. The effectiveness of the fire service depends largely on the allocation of limited resources in fire services and the location of fire stations. This paper discusses the application of simulation modelling and AnyLogic software to investigate the functioning of a fire station. The model allows you to evaluate its effectiveness depending on the resource equipment, and evaluate the dynamics of changes in the readiness ratios of fire departments. The use of this model allows solving the problem of resource management and their optimisation.

**Keywords:** simulation modelling, AnyLogic, management, strategic planning, resources, fire.

### Введение

Процесс управления ресурсами в государственном секторе, в частности, управление пожарно-спасательной техникой в пожарных частях, отличается от традиционного управления

ресурсами в частном секторе. Разница, в основном, заключается в характере целей, которые ставятся перед лицами, принимающие решения: в то время как в частном секторе цели фокусируются на критериях максимизации прибыли или

минимизации затрат, то в государственном секторе основными целями является минимизация социального ущерба, эффективность или результативность с точки зрения соответствия своему предназначению исследуемой системы. Проведенные ранее исследования показывают, что стратегическое планирование является важным инструментом для использования в ресурсном обеспечении служб обеспечения безопасности [1].

Эффективность и результативность функционирования противопожарной службы во многом зависят от эффективного распределения ограниченных ресурсов в пожарных частях и расположения пожарных депо [2, 3]. Практическое решение этой проблемы является достаточно сложной задачей в силу следующих факторов: наличие множества конкурирующих целей, сильное влияние лиц, принимающих политические решения, недостаток данных, динамически меняющаяся оперативно-тактическая обстановка и ограниченность ресурсов планирования.

Решение проблемы, безусловно, требует научного подхода с использованием методов моделирования. Моделирование в современном мире является самым распространенным средством изучения объектов и явлений, позволяет научно обосновывать принятие управленческих решений [4]. Применение методов моделирования позволяет изучать объекты и явления без непосредственного контакта с ними, что значительно упрощает процесс исследования и снижает его стоимость.

Применение моделирования в исследовании процессов функционирования противопожарной службы имеет свою историю и некоторые решения в данной предметной области.

В работе [5] разработан обобщённый метод расчёта в аналитическом виде параметров математической модели функционирования подразделений пожарной охраны города, построенной на основе теории массового обслуживания. В трудах [6, 7] представлены результаты многолетних исследований авторов в области организационного проектирования экстренных и

аварийно-спасательных служб на основе методов математической статистики, теории вероятностей, системного анализа, математического моделирования на основе Пуассоновских потоков событий. Статья [8] посвящена решению задачи распределения пожарно-спасательной техники между территориальными подразделениями на основе оптимизационной модели, которая оказалась более рациональной для распределения техники, чем классическая модель линейного программирования.

В исследовании [9] авторы для оценки эффективности деятельности пожарных станций рассмотрели 25 показателей, агрегировав их в 5 групп, далее проранжировали данные группы с использованием нечетких данных и метода анализа иерархий. Методы аналитического моделирования были использованы в работе [10] для оптимизации количества пожарных частей для прикрытия автозаправочных станций в городе на основе расчета времени следования пожарных машин, полученного из онлайн-карт, и установления целевого критерия времени следования.

Одним из перспективных видов моделирования для решения поставленной проблемы является имитационное моделирование, которое позволяет создавать модель реальной системы или процесса, а затем проводить многочисленные эксперименты с этой моделью, чтобы получить информацию о реальной системе и обосновать оптимальное решение из множества альтернатив. Имитационное моделирование часто используется для анализа сложных систем, таких как системы управления, производственные системы, системы логистики и др.

В статье [11] разработана имитационная модель выезда караула пожарно-спасательной части, которая позволяет определить некоторые возможные количественные оценки деятельности пожарной части на оперативном уровне.

В работах [12, 13] предложена имитационная модель, позволяющей проводить экспертизу всех сторон оперативной деятельности подразделений экстренных и аварийно-спасательных служб.

Несмотря на то, что вопросы моделирования деятельности пожарных частей в целом изучались и освещались в литературе в течение последних десятилетий, однако задача стратегического планирования их ресурсов в условиях динамически меняющейся оперативно-тактической обстановки не в полной мере решена.

Согласно анализу существующих исследований выявлено, что не было проведено комплексного исследования по оптимизации ресурсов пожарных частей с использованием имитационного моделирования. Таким образом, учитывая обзор литературы, перспективными направлениями исследований в данной области являются:

- применение метода имитационного моделирования и его возможностей в оптимизации ресурсов на стратегическом уровне управления с учетом прогнозирования меняющейся оперативно-тактической обстановки;
- учет возможностей отказа технических средств при моделировании и планировании ресурсов пожарных частей, а также учет в модели системы технического обеспечения пожарных частей;
- учет в имитационных моделях расположения пожарных частей с учетом интенсивности вызовов и количества доступных сил и средств;
- недостаточное внимание в предыдущих исследованиях к расчету функций распределения временных характеристик оперативной деятельности подразделений, таких как «времени прибытия на место происшествия для каждой пожарной части», «времени боевой работы» и «времени возвращения в место дислокации», выход за рамки простейших пуассоновских потоков [6, 7, 14].

В настоящем исследовании сделан первый шаг в данном направлении, цель которого состоит в разработке имитационной модели, позволяющей проводить оценку эффективности функционирования пожарных частей в интересах обоснования предложений по динамическому перераспределению их ресурсов. В этом контексте

данную работу можно рассматривать как прикладную, поскольку ее основной вклад заключается в практическом применении математической модели к проблеме реального мира.

#### Методы исследования

В качестве инструмента имитационного моделирования в данной статье используется система AnyLogic – программное обеспечение для моделирования и оптимизации процессов и систем. Система моделирования предлагает следующие возможности:

- Создание моделей: AnyLogic позволяет создавать модели различных систем и процессов, включая дискретно-событийное моделирование, системную динамику, агентное моделирование и др.;
- Визуализация моделей: модели, созданные в AnyLogic, могут быть визуализированы с использованием различных инструментов, таких как анимации, графики, диаграммы и т.д. Это облегчает понимание и интерпретацию результатов моделирования;
- Импорт и экспорт данных: AnyLogic поддерживает импорт и экспорт различных типов данных, таких как CSV, Excel, XML и другие. Это позволяет легко интегрировать данные из внешних источников и анализировать их;
- Настройка параметров: AnyLogic предоставляет возможность настройки различных параметров модели, таких как время, ресурсы, затраты и т.д., что позволяет адаптировать модель под конкретные требования и условия;
- Анализ результатов: после моделирования AnyLogic предоставляет различные инструменты для анализа результатов, такие как статистический анализ, корреляции, тренды и прочее.
- Интеграция с другими инструментами: AnyLogic может быть интегрирован с другими программными продуктами, такими как Microsoft Office, MATLAB, SPSS и др.

В работе [15] авторы разработали при помощи AnyLogic дискретно-событийную модель процесса ведения аварийно-спасательных работ, которая может учитывать различные факторы при проведении работ, например, климатические условия,

вероятностные оценки использования инструмента и др. Такие модели позволяют обосновывать тактико-технические требования для аварийно-спасательного оборудования, сформулировать предложения по табелям оснащения состава средств ведения аварийно-спасательных работ, а также местам его размещения.

Рассмотрим еще один вариант применения AnyLogic для моделирования функционирования пожарной части. Данная модель должна обеспечить оценку значений вероятности отказа (средняя доля необслуженных вызовов среди всех поступивших), динамику числа одновременно занятых отделений (ресурсов по каждому их виду), значения математического ожидания времени следования (прибытия), боевой работы. Кроме того, модель должна оценить динамику изменения коэффициентов готовности отделений по каждому виду (согласно подходу, изложенному в [16]), решить задачу оптимизации количества ресурсов каждого вида, чтобы обеспечить значения коэффициентов готовности не менее  $K_{тр}$  за весь период моделирования.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В качестве исходных данных модели рассматривались:

- количество ресурсов пожарной части (отделений различного вида: АЦ, КП, АЛ, АСО, АГДЗ, АСМ) [17];
- интенсивность вызовов различных видов пожарных отделений на пожары (не нарушая общности рассуждений, рассматриваются

пожары рангов N 1, N 1-бис, N 2), вызовов на проведение аварийно-спасательных работ (АСР);

- временные характеристики занятости ресурсов пожарных частей при обслуживании различных типов вызовов;
- расписание выезда подразделений для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ на закрепленной за пожарной частью территории (табл. 1).

Для составления имитационной модели на начальном этапе была разработана структурная схема, отражающая последовательность протекающих процессов и событий в системе (рис. 1).

На основе разработанной схемы функционирования системы была реализована имитационная модель функционирования пожарной части в системе имитационного моделирования AnyLogic, представленная на рисунке 2.

Модель позволяет, варьируя численные значения ресурсов (технических средств различных видов) пожарной части, исследовать динамику процесса: временные характеристики следования и боевой работы пожарных расчетов на различных вызовах, числа одновременно занятых отделений по каждому виду (рис. 3); динамику показателей готовности отделений по каждому виду (рис. 4) и др.

Имитационная модель функционирования пожарной части в результате проведенного исследования позволяет решать задачи управления ресурсами пожарных частей в части принятия

Таблица 1 – Фрагмент расписания выезда подразделений для тушения пожаров и проведения АСР

	Номер (ранг) пожара:			Аварийно-спасательные работы
	N 1	N 1-бис	N 2	
	Привлекаемые подразделения	Привлекаемые подразделения	Привлекаемые подразделения	Привлекаемые подразделения
Итого по видам:	АЦ-1 АСМ-1	АЦ-2; КП-1; АСО-1; АСМ-1	АЦ-4 КП-1 АЛ-1 АСО-1 АГДЗ-1 АСМ-1	АСМ-1 АСО-1
Всего:	2	5	9	2

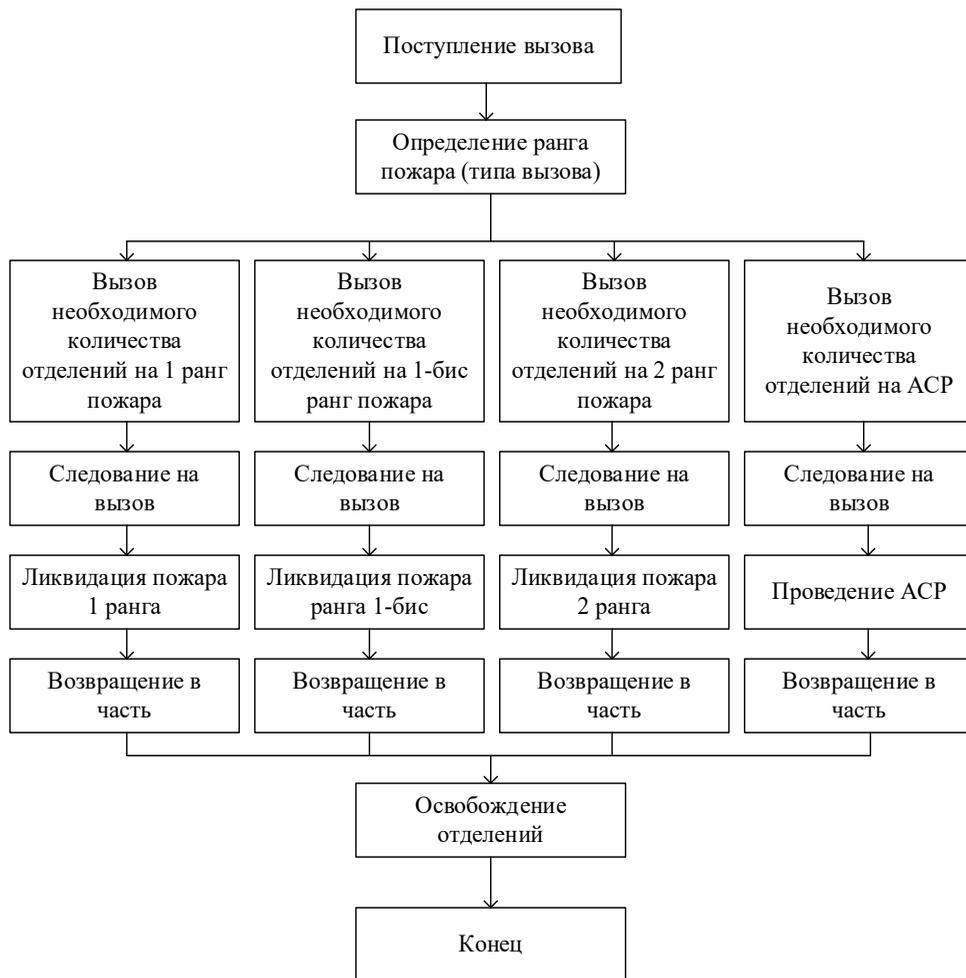


Рисунок 1 – Структурная схема процесса функционирования пожарной части



Рисунок 2 – Реализованная имитационная модель в системе AnyLogic

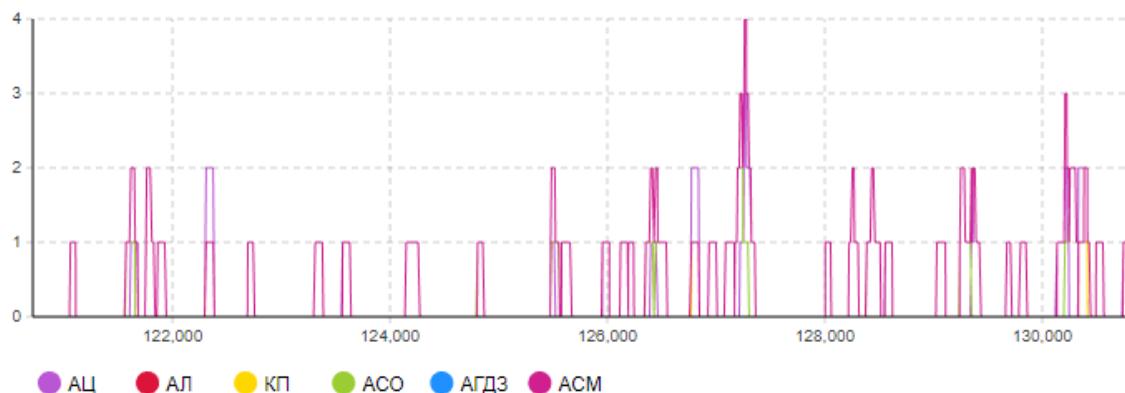


Рисунок 3 – График количества одновременно занятых отделений

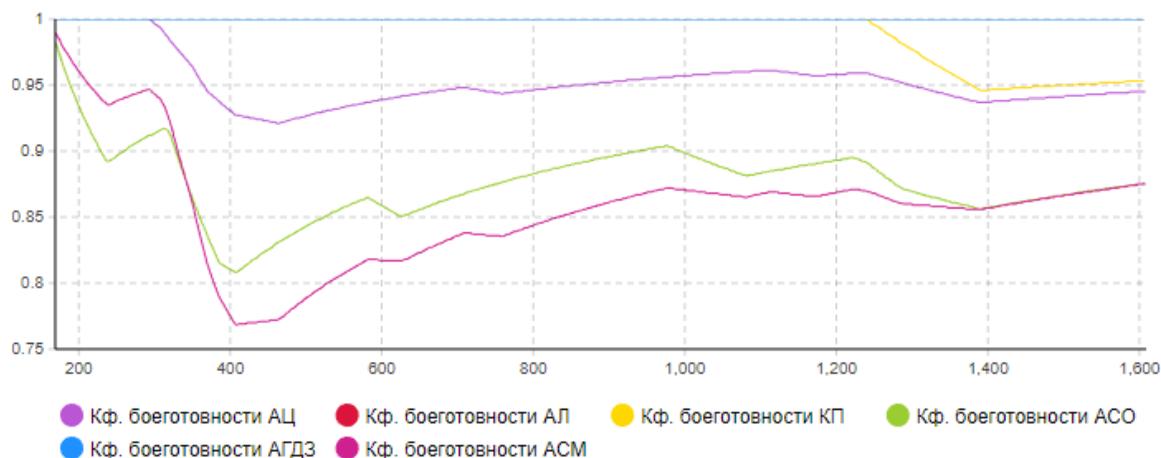


Рисунок 4 – Динамика среднего значения коэффициентов готовности отделений

решений при обосновании количественного состава оснащения основными и специальными пожарными машинами, оптимального распределения выделенных ресурсов между частями и др.

### Заключение

Статистика показывает, что ежегодно происходит множество чрезвычайных ситуаций и пожаров, сопровождающихся большим социальным и материальным ущербом. Это вызывает обеспокоенность общественности и повышает ответственность спасательных и пожарных подразделений за снижение последствий происшествий. Важнейшим аспектом, привлекающим особое внимание, является сокращение времени реагирования подразделений. Т.е. ответственные службы должны сразу после возникновения происшествий обладать с достаточными ресурсами для проведения спасательных операций или тушения пожаров. Существуют объективные сложности в управлении этими подразделениями, связанные, в первую очередь, с общим ограничением ресурсов, что может оказывать влияние на время реагирования. Требуются научные исследования, направленные на решение задачи оптимизации распределения ресурсов, их стратегического планирования в условиях ограничений и меняющейся обстановки.

Разработанная имитационная модель и реализованная в системе AnyLogic позволяет

провести исследование процесса функционирования пожарно-спасательной части, осуществляющей реагирование на чрезвычайные ситуации, пожары всех рангов и прочие вызовы. В данной модели использовались элементы визуализации AnyLogic, которые позволили наглядно судить об эффективности организации деятельности пожарно-спасательной части за исследуемый период моделирования. Необходимо отметить, что модель в дальнейшем требует своей доработки с целью решения задачи оптимизации ресурсов пожарных частей.

Наглядная визуализация исследуемого процесса, сбор статистических данных, интерактивная анимация с возможностью изменения параметров системы по ходу моделирования процесса делают данный программный продукт практически значимым для различного вида исследований и принятия управленческих решений.

### Список литературы

1. Матвеев А.В. Стратегическое планирование сил и средств МЧС России в Арктической зоне // Национальная безопасность и стратегическое планирование. – 2017. – № 4(20). – С. 32-42. – EDN NRZQFX.
2. Eslamzadeh S.M.K., Grilo A., Espadinha-Cruz P., Rodrigues J.P.C., Lopes J.P. A framework for fire departments' performance assessment:

- A systematic literature review // International Journal of Public Sector Management. – 2022. – V. 35. – No. 3. – P. 349-369. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJPSM-06-2021-0149>.
3. *Aleisa E.* The fire station location problem: A literature survey // International journal of emergency management. – 2018. – V. 14. – No. 3. – P. 291-302. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJEM.2018.094239>
  4. *Матвеев А.В.* Методы моделирования и прогнозирования. – СПб: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022. – 230 с. – ISBN 978-5-907116-73-3. – EDN IMLKWS.
  5. *Бартнев А.Н.* Аналитическое моделирование оперативной деятельности пожарной охраны // Инновации и инвестиции. – 2013. – № 6. – С. 150-153. – EDN TJXCFV.
  6. *Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Григорьева М.П.* Об организации систем обеспечения безопасности городов // Технологии техносферной безопасности. – 2022. – № 3(97). – С. 84-99. – DOI: 10.25257/TTS.2022.3.97.84-99. – EDN ACHKKS.
  7. *Брушлинский Н. Н., Соколов С. В.* Основы теории организации, функционирования и управления экстренными и аварийно-спасательными службами: монография. – М.: Академия ГПС МЧС России 2018. – 92 с.
  8. *Шофеев Т.Г., Сафарова С.Ю., Матвеев А.В.* Модель и алгоритм оптимального распределения ресурсов подразделений МЧС России // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2023. – № 2. – С. 125-133. – EDN NBPXIL.
  9. *Chen M. et al.* Emergency rescue capability evaluation on urban fire stations in China // Process Safety and Environmental Protection. – 2020. – V. 135. – P. 59-69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.12.028>.
  10. *Liu D. et al.* Regional evaluation of fire apparatus requirements for petrol stations based on travel times // Process Safety and Environmental Protection. – 2020. – V. 135. – P. 350-363. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.01.012>
  11. *Коморовский В.С., Мартинович Н.В., Якимов В.А.* Имитационная модель выезда караула пожарной части на основе анализа журнала пункта связи пожарно-спасательной части // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). – 2014. – № 4(12). – С. 5-9. – EDN WKVHHR.
  12. *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.
  13. *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 NHZEPM.
  14. *Водахова В.А., Максимов А.В., Матвеев А.В.* Комплексная математическая модель процесса управления силами и средствами гарнизона пожарной охраны // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2015. – № 2(34). – С. 85-96. – EDN UGLUTN.
  15. *Баев Д.В., Акишин А.А., Еремина А.В.* Применение программных средств моделирования для определения количественных характеристик комплектов технических средств, используемых при ведении аварийно-спасательных работ // Технологии гражданской безопасности. – 2018. – Т. 15, № 3(57). – С. 68-73. – DOI: 10.54234/CST.19968493.2018.15.3.57.12.68. – EDN XYGWTJ.
  16. *Крупкин А.А., Максимов А.В., Матвеев А.В.* Методика оценки эффективности управления силами и средствами гарнизона пожарной охраны // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2015. – № 4. – С. 30-34. – EDN VHNSPZ.
  17. ГОСТ Р 53247–2009. Техника пожарная. Пожарные автомобили. Классификация, типы и обозначения. Национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден

и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. N 18-ст. – М.: Стандартинформ, 2017. – 10 с.

### References

1. *Matveev A.V.* Strategic planning of forces and means of the Russian Ministry of Emergency Situations in the Arctic zone // *National Security and Strategic Planning*. – 2017. – No. 4(20). – P. 32-42. – EDN NRZQFX.

2. *Eslamzadeh S.M.K., Grilo A., Espadinha-Cruz P., Rodrigues J.P.C., Lopes J.P.* A framework for fire departments' performance assessment: A systematic literature review // *International Journal of Public Sector Management*. – 2022. – V. 35. – No. 3. – P. 349-369. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJPSM-06-2021-0149>.

3. *Aleisa E.* The fire station location problem: A literature survey // *International journal of emergency management*. – 2018. – V. 14. – No. 3. – P. 291-302. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJEM.2018.094239>

4. *Matveev A.V.* Methods of modelling and forecasting. – St. Petersburg: St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2022. – 230 p. – ISBN 978-5-907116-73-3. – EDN IMLKWS.

5. *Bartenev A.N.* Analytical modelling of operational activity of the fire service // *Innovations and Investments*. – 2013. – No 6. – P. 150-153. – EDN TJXCFV.

6. *Brushlinskii N.N., Sokolov S.V., Grigorieva M.P.* About the organisation of the systems for ensuring the safety of cities // *Technosphere safety technologies*. – 2022. – No 3(97). – P. 84-99. – DOI: 10.25257/TTS.2022.3.97.84-99. – EDN ACHKKC.

7. *Brushlinsky N.N., Sokolov S.V.* Fundamentals of the theory of organization, functioning and management of emergency and rescue services: a monograph. – М.: Academy of the State Emergency Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia 2018. – 92 p.

8. *Shofeev T.G., Safarova S.Y., Matveev A.V.* Model and algorithm of optimal resource allocation of subdivisions of the Ministry of Emergency

Situations of Russia // *Scientific and analytical journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Fighting Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia"*. – 2023. – No 2. – P. 125-133. – EDN NBPXIL.

9. *Chen M. et al.* Emergency rescue capability evaluation on urban fire stations in China // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2020. – V. 135. – P. 59-69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.12.028>.

10. *Liu D. et al.* Regional evaluation of fire apparatus requirements for petrol stations based on travelling times // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2020. – V. 135. – P. 350-363. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.01.012>

11. *Komorovskiy V.S., Martinovich N.V., Yakimov V.A.* Simulation model of the fire brigade departure based on the analysis of the log of the communication point of the fire and rescue unit // *Natural and technogenic risks (physical, mathematical and applied aspects)*. – 2014. – No 4(12). – P. 5-9. – EDN WKVHHR.

12. *Sokolov S.V., Portnov D.A., Popkov S.Y.* Simulation model of the process of functioning of territorial volunteer fire brigades to assess the parameters of operational response // *Technosphere safety technologies*. – 2018. – No 6(82). – P. 22-31. – DOI: 10.25257/TTS.2018.6.82.22-31. – EDN YOQRIL.

13. *Sokolov S.V., Brushlinsky N.N., Pham K.H.* Development and adaptation of the simulation system of operational activities of fire departments to the conditions of Vietnam // *Fires and emergencies: prevention, elimination*. – 2021. – No 2. – P. 5-14. – DOI: 10.25257/FE.2021.2.5-14. – EDN HHZEPM.

14. *Vodakhova V.A., Maximov A.V., Matveev A.V.* Complex mathematical model of the process of management of forces and means of fire protection garrison // *Problems of risk management in technosphere*. – 2015. – No. 2(34). – P. 85-96. – EDN UGLUTN.

15. *Baev D.V., Akishin A.A., Eremina A.V.* Application of software modelling tools to determine the quantitative characteristics of sets of technical means used in rescue operations // *Civil Security Technologies*. – 2018. – V. 15, No 3(57). – P. 68-73.

– DOI: 10.54234/CST.19968493.2018.15.3.57.12.68. – EDN XYGWTJ.

16. *Krupkin A.A., Maximov A.V., Matveev A.V.* Methodology for assessing the effectiveness of management of forces and means of the fire protection garrison // Scientific and analytical journal “Bulletin of St. Petersburg University of the State Fire Fighting Service of the Ministry of Emergency Situations of

Russia”. – 2015. – No 4. – P.30-34. – EDN VHNSPZ.

17. GOST R 53247–2009. Fire equipment. Fire trucks. Classification, types and designations. National standard of the Russian Federation: official publication: approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated February 18, 2009 N 18-st.. – М.: Standartinform, 2017. –10 p.

*Статья поступила в редакцию 7 августа 2023 г.  
Принята к публикации 27 сентября 2023 г.*

**Ссылка для цитирования:** Иванов В.Е. Матвеев А.В. Управление ресурсами пожарных частей с использованием имитационного моделирования // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2023. № 3(43). С. 77-85. DOI: <https://doi.org/10.37468/2307-1400-2023-3-77-85>

**For citation:** Ivanov V.E., Matveev A.V. Fire stations resource management using simulation modelling // National security and strategic planning. 2023. № 3(43). pp. 77-85. DOI: <https://doi.org/10.37468/2307-1400-2023-3-77-85>

#### Сведения об авторах:

**ИВАНОВ ВИТАЛИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ** – кандидат технических наук, доцент кафедры механики, ремонта и деталей машин (в составе учебно-научного комплекса «Пожаротушение»), Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Иваново, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5700-2027>

SPIN-код: 8246-3584

e-mail: [vitaliyivanov@yandex.ru](mailto:vitaliyivanov@yandex.ru)

**МАТВЕЕВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной математики и информационных технологий, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева, г. Санкт-Петербург, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0778-3218>

SPIN-код: 5778-8832

e-mail: [fcvega\\_10@mail.ru](mailto:fcvega_10@mail.ru)

#### Information about authors:

**IVANOV VITALY E.** – Candidate of Technical Sciences, Associate professor of the department of mechanics, repair and machine parts (as part of the educational and scientific complex «Firefighting») Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Ivanovo, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5700-2027>

SPIN-код: 8246-3584

e-mail: [vitaliyivanov@yandex.ru](mailto:vitaliyivanov@yandex.ru)

**MATVEEV ALEXANDER V.** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the department of applied mathematics and information technologies, St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia named after Hero of the Russian Federation, Army General E.N. Zinichev, St. Petersburg, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0778-3218>

SPIN-код: 5778-8832

e-mail: [fcvega\\_10@mail.ru](mailto:fcvega_10@mail.ru)