

Аналитическая статья

УДК 681.5:614.84:004.056; DOI: 10.61260/2304-0130-2026-1-44-53

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ СЛУЖБ

✉ Ахунова Дарья Геннадьевна.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ shurakova.darya@bk.ru

Аннотация. Рассмотрен анализ критериев оценки оптимальности размещения подразделений аварийно-спасательных служб. Рассмотрены основные научные подходы, а именно: классические модели размещения, покрывающие и максимизирующие модели, модели с учётом выживаемости и устойчивости, многокритериальные и геопространственные методы. Для оценки оптимального размещения выделены ключевые критерии, такие как время реагирования, охват населения и инфраструктуры, экономически-финансовые затраты, надёжность, риск и уязвимость, социальные факторы. Проведён сравнительный анализ их сильных и слабых сторон. Подчеркивается важность нахождения баланса между оперативностью реагирования, затратами и социальной справедливостью, а также перспективы применения гибридных моделей, больших данных и искусственного интеллекта в планировании размещения аварийно-спасательных служб.

Ключевые слова: размещение аварийно-спасательных служб, время реагирования, охват населения, модели покрытия, экономические критерии, устойчивость системы, многокритериальный анализ, геоинформационные системы

Для цитирования: Ахунова Д.Г. Критерии оценки оптимальности размещения подразделений аварийно-спасательных служб // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2026. № 1 (57). С. 44-53. DOI: 10.61260/2304-0130-2026-1-44-53

Analytical article

CRITERIA FOR ASSESSING THE OPTIMAL PLACEMENT OF EMERGENCY RESCUE SERVICE UNITS

✉ Akhunova Daria G.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ shurakova.darya@bk.ru

Abstract. The article is devoted to the analysis of criteria for assessing the optimal placement of emergency rescue service units. The main scientific approaches are considered, namely: classical location models, covering and maximizing models, models considering survivability and resilience, multicriteria and geospatial methods. Key criteria for assessing optimal placement have been identified, such as response time, coverage of population and infrastructure, economic and financial costs, reliability, risk and vulnerability, and social factors. A comparative analysis of their strengths and weaknesses is carried out. The importance of finding a balance between response speed, costs, and social equity is emphasized, as well as the prospects for applying hybrid models, big data, and AI in emergency rescue service placement planning.

Keywords: emergency services deployment, response time, population coverage, coverage models, economic criteria, system resilience, multicriteria analysis, geographic information systems

For citation: Akhunova D.G. Criteria for assessing the optimal placement of emergency rescue service units // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2026. № 1 (57). P. 44–53. DOI: 10.61260/2307-7476-2026-1-44-53

Введение

Современные города существуют и развиваются в условиях высокой плотности населения, сложной инфраструктуры и роста числа техногенных и природных угроз. В этих условиях обеспечение безопасности населения и устойчивости функционирования городов и регионов приобретает ключевое значение. Одной из важнейших составляющих системы безопасности является деятельность аварийно-спасательных служб (АСС). Основная задача АСС заключается в оперативном реагировании на чрезвычайные ситуации (ЧС), а также минимизации их последствий и защите жизни и здоровья людей. Эффективность функционирования АСС напрямую зависит от того, насколько рационально (в пределе – оптимально), размещены ее подразделения на обслуживаемой территории.

Наличие современных технических средств и высококвалифицированного персонала, не гарантирует своевременного прибытия спасательных формирований к месту происшествия, что может привести к масштабным потерям. Таким образом, проблема оптимальности размещения подразделений АСС является одной из главных задач в сфере организации гражданской обороны, чрезвычайного реагирования и управления рисками.

Размещение подразделений АСС представляет собой задачу, имеющую стратегическое и тактическое значение. В условиях мегаполисов и крупных агломераций, где транспортная нагрузка, плотность населения и разнообразие объектов критической инфраструктуры создают особые риски, вопрос правильного выбора мест дислокации спасательных формирований приобретает особую значимость. К числу факторов, определяющих актуальность проблемы, относятся:

1. Рост числа ЧС. Современные статистические данные свидетельствуют о росте числа техногенных аварий, пожаров, дорожно-транспортных происшествий, затоплений и иных ЧС. Каждое такое событие требует быстрых и скоординированных действий АСС.

2. Ограниченность ресурсов. Подразделения АСС располагают ограниченными людскими и материальными ресурсами. Увеличение количества подразделений требует значительных финансовых затрат, поэтому необходимо находить баланс между количеством формирований и их территориальным распределением.

3. Неоднородность городской и региональной среды. В пределах одного города могут существовать районы с различной плотностью населения, уровнем транспортной доступности, типами застройки и уровнями риска. Это делает задачу оптимального размещения подразделений многокритериальной и комплексной.

4. Развитие технологий моделирования и анализа данных. В настоящее время, помимо математической оптимизации широкое распространение получают геоинформационные системы (ГИС), методы имитационного моделирования и искусственного интеллекта. Эти инструменты открывают новые возможности для поиска оптимальных решений, но требуют корректного выбора критериев оценки.

Именно поэтому вопрос о том, какие критерии должны использоваться для оценки эффективности размещения подразделений АСС, приобретает фундаментальное значение. От правильного выбора критериев зависит не только точность модели, но и практическая применимость её результатов для органов управления и планирования.

Проблемы критериального анализа

Классическая постановка задачи оптимального размещения подразделений АСС предполагает выбор таких мест дислокации, которые обеспечат минимальное время прибытия подразделений к возможным объектам возникновения ЧС. Минимизация времени реагирования, безусловно, является основным критерием, но в процессе размещения подразделений следует учитывать и другие, такие как: равномерность покрытия территории, уровень риска возникновения ЧС в отдельных районах, плотность населения и концентрация объектов критической инфраструктуры, экономические и организационные затраты

на содержание подразделений, доступность транспортных маршрутов и устойчивость транспортной сети к перегрузкам, возможность масштабирования сети подразделений в случае роста потребностей, ведь в реальных условиях одного критерия оказывается недостаточно.

Кроме того, существенным является вопрос разнородности критериев. Часть из них носит количественный характер (например, среднее время прибытия), другая часть может быть выражена в качественных или экспертных оценках (например, степень удовлетворённости населения уровнем защиты). Эти данные могут иметь разные формы представления: дискретные, непрерывные или лингвистические. Таким образом, задача оптимального размещения подразделений АСС является многокритериальной, многомерной и междисциплинарной. Для её решения требуется интеграция методов математического моделирования, системного анализа и практического опыта эксплуатации АСС.

Рассматривая проблему более глубоко, можно выделить ряд методологических трудностей. Во-первых, это конфликт целей. Минимизация времени реагирования требует увеличения числа подразделений и их равномерного распределения, в то время как минимизация затрат предполагает ограничение количества точек размещения. Во-вторых, неопределённость исходных данных. Трудно предсказать, где и когда ЧС, поэтому работа с вероятностными моделями и сценариями становится обязательной частью анализа. В-третьих, изменчивость внешней среды. Городская инфраструктура постоянно развивается: строятся новые жилые комплексы, изменяются транспортные потоки, появляются новые риски. Это означает, что модели размещения подразделений должны быть адаптивными. В-четвертых, разнородность критериев и их весов. Некоторые критерии могут иметь решающее значение (например, время прибытия), тогда как другие играют вспомогательную роль (например, эстетическая интеграция подразделения в архитектуру района). Определение весов критериев требует применения специальных методов – от экспертных оценок до формализованных процедур многокритериального анализа. В-пятых, социальный и политический контекст. Решения о размещении подразделений АСС не являются исключительно техническими, они затрагивают интересы местных сообществ, органов власти и бизнеса. Следовательно, к критериям должны добавляться показатели социального восприятия и легитимности решений.

Роль оптимизации размещения ограниченных аварийно-спасательных ресурсов в системах обеспечения безопасности

Задача оптимизации, порожденная ограниченными ресурсами, под которыми в контексте статьи понимаются подразделения АСС, имеет прямое влияние на устойчивость функционирования всей системы безопасности и позволяет сократить время прибытия подразделений на место происшествия и тем самым снизить масштаб ущерба. Также позволяет повысить эффективность использования ресурсов (человеческих, технических и финансовых), обеспечить справедливое распределение уровня защиты населения по территории города или региона, повысить доверие общества к государственным и муниципальным службам. Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что критерии оценки оптимальности размещения подразделений АСС являются не просто инструментом математического моделирования, а ключевым фактором формирования стратегий безопасности на всех уровнях управления.

Прежде чем приступить к аналитическому обзору, рассмотрим классические подходы к размещению подразделений. Проблема оптимального размещения объектов безопасности и обслуживания населения имеет богатую историю и относится к задачам логистики и сетевой оптимизации. Первоначально она рассматривалась в контексте размещения пожарных депо и медицинских учреждений. Основными классическими моделями являются [1, 2]:

–Модель минимизации расстояний (p-median problem).

Ее целью является минимизация суммарного расстояния или времени доставки от подразделений до объектов. Слабые стороны модели состоят в игнорировании ограничений ресурсов и изменчивости ситуации.

–Модель покрытия (set covering problem).

Цель данной модели трактуется как обеспечение покрытия максимальной территории подразделениями при ограниченном количестве дислокаций. Ее недостаток в том, что фокусируется только на бинарном критерии (обслуживается/не обслуживается).

–Модель максимального покрытия (maximal covering location problem).

Цель модели заключается в том, что при фиксированном числе подразделений максимизировать число объектов (населённых пунктов, зон), находящихся в пределах нормативного времени реагирования. В основном применялась для планирования размещения пожарных частей и станций скорой помощи.

Эти подходы заложили основу для более сложных моделей, включающих многокритериальные показатели. Однако их применение во многом определяется критериями оптимальности размещения подразделений АСС.

Обзор релевантных работ

Анализ научной литературы позволяет выявить ключевые группы критериев, эволюция которых демонстрирует переход от простых детерминистических моделей к комплексным подходам, учитывающим динамику городской среды, факторы риска и социальные аспекты. В данном разделе систематизируются релевантные работы, посвящённые оценке эффективности размещения служб быстрого реагирования.

1. Время реагирования как ключевой критерий.

Большинство исследований сходится во мнении, что среднее или максимальное время прибытия подразделений к месту происшествия является основным критерием эффективности размещения. В работах по пожарной безопасности [3] время реагирования используется как главный параметр при построении моделей покрытия. В исследованиях [4, 5] учитываются пробочные ситуации, что делает расчёт времени реагирования более сложным. Для крупных мегаполисов важна также дисперсия времени прибытия – она показывает не только среднее значение, но и стабильность работы системы. В исследовании [6] показано влияние времени реагирования АСС на показатели смертности при дорожно-транспортных происшествиях.

2. Критерии охвата и доступности.

Эффективность размещения подразделений измеряется также через процент населения или территории, находящихся в пределах нормативного времени реагирования. В исследовании [7] предложена модель MCLP (Maximum Coverage Location Problem), где при ограниченном числе объектов стремятся охватить максимальное количество жителей. В работе [8] учитываются не только жилые кварталы, но и критическая инфраструктура: школы, больницы, энергетические узлы. Таким образом, критерий охвата тесно связан с вопросами социальной справедливости и равномерности защиты населения [9].

3. Экономические и организационные критерии.

Важным направлением является учёт затрат на строительство, эксплуатацию и содержание подразделений. В моделях [10] предлагается минимизировать не только время реагирования, но и совокупные издержки (капитальные и текущие). Экономический аспект усиливается в условиях ограниченных финансовых ресурсов: выбор между оптимальным временем реагирования и минимальными затратами становится оптимизационной задачей.

В исследованиях [11–13] рассматривается влияние выделенных финансовых средств по программам технического обеспечения и оснащения АСС на показатели готовности аварийно-спасательных средств к реагированию на ЧС и иные происшествия.

4. Надёжность и устойчивость системы.

В последние годы особое внимание уделяется критериям устойчивости и надёжности работы сети подразделений. Рассматривается способность системы сохранять работоспособность при отказе части подразделений (например, в случае масштабной ЧС) [14, 15]. Вводятся критерии избыточности и резервирования: возможность перекрытия зон обслуживания соседними подразделениями. Исследование [16] подчеркивает важность оценки робастности решений – сохранение эффективности при изменении входных данных (транспортная ситуация, плотность населения).

В работах [17–19] значения коэффициентов готовности АСС к реагированию на пожары и ЧС рассматриваются в качестве показателей эффективности управления силами и средствами гарнизона пожарной охраны, на основе этого решается задача обоснования количественного состава подразделений пожарной охраны. В исследовании [20] данная задача решается с использованием имитационного моделирования.

5. Критерии риска и уязвимости территории.

В ряде исследований ключевым становится не столько равномерность покрытия, сколько приоритетное обслуживание территорий с повышенными рисками. Так, например, в работе [21] предлагается учитывать карты уязвимости, где риски ЧС определяются по плотности населения, промышленным объектам, транспортным узлам. В исследованиях на основе GIS-моделирования (например, [22]) размещение подразделений оптимизируется с учётом пространственного распределения рисков.

Таким образом, критерии риска и уязвимости позволяют учитывать неравномерность угроз на территории.

6. Социальные и качественные критерии.

Современные исследования всё чаще включают социальные факторы, такие как: уровень удовлетворённости населения доступностью служб, восприятие справедливости размещения подразделений, соответствие планов развития города [23, 24].

Эти критерии часто выражаются в лингвистической форме («высокая доступность», «низкий уровень риска») и требуют применения методов нечеткой логики.

7. Интеграция методов.

В современных исследованиях всё чаще используются гибридные модели, сочетающие: классические задачи оптимизации (p-median, covering problem), многокритериальные методы (АНР, TOPSIS, ELECTRE), имитационное моделирование и агентные модели, GIS-технологии и пространственный анализ [25, 26].

Например, в работах последних лет применяется Fuzzy-АНР для определения весов критериев, после чего с помощью TOPSIS проводится ранжирование возможных вариантов размещения подразделений [27].

Как показывает анализ релевантных исследований, современная научная мысль предлагает широкий спектр подходов к оценке размещения АСС. Для систематизации этого многообразия и выявления ключевых ориентиров для постановки задачи оптимального размещения представляется целесообразным свести основные выявленные критерии в обобщающую структуру. Такой синтез позволяет наглядно представить их содержание, взаимосвязи и примеры применения в научной литературе, что, и отражено в табл.

Заключение

Проведенное исследование показало, что проблема оптимального размещения подразделений аварийно-спасательных служб носит многокритериальный характер и не может быть решена исключительно с позиции одного показателя, будь то минимизация времени прибытия или же снижение затрат. Анализ научных подходов и практических решений выявил широкий спектр критериев, применяемых для оценки эффективности размещения: временные показатели, характеризующие среднее и максимальное время

реагирования; пространственные критерии, связанные с охватом населения и критически важных объектов; экономические параметры, включающие как капитальные, так и эксплуатационные издержки; показатели надежности и устойчивости, учитывающие способность системы функционировать при отказах и перегрузках, а также социальные факторы, отражающие восприятие населением справедливости и доступности аварийно-спасательных служб.

Таблица

Критерии оптимальности размещения АСС

Критерий	Содержание	Примеры исследований
Время реагирования	Среднее и максимальное время прибытия к месту вызова	[3–6]
Охват населения и территории	Доля населения в пределах нормативного времени	[7–9]
Экономические затраты	Стоимость строительства и эксплуатации подразделений	[10–13]
Устойчивость и надежность системы	Резервирование и перекрытие зон обслуживания	[14–20]
Уровень риска и уязвимости	Приоритетное покрытие опасных зон	[21, 22]
Социальные факторы	Удовлетворенность населения, восприятие справедливости	[23, 24]
Интеграция методов	Сочетание многокритериальных и GIS-моделей	[25–27]

Сильной стороной современных исследований является их стремление к интеграции пространственного анализа, методов оптимизации и геоинформационных технологий, что позволяет учитывать реальные особенности урбанизированных территорий. Вместе с тем, выявлены и слабые стороны, прежде всего связанные с ограниченностью исходных данных, трудностью учета динамики городской среды и противоречивостью самих целей: минимизация затрат зачастую вступает в конфликт с задачей максимального сокращения времени реагирования, а обеспечение равномерного охвата – с приоритетным обслуживанием зон повышенного риска.

Сравнительный анализ существующих подходов демонстрирует, что перспективным направлением является интеграция многокритериальных методов принятия решений с инструментами больших данных и искусственного интеллекта. Такой синтез позволит повысить точность прогнозирования сценариев ЧС, динамики транспортных потоков и изменяющейся демографической структуры. Дополнительно следует подчеркнуть необходимость учета социальных факторов, так как эффективность работы аварийно-спасательных служб определяется не только объективными показателями, но и субъективным доверием со стороны населения.

В целом можно утверждать, что оптимальное размещение подразделений АСС должно рассматриваться как задача поиска баланса между скоростью реагирования, охватом территории, затратами и устойчивостью системы. Решение этой задачи требует комплексного подхода, в котором традиционные методы оптимизации сочетаются

с современными информационными технологиями, а также учитывается социальное измерение безопасности. Такой многогранный взгляд позволяет не только повысить эффективность работы аварийно-спасательных служб, но и существенно снизить социальные и экономические последствия ЧС.

Таким образом, выбор правильных (т.е. научно-обоснованных и практически-ориентированных) критериев оценки оптимального размещения подразделений аварийно-спасательных служб является крайне важным этапом решения данной задачи.

Список источников

1. Karatas M., Razi N., Tozan H. A comparison of p-median and maximal coverage location models with q-coverage requirement // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 149. P. 169–176.
2. Daskin M.S. Aggregation effects in maximum covering models // *Annals of Operations Research*. 1989. Vol. 18. №. 1. P. 113–139.
3. Church R., Velle C.R. The maximal covering location problem // *Papers in regional science*. 1974. Vol. 32. №. 1. P. 101–118.
4. Kolesar P., Walker W.E. An algorithm for the dynamic relocation of fire companies // *Operations research*. 1974. Vol. 22. №. 2. P. 249–274.
5. Corrigan W.A. Travel time estimation for emergency medical vehicles with applications to location models. University of California, Santa Barbara, 2005.
6. Воднев С.А., Матвеев А.В. Оценка эффективности реагирования аварийно-спасательных служб на чрезвычайные ситуации на транспорте // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2019. № 2(50). С. 110–117.
7. Daskin M.S. A maximum expected covering location model: formulation, properties and heuristic solution // *Transportation science*. 1983. Vol. 17. №. 1. P. 48–70.
8. Fiedrich F., Burghardt P. Agent-based systems for disaster management // *Communications of the ACM*. 2007. Vol. 50. №. 3. P. 41–42.
9. Jia H., Ordóñez F., Dessouky M. A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies // *IEE transactions*. 2007. Vol. 39. №. 1. P. 41–55.
10. Ingolfsson A., Budge S., Erkut E. Optimal ambulance location with random delays and travel times // *Health care management science*. 2008. Vol. 11. №. 3. P. 262–274.
11. Воднев С.А., Максимов А.В., Матвеев А.В. Модель комплексной оценки процесса технического обеспечения аварийно-спасательных средств подразделений МЧС России // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2018. № 2(46). С. 73–80. EDN YLLCZN.
12. Воднев С.А., Матвеев А.В. Многокритериальная система оценки эффективности управления техническим обеспечением аварийно-спасательных служб // *Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России»*. 2018. № 3. С. 72–80.
13. Воднев С.А., Максимов А.В., Матвеев А.В. Методика выбора оптимального варианта программы технического обеспечения аварийно-спасательных служб в интересах повышения их готовности к ликвидации ЧС на транспорте // *Техносферная безопасность*. 2018. № 3(20). С. 92–99.
14. Blanco V., Gázquez R. Continuous maximal covering location problems with interconnected facilities // *Computers & Operations Research*. 2021. Vol. 132. P. 105310.
15. Marianov V., ReVelle C. The capacitated standard response fire protection siting problem: deterministic and probabilistic models // *Annals of Operations Research*. 1992. Vol. 40. №. 1. P. 303–322. DOI <https://doi.org/10.1007/BF02060484>
16. Murray-Tuite P.M., Mahmassani H.S. Methodology for determining vulnerable links in a transportation network // *Transportation Research Record*. 2004. Vol. 1882. №. 1. P. 88–96.
17. 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.

18. 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.

19. Крупкин А.А., Максимов А.В., Матвеев А.В. Программное обеспечение системы поддержки принятия решений по управлению силами и средствами гарнизона пожарной охраны // Проблемы управления рисками в техносфере. 2015. № 4(36). С. 75–81.

20. 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.

21. Fiedrich F. An HLA-based multiagent system for optimized resource allocation after strong earthquakes // Proceedings of the 2006 winter simulation conference. IEEE, 2006. P. 486–492.

22. Zhao M., Chen Q. Risk-based optimization of emergency rescue facilities locations for large-scale environmental accidents to improve urban public safety // Natural Hazards. 2015. Vol. 75. №. 1. P. 163–189.

23. Kelly J.M., Swindell D. Service quality variation across urban space: First steps toward a model of citizen satisfaction // Journal of urban affairs. 2002. Vol. 24. №. 3. P. 271–288.

24. Erkut E., Ingolfsson A., Erdoğan G. Ambulance location for maximum survival // Naval Research Logistics (NRL). 2008. Vol. 55. №. 1. P. 42–58.

25. Liu K. GIS-based MCDM framework combined with coupled multi-hazard assessment for site selection of post-earthquake emergency medical service facilities in Wenchuan, China // International Journal of Disaster Risk Reduction. 2022. V. 73. P. 102873.

26. Emergency logistics centers site selection by multi-criteria decision-making and GIS / Feng Z. [et al.] // International journal of disaster risk reduction. 2023. Vol. 96. P. 103921.

27. Arana-Jiménez M., Blanco V., Fernández E. On the fuzzy maximal covering location problem // European Journal of Operational Research. 2020. Vol. 283. №. 2. P. 692–705.

References

1. Karatas M., Razi N., Tozan H. A comparison of p-median and maximal coverage location models with q-coverage requirement // Procedia Engineering. 2016. Vol. 149. P. 169–176.

2. Daskin M.S. Aggregation effects in maximum covering models // Annals of Operations Research. 1989. Vol. 18. №. 1. P. 113–139.

3. Church R., Velle C.R. The maximal covering location problem // Papers in regional science. 1974. Vol. 32. №. 1. P. 101–118.

4. Kolesar P., Walker W.E. An algorithm for the dynamic relocation of fire companies // Operations research. 1974. Vol. 22. №. 2. P. 249–274.

5. Corrigan W.A. Travel time estimation for emergency medical vehicles with applications to location models. University of California, Santa Barbara, 2005.

6. Vodnev S.A., Matveev A.V. Ocenka effektivnosti reagirovaniya avarijno-spasatel'nyh sluzhb na chrezvychajnye situacii na transporte // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2019. № 2(50). P. 110–117.

7. Daskin M.S. A maximum expected covering location model: formulation, properties and heuristic solution // Transportation science. 1983. Vol. 17. №. 1. P. 48–70.

8. Fiedrich F., Burghardt P. Agent-based systems for disaster management // Communications of the ACM. 2007. Vol. 50. №. 3. P. 41–42.

9. Jia H., Ordóñez F., Dessouky M. A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies // IIE transactions. 2007. Vol. 39. №. 1. P. 41–55.

10. Ingolfsson A., Budge S., Erkut E. Optimal ambulance location with random delays and travel times // Health care management science. 2008. Vol. 11. №. 3. P. 262–274.

11. Vodnev S.A., Maksimov A.V., Matveev A.V. Model' kompleksnoj ocenki processa tekhnicheskogo obespecheniya avarijno-spasatel'nyh sredstv podrazdelenij MCHS Rossii // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2018. № 2(46). S. 73–80. EDN YLLCZN.
12. Vodnev S.A., Matveev A.V. Mnogokriterial'naya sistema ocenki effektivnosti upravleniya tekhnicheskimi obespecheniem avarijno-spasatel'nyh sluzhb // Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossiï». 2018. № 3. P. 72–80.
13. Vodnev S.A., Maksimov A.V., Matveev A.V. Metodika vybora optimal'nogo varianta programmy tekhnicheskogo obespecheniya avarijno-spasatel'nyh sluzhb v interesah povysheniya ih gotovnosti k likvidacii CHS na transporte // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2018. № 3(20). S. 92–99.
14. Blanco V., Gázquez R. Continuous maximal covering location problems with interconnected facilities // Computers & Operations Research. 2021. Vol. 132. P. 105310.
15. Marianov V., ReVelle C. The capacitated standard response fire protection siting problem: deterministic and probabilistic models // Annals of Operations Research. 1992. Vol. 40. № 1. P. 303–322. DOI <https://doi.org/10.1007/BF02060484>
16. Murray-Tuite P.M., Mahmassani H.S. Methodology for determining vulnerable links in a transportation network // Transportation Research Record. 2004. Vol. 1882. № 1. P. 88–96.
17. Vodahova V.A., Maksimov A.V., Matveev A.V. Kompleksnaya matematicheskaya model' processa upravleniya silami i sredstvami garnizona pozharnoj ohrany // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2015. № 2(34). S. 85–96.
18. Krupkin A.A., Maksimov A.V., Matveev A.V. Metodika ocenki effektivnosti upravleniya silami i sredstvami garnizona pozharnoj ohrany // Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossiï». 2015. № 4. S. 30–34.
19. Krupkin A.A., Maksimov A.V., Matveev A.V. Programmnoe obespechenie sistemy podderzhki prinyatiya reshenij po upravleniyu silami i sredstvami garnizona pozharnoj ohrany // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2015. № 4(36). P. 75–81.
20. Ivanov V.E., Matveev A.V. Upravlenie resursami pozharnyh chastej s ispol'zovaniem imitacionnogo modelirovaniya // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2023. № 3(43). P. 77–85.
21. Fiedrich F. An HLA-based multiagent system for optimized resource allocation after strong earthquakes // Proceedings of the 2006 winter simulation conference. IEEE, 2006. P. 486–492.
22. Zhao M., Chen Q. Risk-based optimization of emergency rescue facilities locations for large-scale environmental accidents to improve urban public safety // Natural Hazards. 2015. Vol. 75. № 1. P. 163–189.
23. Kelly J.M., Swindell D. Service quality variation across urban space: First steps toward a model of citizen satisfaction // Journal of urban affairs. 2002. Vol. 24. № 3. P. 271–288.
24. Erkut E., Ingolfsson A., Erdoğan G. Ambulance location for maximum survival // Naval Research Logistics (NRL). 2008. Vol. 55. № 1. P. 42–58.
25. Liu K. GIS-based MCDM framework combined with coupled multi-hazard assessment for site selection of post-earthquake emergency medical service facilities in Wenchuan, China // International Journal of Disaster Risk Reduction. 2022. V. 73. P. 102873.
26. Emergency logistics centers site selection by multi-criteria decision-making and GIS / Feng Z. [et al.] // International journal of disaster risk reduction. 2023. Vol. 96. P. 103921.
27. Arana-Jiménez M., Blanco V., Fernández E. On the fuzzy maximal covering location problem // European Journal of Operational Research. 2020. Vol. 283. № 2. P. 692–705.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 5.11.2025; одобрена после рецензирования: 20.01.2026;
принята к публикации: 27.01.2026

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 5.11.2025; approved after review: 20.01.2026;
accepted for publication: 27.01.2026

Сведения об авторах:

Ахунова Дарья Геннадьевна, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: shurakova.darya@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0009-3361-3464>, SPIN-код: 4802-3758

Information about the authors:

Akhunova Daria G., adjunct of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovskiy ave., 149), e-mail: shurakova.darya@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0009-3361-3464>, SPIN: 4802-3758