

УДК 614.842.86

DOI: <https://doi.org/10.37657/vniipo.avpb.2024.72.12.005>

EDN: <https://elibrary.ru/lspfbe>

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СИЛ И СРЕДСТВ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ В ОРГАНИЗАЦИЯХ

Андрей Александрович Кондашов, Евгений Сергеевич Трещин

Всероссийский ордена “Знак Почета” научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России), г. Балашиха, Московская область, Россия.

Аннотация. Целью исследования является создание системы показателей, которая позволит улучшить управление пожарными подразделениями, минимизировать риски для персонала и имущества и обеспечить оперативное реагирование на чрезвычайные ситуации.

В статье проводится анализ существующих методов и моделей, используемых для оптимизации деятельности пожарных подразделений. Уделяется особое внимание математическому моделированию, которое позволяет учитывать тип объекта, плотность застройки, доступность водных источников и другие факторы, и на основе этого анализа разрабатываются показатели, которые учитывают экономическую целесообразность, оперативность и безопасность при управлении пожарными силами.

Предложенная система показателей затрагивает основные принципы пожарной безопасности, в том числе оценку уровня риска для персонала, оперативность реагирования, эффективность используемых технологий и устойчивость системы к чрезвычайным ситуациям. Среди главных показателей выделяются «время реакции», «уровень подготовки и квалификации персонала», «доступность материальных ресурсов» и «использование инновационных технологий».

Разработанная система универсальна, ее применение возможно как на промышленных объектах, так и на гражданских.

Ключевые слова: оптимизация пожарной охраны, пожарная безопасность, математическое моделирование, показатели эффективности, оперативность реагирования, управление ресурсами, защита персонала, автоматизация управления

Для цитирования: Кондашов А.А., Трещин Е.С. Разработка системы показателей для оптимизации сил и средств пожарной охраны в организациях // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2024. № 4 (22). С. 38–44. DOI 10.37657/vniipo.avpb.2024.72.12.005. EDN LSPFBE.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF INDICATORS FOR OPTIMIZING FIRE SERVICE CAPABILITIES IN ORGANIZATIONS

Andrey A. Kondashov, Evgeny S. Treshchin

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPPO), the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.

Abstract. The aim of the study is to create a system of indicators that will improve the management of fire departments, minimize risks to personnel and property and ensure prompt response to emergencies.

The article analyzes the existing methods and models used to optimize the activities of fire departments. The special attention is paid to mathematical modeling, which allows taking into account the type of object, building density, availability of water sources and other factors. Based on this analysis there are developed indicators taking into account economic feasibility, efficiency and safety in the management of fire forces.

The proposed system of indicators addresses the basic principles of fire safety, including assessment of the level of risk to personnel, responsiveness, effectiveness of the technologies used and the system resilience to emergency situations. Among the main indicators there are «reaction time», «level of training and qualification of personnel», «availability of material resources» and «use of innovative technologies».

The developed system is universal, its application is possible both at industrial and civil facilities.

Keywords: fire service optimization, fire safety, mathematical modeling, performance indicators, responsiveness, resource management, personnel protection, management automation

For citation: Kondashov A.A., Treshchin E.S. Development of a system of indicators for optimizing fire service capabilities in organizations. Aktual'nye voprosy pozharnoi bezopasnosti – Current Fire Safety Issues, 2024, no. 4, pp. 38-44. (In Russ.). DOI 10.37657/vniipo.avpb.2024.72.12.005. EDN LSPFBE.

Введение

Вопросы обеспечения пожарной безопасности в организациях остаются чрезвычайно актуальными в современных условиях. В связи с расширением масштабов промышленных производств и увеличением сложности инфраструктурных объектов возникает потребность в оптимизации сил и средств пожарной охраны как главного фактора минимизации ущерба и предотвращения человеческих жертв в случае пожара.

Цель данной статьи заключается в разработке системы показателей, которая позволит усовершенствовать управление силами и средствами пожарной охраны. Для достижения этой цели в ходе исследования были определены следующие задачи:

1. Провести анализ существующих методов и моделей, используемых для оптимизации пожарных подразделений.
2. Разработать показатели, учитывающие экономическую целесообразность, оперативность и безопасность в процессе управления пожарными силами.
3. Оценить возможность интеграции предложенных показателей в практику пожарной охраны.

Проблема оптимизации сил и средств пожарной охраны связана с необходимостью учета множества переменных, таких как тип объекта, плотность застройки, наличие водных источников, и других факторов, которые требуют научного анализа и разработки математических моделей. Данный подход позволяет оценить и спрогнозировать эффективность распределения ресурсов, однако на практике недостаточно проработан вопрос интеграции различных элементов пожарной безопасности в единую оптимизированную систему, что и составляет основу предложенной в статье системы показателей.

Теоретические основы оптимизации сил и средств пожарной охраны

Оптимизация сил и средств пожарной охраны рассматривается сквозь призму нескольких принципов: обеспечение минимальных затрат, максимизация продуктивности пожаротушения и обеспечение безопасности персонала, математическое моделирование, которое позволяет учитывать разнообразные переменные и сценарии развития пожара. В работах О.И. Степанова и А.Н. Денисова подробно описаны методы и модели поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями, которые способны применяться для решения задач оптимизации сил и средств; авторы выделяют интеграцию разнообразных алгоритмов и математических моделей для оценки продуктивности распределения ресурсов в реальном времени [1].

В настоящее время математическое моделирование находится на первом плане в теории оптимизации. Доктор технических наук А.С. Смирнов разработал модели, которые учитывают своеобразные условия городских территорий при тушении пожаров; в них прогнозируется развитие пожара и оценивается, какое количество ресурсов потребуется в зависимости от различных факторов (плотность застройки и доступность водных источников) [2].

Другой пример – математическое моделирование процессов тушения пожаров в резервуарных парках для построения моделей, которые будут учитывать особенности различных типов пожаров и их динамику в условиях ограниченности ресурсов, чтобы прогнозировать потребность в силах и средствах, изменение их распределения в зависимости от конкретных условий (ветер, температура, плотность застройки и т. д.) [3].

Используемые для оптимизации алгоритмы основаны на таких подходах, как стохастические методы, теории игр и методы линейного программирования. Стохастические модели, к примеру, используются для учета неопределенностей и вероятностных характеристик развития пожара, особенно при планировании ресурсов на основе неполных или неточных доступных данных. Такие подходы были предложены и в исследованиях А.Н. Денисова, где алгоритмы решения задач управления и принятия решений при тушении пожаров включают: принятие управленческого решения; упорядочение частных управленческих решений; решение управленческой задачи оптимизации структуры сил и средств; поддержку принятия управленческого решения о достаточности сил и средств для локализации пожара [4].

Существуют также алгоритмы адаптивного управления, которые применяются в ситуациях оперативного реагирования на изменение параметров пожара. Так, С.В. Гудин предложил алгоритмы, учитывающие специфику нефтегазовых объектов, на территории которых пожары могут принимать катастрофические масштабы. Предложенные экспертом алгоритмы позволяют в полной мере корректировать действия подразделений в зависимости от текущего положения [5].

Применение разработанных моделей и алгоритмов на практике доказывает их эффективность, например, при тушении пожаров на объектах нефтепереработки, где главным принципом является не только согласованность действий, но и оперативное распределения сил и средств в ответ на изменение ситуации. В связи с этим использование специальных алгоритмов, которые учитывают особенности таких объектов, позволяет снизить риск распространения пожара и минимизировать ущерб.

Главными инструментами в теоретическом аппарате являются алгоритмы, позволяющие автоматизировать процесс принятия решений, так как они способны охватывать как детерминированные, так и стохастические методы, чтобы учитывать неопределенность и вариативность в условиях пожара. В связи с этим основополагающими принципами при разработке системы показателей для оптимизации являются:

- 1) экономичность – минимизация затрат при сохранении высокого уровня продуктивности;
- 2) оперативность – умение системы быстро подстраиваться под условия пожара;
- 3) безопасность – обеспечение защиты как пожарных, так и гражданского населения [6].

Отсюда следует, что процесс оптимизации обязан состоять из анализа рисков и прогнозирования возможных сценариев развития пожаров, чтобы точно распределить силы и средства организации для их эффективного использования.

Данный подход к оптимизации системы подразумевает объединение всех элементов ПБ в единый механизм, где все элементы (отдельные подразделения, материально-технические ресурсы, информационные системы) взаимодействуют друг с другом для достижения общей цели: повышение продуктивности системы пожарной безопасности и улучшение результатов тушения пожаров.

Результаты

В рамках разработки системы показателей для оптимизации сил и средств пожарной охраны в организациях важно учитывать комплексный подход, который обеспечивает не только эффективность действий, но и безопасность, а также экономическую целесообразность использования ресурсов. Представленная ниже система показателей предлагает всестороннюю оценку ключевых аспектов, влияющих на успешное управление пожарной охраной. В таблице перечислены показатели, направленные на минимизацию рисков для персонала, оперативность реагирования, эффективность используемых технологий и ресурсов, а также устойчивость системы к возможным чрезвычайным ситуациям.

Ниже представлено детальное описание и область применения каждого из показателей, которые могут быть использованы как базис для оценки текущих систем пожарной охраны и разработки улучшений, направленных на повышение их эффективности и надежности (см. таблицу).

Система показателей оптимизации

Показатели безопасности	Уровень риска для персонала	Оценивает потенциальные угрозы для здоровья и жизни пожарных при выполнении заданий, и этот уровень обязан быть сведен к минимуму посредством использования защитного оборудования и строгого соблюдения стандартов безопасности
	Потенциальный ущерб для объектов	Состоит из оценки возможного вреда материальным ценностям и инфраструктуре, при этом системы пожарной охраны должны быть нацелены на предотвращение максимального ущерба, особенно в ключевых зонах
	Способность предотвращения распространения пожара	Оценивает результативность средств пожаротушения в ограничении огня с целью минимизации риска вторичных пожаров и угрозы смежным объектам

Показатели оперативности	Время реакции	Оптимизация, которая должна учитывать минимальное время от получения сигнала до начала тушения, поскольку снижение времени реакции влияет на возможность минимизации ущерба и сокращение количества жертв
	Гибкость системы управления	Подразумевает умение системы подстраиваться под условия места пожара, учитывать изменения направлений огня, погодные условия и доступность ресурсов
	Координация действий	Оценивает способность взаимодействия подразделений и служб, участвующих в ликвидации пожара, чтобы оптимально распределять ресурсы и быстро реагировать на изменения ситуации
Показатели эффективности	Результативность тушения	Оценка количества и качества средств пожаротушения, которые необходимы для ликвидации пожара, в зависимости от его масштаба и типа, в том числе использование воды, пены, химических средств и специальных технологий
	Экономическая эффективность	Затраты на тушение пожара в сравнении с предотвращенным ущербом, который требует оптимального соотношения между затратами на тушение и минимизацией ущерба
	Использование инновационных технологий	Связано с внедрением современных технологий и оборудования, повышающих результативность тушения, таких как автоматические системы пожаротушения, дроны для мониторинга и тактические решения с применением ИИ
Показатели ресурсной обеспеченности	Доступность материальных ресурсов	Наличие и готовность необходимого оборудования, техники и материалов для выполнения задач (логистика и складские запасы)
	Подготовка и квалификация персонала	Умение пожарных эффективно использовать имеющиеся ресурсы
	Уровень взаимодействия с другими службами	Способность пожарных подразделений взаимодействовать с медицинскими, полицейскими и другими экстренными службами для обеспечения комплексной безопасности
Показатели устойчивости системы	Надежность оборудования	Оценка безотказной работы техники в условиях повышенных нагрузок, в том числе оценка технического состояния и срока службы используемого оборудования
	Способность к восстановлению после ЧС	Оценка готовности системы быстро восстанавливать свои функции после чрезвычайных ситуаций, например, через анализ наличия резервов и возможности быстрой замены поврежденного оборудования
	Эффективность профилактических мер	Оценка работы систем предотвращения пожаров и предупреждения ЧС (чем выше уровень профилактики, тем меньше вероятность возникновения крупных пожаров)

Обсуждение результатов

Одним из основных этапов применения системы показателей является регулярная оценка готовности пожарных подразделений к оперативному реагированию, используя такие показатели, как «время реакции», «уровень подготовки и квалификации персонала» и «доступность материальных ресурсов», можно провести аудит текущего состояния подразделений. Например, в процессе проведения аудита выявляется, что время реакции на вызов в определенном подразделении превышает нормативные показатели, и применение показателя «время реакции» позволяет детально проанализировать, на каком этапе происходит за-

держка – при передаче сигнала, выезде подразделения или развертывании на месте пожара. Данный факт ведет к принятию решений по улучшению коммуникаций, оптимизации логистики или дооснащению техники.

Далее, в крупной организации проводится оценка рисков на различных производственных объектах, и на основе показателей «потенциальный ущерб объектам» и «способность предотвращения распространения пожара» принимается решение об увеличении количества средств пожаротушения на объекте с высоким риском пожара, например, в химическом цехе, и снижении – на объекте с меньшим уровнем опасности.

Следующим приоритетом является обеспечение безопасности пожарных, и тогда применение показателя «уровень риска для персонала» позволяет разработать меры по минимизации опасностей, с которыми пожарные сталкиваются в ходе выполнения своих обязанностей. Например, при анализе риска на нефтехимическом предприятии устанавливается, что при тушении пожара вблизи резервуаров с горючими жидкостями существует высокий риск взрыва. В таком случае применение данного показателя обеспечивает использование дополнительного защитного оборудования и усиленной подготовки персонала для работы в подобных условиях.

Анализ показателя «уровень взаимодействия с другими службами» позволяет оценить и улучшить координацию работы пожарной охраны. Рассмотрим пример, когда в ходе учений по ликвидации крупного пожара на производственном объекте выявляется, что взаимодействие с медицинской службой недостаточно отлажено, и на основе данного показателя разрабатываются новые протоколы коммуникации, которые состоят из регулярных совместных тренировок для сокращения времени оказания помощи пострадавшим в будущем.

И, наконец, последний показатель – «интеграция инновационных технологий». На промышленном объекте внедряется система раннего обнаружения пожаров на основе искусственного интеллекта, которая анализирует данные со множества датчиков в реальном времени. В дальнейшем применение данного показателя позволяет оценить результативность подобной системы в сравнении с предыдущими методами для того, чтобы прийти к решению о ее полномасштабном внедрении на всех объектах предприятия.

Заключение

В ходе проведенного исследования была разработана система показателей для оптимизации сил и средств пожарной охраны в организациях. Научная новизна данной работы заключается в интеграции теоретических подходов и алгоритмов в единую систему оценки.

Одним из центральных результатов исследования стало выделение значимости адаптивных алгоритмов, которые способны оперативно реагировать на изменение условий пожара, при том, что применение предложенных показателей, таких как «время реакции», «уровень подготовки персонала» и «доступность материальных ресурсов», позволяет регулярно проводить аудит текущего состояния подразделений и принимать обоснованные решения по их дооснащению и усовершенствованию.

Практическая ценность данной системы заключается в возможности использовать ее на объектах различного типа – от промышленных до гражданских, что делает ее универсальной и широко применимой, так как разработанные показатели могут служить базой для создания автоматизированных систем управления пожарной охраной.

Список литературы

1. Экспериментальное обоснование создания позиций по тушению с применением специальных пожарных автомобилей / *О.И. Степанов, А.Н. Денисов* // Пожаровзрывобезопасность. 2018. № 11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnoe-obosnovanie-sozdaniya-pozitsiy-po-tusheniyu-s-primeneniem-spetsialnyh-pozharnyh-avtomobiley> (дата обращения: 03.09.2024).
2. *Смирнов А.С.* Научно-методические основы управления пожарной безопасностью опасных производственных объектов нефтегазового комплекса: дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.03. Уфа, 2012.
3. *Нуеун Минь Хьонг.* Методы и алгоритмы управления пожарными подразделениями на начальном этапе тушения пожаров объектов нефтепереработки: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10. Москва, 2011. 155 с.
4. *Денисов А.Н.* Методы, модели и алгоритмы поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров: дис. ... канд. наук: 05.13.10. Москва, 2018.
5. *Гудин С.В.* Модели и алгоритмы поддержки адаптивного управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов: дис. ... канд. наук: 05.13.10. Москва, 2017.
6. Исследование и совершенствование способов организации тушения пожаров и ликвидации ЧС на объекте / *М.В. Симонов, Е.С. Самаркина* // Символ науки. 2021. № 12-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-i-sovershenstvovanie-sposobov-organizatsii-tusheniya-pozharov-i-likvidatsii-chs-na-obekte> (дата обращения: 03.09.2024).

**Статья поступила в редакцию 03.09.2024;
одобрена после рецензирования 01.10.2024;
принята к публикации 28.10.2024.**

Кондашов Андрей Александрович – кандидат математических наук, ведущий научный сотрудник. E-mail: otdel-13@vniipo.ru; **Трещин Евгений Сергеевич** – старший научный сотрудник.

Всероссийский ордена “Знак Почета” научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России), г. Балашиха, Московская область, Россия.

Andrey A. Kondashov – Candidate of Mathematical Sciences, Leading Researcher. E-mail: otdel-13@vniipo.ru; **Evgeny S. Treshchin** – Senior Researcher.

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPO), the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.