
ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Научная статья

УДК 614.842.61; DOI: 10.61260/2218-13X-2025-4-131-142

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБОСНОВАНИЯ НЕОБХОДИМОСТИ И РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ МАСШТАБНЫХ ПОЖАРОВ

✉ Проценко Татьяна Валерьевна.

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

✉ 89236213028@mail.ru

Аннотация. Актуальность данного исследования обусловлена ростом масштабов и ущерба от природных пожаров при одновременном сокращении их общего количества, что указывает на несоответствие существующих методик расчёта сил и средств современным вызовам. Особую сложность представляют пожары в труднодоступной местности с ограниченным доступом к водным ресурсам. В работе проведён анализ статистических данных МЧС России за 2020–2024 гг., выполнен таксономический анализ пожаров и разработана регрессионная модель прогнозирования потребности в силах и средствах пожаротушения. Апробация модели на примере реального лесного пожара в р-не Тепе-Оба (Республика Крым, 2024 г., площадь 150 га) показала высокую точность прогнозов: расхождение с фактическими данными составило менее 2 % как по количеству привлечённой техники, так и по величине материального ущерба. Практическая значимость исследования заключается в возможности применения модели для оперативного планирования и поддержки управленческих решений, включая обоснование привлечения мобильных трубопроводных групп и переоборудованной военной техники высокой проходимости (АРС-14, ТМС-65). Ограничения связаны с отсутствием учёта выхода из строя техники и логистических трудностей при тушении пожаров в труднодоступных районах, что определяет перспективы дальнейшего развития модели.

Ключевые слова: лесные и торфяные пожары, силы и средства пожаротушения, определение требуемых сил, мобильные трубопроводные группы, труднодоступные районы, оценка ущерба, эффективность борьбы с пожарами

Для цитирования: Проценко Т.В. Математическая модель обоснования необходимости и разработки методики повышения результативности тушения масштабных пожаров // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2025. № 4. С. 131–142. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-4-131-142.

Scientific article

MATHEMATICAL MODEL FOR JUSTIFYING THE NEED AND DEVELOPING METHODOLOGIES TO IMPROVE FIRE-FIGHTING EFFECTIVENESS DURING LARGE-SCALE WILDFIRES

✉ Protsenko Tatyana V.

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

✉ 89236213028@mail.ru

Abstract. The relevance of this study is determined by the increasing scale and damage caused by wildfires, despite a simultaneous decline in their overall number, which highlights the inadequacy of existing methods for calculating firefighting forces and resources in the face of modern challenges. Particular difficulties arise in combating fires in remote areas with limited access to water resources. This study analyzes statistical data from EMERCOM of Russia for 2020–2024, performs a taxonomic analysis of wildfires, and develops a regression model for predicting the demand for firefighting forces and equipment. The model was tested using a real wildfire case in the Tepe-Oba area (Republic of Crimea, 2024, with a burned area of 150 hectares), which demonstrated high predictive accuracy: the deviation from actual data did not exceed 2 % both in terms of the number of deployed firefighting units and the amount of material damage. The practical significance of the research lies in the possibility of applying the model for operational planning and decision support, including the justification for deploying mobile pipeline groups and retrofitted military off-road equipment (ARS-14, TMS-65). The limitations of the model are related to its inability to account for equipment failures and logistical difficulties in extinguishing fires in hard-to-reach areas, which define the directions for its further development.

Keywords: forest fires, peat fires, firefighting forces and means, calculation of requirements, mobile pipeline units, hard-to-reach areas, damage, firefighting efficiency

For citation: Protsenko T.V. Mathematical model for justifying the need and developing methodologies to improve fire-fighting effectiveness during large-scale wildfires // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2025. № 4. P. 131–142. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-4-131-142.

Введение

Актуальность темы исследования обусловлена масштабами и частотой возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами различного типа – лесными, торфяными, а также пожарами на объектах производства и хранения сжиженного природного газа. В условиях усложняющейся пожарной обстановки и увеличения потенциального ущерба от пожаров особое значение приобретает научно обоснованное прогнозирование потребности в дополнительных силах и средствах пожаротушения, а также точная оценка последствий их применения.

Современные реалии характеризуются высокой степенью урбанизации, активной промышленной деятельностью и эксплуатацией потенциально опасных объектов. Это требует пересмотра и модернизации существующих подходов к ликвидации пожаров, особенно в части рационального распределения ресурсов и минимизации ущерба. При этом необходимо учитывать не только прямой экономический ущерб от пожара, но и косвенные последствия, такие как воздействие на здоровье людей и окружающую среду при применении огнетушащих веществ [1].

На сегодняшний день существующие методики недостаточно полно отражают комплекс последствий, возникающих в результате применения различных видов огнетушащих средств, особенно в условиях масштабных и длительных пожаров. Это ограничивает возможности эффективного планирования и принятия решений при тушении пожаров высокой категории сложности [2].

Таким образом, разработка и внедрение усовершенствованных методик прогнозирования потребности в силах и средствах, а также оценки ущерба с учетом экологических и санитарных последствий их применения, является актуальной научной задачей. Решение данной проблемы позволит повысить эффективность пожаротушения, снизить риски для здоровья населения и минимизировать вред, наносимый окружающей среде.

Методики и объекты исследования

Анализ проводился на основе официальной статистики МЧС России и данных региональных противопожарных служб за период 2020–2024 гг. Для таксономического анализа и расчета потребности в силах применялись методики, регламентированные Приказом МЧС России от 16 октября 2017 г. № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» [3]. Анализ статистических данных демонстрирует устойчивую тенденцию к снижению общего количества пожаров. Однако, несмотря на уменьшение числа возгораний, наблюдается стабильный рост прямого материального ущерба, причиняемого пожарами, что указывает на увеличение их интенсивности и масштабов последствий (рис.) [4].

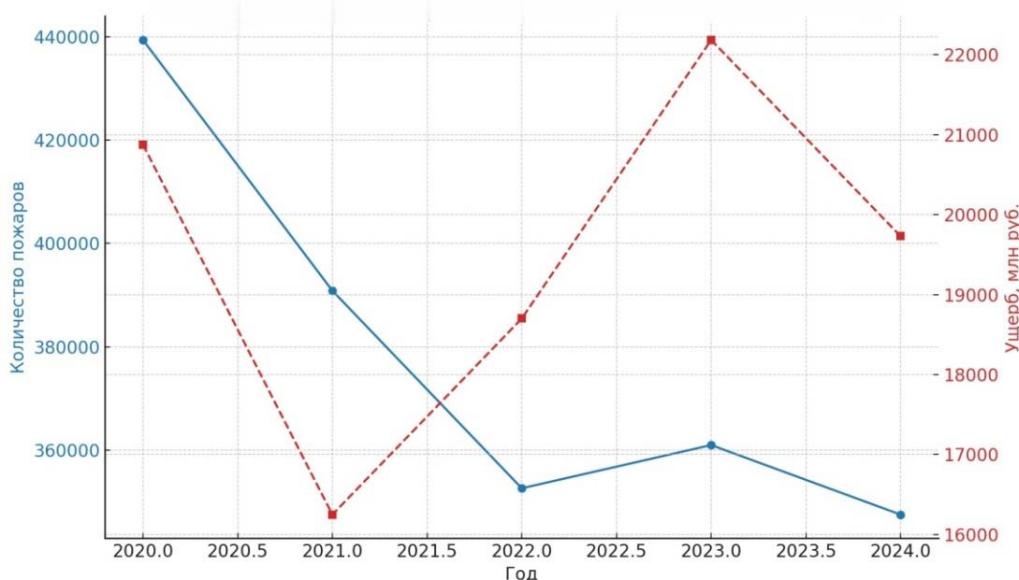


Рис. График соотношения общего количества пожаров в России и ущерба от них за 2020–2024 гг.

Объектами исследования выступили: лесные пожары, характеризующиеся большой площадью распространения и высокой скоростью развития; торфяные пожары, отличающиеся длительным временем тушения и сложностью локализации; а также пожары на объектах с разливом нефтепродуктов и сжиженного природного газа, представляющие особую опасность, возможностью быстрой эскалации и значительного материального ущерба. Для каждого типа пожаров определены специфические параметры оценки, включая среднюю площадь возгорания, требуемый расход огнетушащих веществ, необходимое количество сил и специальной техники.

Таксономический анализ произошедших пожаров убедительно демонстрирует, что наибольшую угрозу с точки зрения масштабов горения и величины материального ущерба представляют лесные и торфяные пожары, а также пожары, возникающие в результате разлива нефтепродуктов и сжиженного природного газа (табл.1).

Таблица 1

Анализ ущерба в зависимости от площади одного пожара

Вид пожара	Количество	Ущерб на один пожар	Средняя площадь
Лесные и торфяные пожары	11867	1,26 млн руб	230 га
Разлив нефтепродуктов	4	512 тыс руб	0,18 га
Разлив сжиженного природного газа	2	61 млн руб	0,04 га

На основании проведённого анализа можно выделить усреднённые фактические значения привлечения сил и средств при ликвидации одного очага лесного пожара (табл. 2).

Таблица 2

Фактические объёмы привлечения сил и средств на один случай лесного пожара (2024 г.)

Показатель	Значение (приблизительно)
Ущерб	1,26 млн руб.
Площадь	230 га
Сотрудников ФПС	12 чел.
Сотрудников спецподразделений	1 чел.
Единиц специальной техники	0,5
Единиц тракторов	0,2
Авиация (самолеты/вертолеты)	0,003 (на один пожар, крайне редко)

Расчет потребности в силах и средствах (табл. 3) для ликвидации лесного пожара выполнен в соответствии с официальной методикой. Исходным параметром выступил требуемый расход огнетушащего вещества, определяемый произведением площади пожара на нормативную интенсивность подачи. Далее, на основе установленного нормативного времени тушения (6 ч), был определен общий объем воды, необходимый для проведения операции. Этот объем является основанием для определения количества специальной техники и личного состава, обеспечивающих его доставку и подачу.

Таблица 3

Расчет необходимого количества сил и средств для тушения лесного пожара средней площади

Показатель	Значение (приблизительно)
Площадь пожара	230 га
Сотрудников ФПС	152 чел.
Единиц специальной техники	38 ед.
Требуемый расход воды	268 л/с
Общий расход воды при тушении пожара (6 ч)	5,79 млн л

Для оперативной локализации и ликвидации крупных природных пожаров существующих сил и средств МЧС России не всегда достаточно, что диктует необходимость пересмотра сложившихся подходов к организации реагирования. Как показывает опыт последних лет, интенсивное распространение огня приводит к масштабным и затяжным пожарам, подавление которых силами исключительно штатных подразделений противопожарной службы зачастую неэффективно и силами единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС). В подобных условиях стандартные алгоритмы привлечения сил и расчёта ресурсов оказываются несостоятельными, следствием чего становится увеличение сроков тушения и значительный материальный ущерб [5]. Особую сложность представляют одновременные возгорания на обширных труднодоступных территориях и вблизи опасных производственных объектов, требующие применения качественно иных тактических решений. В связи с этим одним из ключевых перспективных направлений является интеграция в группировку сил РСЧС формирований войск гражданской обороны МЧС России и специализированных подразделений Министерства обороны Российской Федерации [6].

Эффективное тушение природных пожаров в труднодоступной местности требует привлечения специализированной техники, способной работать в условиях бездорожья и ограниченного доступа к водным ресурсам. Особый интерес в этом контексте представляют переоборудованные машины высокой проходимости, такие как авторазливочная станция АРС-14 и тепловая машина специальной обработки ТМС-65, первоначально разработанные для военных целей. Их уникальные тактико-технические характеристики позволяют значительно усилить группировку сил МЧС России при ликвидации крупных возгораний [7].

Авторазливочная станция АРС-14, смонтированная на шасси автомобиля КАМАЗ, обладает цистерной объемом 3 500 л и способна перекачивать жидкости с производительностью до 12,5 л/с. Машина развивает скорость до 85 км/ч по шоссе и обладает высокой проходимостью за счет полного привода и колесной формулы 6×6. Время разворачивания оборудования составляет 6–8 мин, а расчет включает трех человек. Для тушения пожаров АРС-14 может использоваться как для непосредственной подачи воды на очаг возгорания, так и для перекачки воды из удаленных источников.

Тепловая машина ТМС-65 на шасси Урал-375 оснащена турбореактивным двигателем ВК-1А и цистерной объемом 2 800 л. Ее уникальность заключается в возможности создания мощной воздушно-водяной струи, эффективной при тушении торфяных пожаров. Машина потребляет 750–1 000 л топлива в час при работе турбины на различных режимах и имеет расчет из двух человек. Время разворачивания оборудования составляет 10–12 мин (табл. 4).

Таблица 4

Тактико-технические характеристики специальной техники

Параметр	АРС-14	ТМС-65
Объем цистерны, л	3 500	2 800
Производительность насоса, л/с	12,5	–
Мощность двигателя, л. с.	150	–
Расход топлива, л/ч	–	750–1 000
Макс. скорость, км/ч	85	40
Время разворачивания, мин	6–8	10–12
Расчет, чел.	3	2
Габариты, мм	6856×2470×2480	8250×3350×3350

Основными преимуществами применения данной техники являются высокая проходимость в условиях бездорожья, автономность за счет значительных возимых запасов воды и топлива, а также многофункциональность использования. APC-14 может эффективно применяться для тушения низовых лесных пожаров и организации перекачки воды, в то время как ТМС-65 особенно эффективна для тушения глубоких очагов торфяных пожаров и создания заградительных полос.

Экономическая эффективность использования переоборудованной техники заключается в снижении затрат на разработку новых специализированных машин при сохранении высоких эксплуатационных характеристик. Оперативность развертывания и возможность работы в автономном режиме делают эти машины ценным дополнением к группировке сил пожаротушения, особенно при работе в удаленных районах с ограниченной инфраструктурой.

Ключевым параметром для успешной ликвидации любого крупного пожара является обеспечение требуемого удельного расхода огнетушащих веществ [8]. Для тушения лесных пожаров и горящих торфяников, как показывает исторический опыт, данный показатель может достигать значительных величин. Расчет потребности в воде для конкретного очага, основанный на его площади и динамике распространения, зачастую выявляет необходимость подачи тысяч тонн воды ежедневно.

Обеспечить такой расход в условиях удаленности водоисточников на десятки километров и полного отсутствия дорог способны только трубопроводные подразделения. Мобильная трубопроводная группа (МТГ) решает эту задачу за счет:

- производительности: обеспечение стабильной подачи до 3 000 т/сут (35 л/с);
- автономности: возможности работы в отрыве от инфраструктуры на протяжении всего периода тушения;
- тактической гибкости: развертывания сети магистралей и отводов для одновременной работы на нескольких участках.

Попытка дублировать эту работу автоцистернами потребует привлечения огромного количества единиц техники на каждую линию подачи, что не только экономически неэффективно, но и зачастую физически невозможно из-за характера местности. Следовательно, применение МТГ является стратегической необходимостью для достижения требуемого расхода воды и локализации пожаров в кратчайшие сроки.

Таким образом, использование дополнительных сил и средств (APC-14, ТМС-65, МТГ) позволяет организовать подачу воды в очаги пожара максимально эффективно и быстро, обеспечивая непрерывность работы на нескольких участках одновременно. Для оптимального планирования действий и оценки потребностей в ресурсах становится необходимым создание инструментов, способных моделировать различные сценарии развития пожара и варианты развертывания сил. В этом контексте применяются комплексные методики, объединяющие аналитическую оценку оперативной обстановки с математическим прогнозированием потребности в силах и средствах, а также оценки прямого материального ущерба при тушении природных пожаров.

Методика включает оперативную часть и математическую модель. Оперативная часть представляет собой сценарий развития пожара и организации работ по его тушению, в рамках которого анализируется потребность в ресурсах, определяются приоритеты защиты объектов и последовательность развертывания сил [9]. В оперативной части определяется тип пожара, масштаб очага, география и логистика доступа к очагу. Вся операция делится на ряд последовательных этапов, для каждого из которых задаются направление распространения огня, характеристики территории и другие параметры (табл. 5).

Математическая модель, основанная на множественной линейной регрессии, устанавливает количественную зависимость между параметрами очага и необходимыми силами и средствами. Построение уравнения регрессии выполняется на основе множества смоделированных сценариев (в работе использовано 60), по которым рассчитываются значения целевых переменных: необходимое количество пожарной техники и величина ущерба.

Объектами исследования являются природные пожары (лесные и торфяные), возникающие в условиях удалённости от источников водоснабжения и ограниченной транспортной доступности. Основное внимание уделялось параметрам, существенно влияющим на сложность и продолжительность тушения [10].

Таблица 5

Исходные параметры для построения модели

Параметр	Обозначение	Единицы измерения	Диапазон значений
Площадь очага пожара	X_1	га	10–250
Расстояние до водоисточника	X_2	км	5–150
Наличие подъездных путей	X_3	бинарный	0–1
Скорость ветра	X_4	м/с	5–25
Применение трубопроводных войск	X_5	бинарный	0–1
Применение АРС-14	X_6	бинарный	0–1
Применение ТМС-65	X_7	бинарный	0–1

Для количественной оценки влияния факторов на зависимую переменную использовалась множественная линейная регрессия вида [11]:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \varepsilon.$$

Расчёт коэффициентов уравнения регрессии выполнялся по методу наименьших квадратов. Качество полученной модели оценивалось по коэффициенту детерминации (R^2), а также на основе анализа остатков.

Результаты регрессионного анализа показали высокую степень объясняющей способности построенных моделей для обеих зависимых переменных (табл. 6). Коэффициенты детерминации R^2 , равные 0,97 и 0,98 соответственно, свидетельствуют о том, что модели объясняют основную часть вариации в данных. Валидация на контрольной выборке показала среднюю ошибку прогноза потребности в технике на уровне 8,9 % и среднюю ошибку прогноза ущерба на уровне 9,6 %, что соответствует установленному критерию надежности (± 10 %).

Таблица 6

Результаты регрессионного анализа

Показатель	Коэффициенты	R^2	$\sigma(y)$
Y_1 – техника (шт.)	$\beta_0 = 0,423$; $\beta_1 = 0,844$; $\beta_2 = 0,092$; $\beta_3 = -20,39$; $\beta_4 = -0,146$; $\beta_5 = -0,275$; $\beta_6 = -0,198$; $\beta_7 = -0,165$	0,97	12,4
Y_2 – ущерб (10^3 руб.)	$\beta_0 = -5897$; $\beta_1 = 5570$; $\beta_2 = 560$; $\beta_3 = -147499$; $\beta_4 = -1042$; $\beta_5 = -1850$; $\beta_6 = -1320$; $\beta_7 = -980$	0,98	62

Полученные модели демонстрируют высокую точность и могут служить основой для разработки более комплексных систем прогнозирования. Модель не требует сложного вычислительного обеспечения и может использоваться непосредственно в полевых условиях: достаточно определить значения ключевых факторов, после чего по уравнениям регрессии мгновенно рассчитываются прогнозные значения. Такой подход особенно эффективен в начальной фазе пожара, когда критически важно в сжатые сроки оценить объём ресурсов, спрогнозировать возможный ущерб и принять управленческие решения.

Применение предложенной методики позволяет оперативному штабу заранее определить, какие подразделения и в каком объёме целесообразно привлекать, оценить время, необходимое на доставку воды, и подобрать технику, обеспечивающую максимальную эффективность на конкретной местности [12]. Это повышает согласованность действий, снижает риски перерасхода ресурсов и повышает общую тактическую устойчивость системы пожаротушения.

Следует отметить, что модель ориентирована на расчёт в рамках «разового» сценария и не учитывает динамическое снижение готовности техники при длительном применении. Однако для целевой оценки на момент прогноза такой подход остаётся обоснованным и позволяет существенно повысить качество и скорость управленческих решений, интегрируя аналитическую точность и тактическую применимость в единой системе поддержки решений.

Результаты исследований и их обсуждение

Для апробации разработанной модели был выбран лесной пожар в р-не Тепе-Оба (Республика Крым), произошедший в августе 2024 г. По официальным данным МЧС России, площадь возгорания составила около 150 га. В операции участвовало 380 чел. личного состава и было задействовано 105 ед. пожарной техники. Материальный ущерб от пожара оценён в 671,8 млн руб. [13].

Согласно расчётам модели, прогнозируемое количество пожарной техники для локализации очага указанной площади составило 107 ед., что практически совпадает с фактически задействованными силами. Аналогично, прогнозируемый материальный ущерб составил 679,4 млн руб., что отличается от официальных данных всего на 1,1 %. (табл. 7).

Таблица 7

Сравнительный анализ прогнозируемых и фактических значений

Пожар	Прогноз техники (Y_1), ед.	Факт техники, ед.	δ , %	Прогноз ущерба, млн руб. (Y_2)	Факт ущерба, млн руб.	δ , %
р-н Тепе-Оба (Республика Крым, 150 га)	107	105	1,9	679,4	671,8	1,1

Результаты апробации показывают, что модель позволяет достаточно точно прогнозировать потребность в силах и средствах, что делает её полезным инструментом для оперативного планирования и поддержки управленческих решений [14].

Вместе с тем следует отметить ряд ограничений. Модель демонстрирует наибольшую точность при применении к пожарам, где реально задействованы значительные силы федерального уровня. В отдалённых районах с труднодоступными очагами лесных пожаров, при недостаточности ресурсов на местах, а также при ограничениях логистики фактическое привлечение техники может существенно отличаться от прогнозируемой потребности. Ещё один фактор, не учтённый в модели, – выход из строя техники в процессе тушения, что также способно влиять на динамику ликвидации пожара и требовать дополнительных ресурсов.

Таким образом, проведённая апробация подтверждает высокую точность модели в ряде условий, одновременно обозначая направления для её дальнейшего развития с учётом факторов ресурсной ограниченности и эксплуатационной надёжности техники.

Проведенное исследование выявило существенное расхождение между нормативной потребностью в силах и средствах пожаротушения и их фактическим привлечением. Сравнительный анализ показал, что для тушения лесного пожара средней площадью 230 га

требуется привлечение 152 сотрудников и 38 ед. техники, в то время как фактически привлекается в среднем 12 чел. и 0,5 ед. техники. Данное несоответствие обусловлено как объективными факторами (ограниченность ресурсов, удаленность местности), так и субъективными (недооценка рисков, недостаточное планирование).

Полученные результаты убедительно демонстрируют необходимость пересмотра существующих подходов к формированию оперативных группировок. Предлагаемая методика интеграции МТГ и специальной техники высокой проходимости позволяет существенно повысить эффективность пожаротушения. Использование переоборудованной техники военного назначения (АРС-14, ТМС-65) обеспечивает возможность работы в условиях бездорожья и ограниченного доступа к водным ресурсам, что особенно актуально для труднодоступных регионов.

Важным аспектом обсуждения является экономическая эффективность предлагаемых решений. Расчеты показывают, что применение МТГ позволяет снизить потребность в автоцистернах в 4,7 раза, а трудозатраты – в 7,4 раза. Одновременно достигается сокращение времени тушения и минимизация экологического ущерба. Однако успешная реализация предлагаемых мер требует разработки четких алгоритмов межведомственного взаимодействия и дополнительного обучения сотрудников.

Проведённая апробация подтвердила практическую применимость модели и обозначила границы её корректного использования. Установленная высокая точность прогнозов при крупных пожарах с достаточным уровнем привлечённых сил свидетельствует о потенциале методики для интеграции в систему поддержки принятия решений. Вместе с тем выявленные ограничения подчёркивают необходимость её дальнейшего совершенствования, что формирует основу для заключительных выводов исследования.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой детальных методик оценки комплексного ущерба от пожаров, включая прямые материальные потери и косвенные экологические последствия. Также необходима разработка экономических моделей обоснования инвестиций в создание МТГ и переоборудование специальной техники.

Заключение

Проведённое исследование показало, что предложенная методика прогнозирования потребности в силах и средствах для тушения природных пожаров обладает высокой точностью и практической применимостью. Апробация на примере реального пожара в р-не Тепе-Оба (Республика Крым, 2024 г.) подтвердила соответствие прогнозных данных фактическим показателям: расхождение не превысило 2 % как по числу задействованной техники, так и по величине материального ущерба. Это свидетельствует о высокой корректности модели при условии достаточного ресурсного обеспечения и оптимальной логистики доступа к очагу.

Научная новизна заключается в разработке комплексного подхода, сочетающего таксономический анализ и регрессионное моделирование для оценки сил и средств пожаротушения. Впервые в рамках одной методики удалось увязать площадь очага, логистические ограничения и использование специализированной техники (АРС-14, ТМС-65, МТГ) с прогнозированием как оперативных потребностей, так и прямого материального ущерба. Это позволяет рассматривать пожар не только как физико-географический процесс, но и как управляемую систему с множеством взаимосвязанных факторов.

Практическая значимость исследования заключается в том, что модель может использоваться в системе поддержки принятия решений для оперативного планирования действий при крупных пожарах. Она обеспечивает возможность быстрого расчёта потребности в ресурсах и сопоставления её с реально доступными силами, что особенно важно в начальной фазе возгорания. Внедрение предложенного подхода способно повысить согласованность действий различных подразделений РСЧС, снизить риски перерасхода ресурсов и минимизировать ущерб.

Вместе с тем исследование выявило ряд ограничений. Модель не учитывает выход из строя техники при длительном применении, а также организационно-технические трудности при тушении пожаров в труднодоступной местности, где ресурсы ограничены и подвоз воды затруднён. Эти факторы могут приводить к расхождениям между прогнозируемыми и фактическими данными, что определяет направления дальнейшей доработки.

Перспективы развития исследования связаны с включением в модель экологических и санитарных последствий применения огнетушащих веществ, а также с разработкой экономических инструментов для обоснования инвестиций в переоборудование военной техники и создание МТГ. Это позволит не только точнее прогнозировать потребности в ресурсах, но и оценивать долгосрочные последствия принимаемых решений, что особенно важно в условиях роста масштабов и сложности природных пожаров.

Список источников

1. О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: постановление Правительства Рос. Федерации от 30 дек. 2003 г. № 794. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Матвеев А.В., Богданова Е.М. Классификация методов прогнозирования чрезвычайных ситуаций // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2018. № 4 (24). С. 61–70. EDN YTPZYL.
3. Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ: приказ МЧС России от 16 окт. 2017 № 444. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Пожары и пожарная безопасность в 2024 г. Статистика пожаров и их последствий / В.С. Гончаренко [и др.] // Информационно-аналитический сборник. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2025. 112 с
5. Large-scale fire whirl and forest fire disasters: awareness, implications, and the need for developing preventative methods / A.A. Darwish [et al.] // Frontiers in Mechanical Engineering. 2023. Vol. 9. P. 1045542. DOI: 10.3389/fmech.2023.1045542.
6. Пожарно-техническое обоснование состава и тактических возможностей трубопроводных мобильных групп ГПС МЧС РФ. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pozharno-tehnicheskoe-obosnovanie-sostava-i-takticheskikh-vozmozhnostey-truboprovodnyh-mobilnyh-grupp-gps-mchs-rf> (дата обращения: 21.05.2025).
7. К вопросу об управлении силами и средствами при тушении лесных пожаров / А.А. Карапузиков [и др.] // Техносферная безопасность. 2020. № 2 (27). С. 16–27. EDN URZSEG.
8. Вилков В.Б., Горшкова Е.Е., Черных А.К. Решение задачи нахождения оптимального маршрута патрулирования действующих лесных пожаров в заданном районе // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2021. № 3. С. 90–98. EDN ZYOYFF.
9. Бутырский Е.Ю., Матвеев А.В. Математическое моделирование систем и процессов. СПб.: Информационный издательский учебно-научный центр «Стратегия будущего», 2022. 733 с. DOI: 10.37468/book_011222. EDN CCRIRT.
10. Медведев Д.В., Матвеев А.В., Смирнов А.С. Применение модели логистической регрессии при принятии решений по определению количества привлекаемых сил на ликвидацию лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность. 2024. Т. 33. № 4. С. 84–96. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.04.84-96
11. Forest fire spread simulation and fire extinguishing visualization research / Q. Meng [et al.] // Forests. 2023. Vol. 14. №. 7. P. 1371. DOI: 10.3390/f14071371.
12. Максимов А.В. Методы поддержки принятия решений в оперативном управлении при чрезвычайных ситуациях: обзор исследований // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2023. № 2 (42). С. 91–102. DOI: 10.37468/2307-1400-2023-2-91-102. EDN CJCPWN.

13. Ущерб от пожара под Феодосией превысил 600 млн рублей. URL: <https://tass.ru/proisshestviya/21992671> (дата обращения: 30.05.2025).

14. Warming weakens the night-time barrier to global fire / J.K. Balch [et al.] // *Nature*. 2022. Vol. 602. №. 7897. P. 442–448.

References

1. О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: постановление Правительств Рос. Федерации от 30 дек. 2003 г. № 794. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Matveev A.V., Bogdanova E.M. Klassifikatsiya metodov prognozirovaniya chrezvychajnyh situacij // *Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie*. 2018. № 4 (24). S. 61–70. EDN YTPZYL.

3. Ob utverzhdenii Boevogo ustava podrazdelenij pozharnoj ohrany, opredelyayushchego poryadok organizatsii tusheniya pozharov i provedeniya avarijno-spasatel'nyh rabot: prikaz MCHS Rossii ot 16 okt. 2017 № 444. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2024 g. Statistika pozharov i ih posledstvij / V.S. Goncharenko [i dr.] // *Informacionno-analiticheskij sbornik*. Balashiha: FGBU VNIPO MCHS Rossii, 2025. 112 s

5. Large-scale fire whirl and forest fire disasters: awareness, implications, and the need for developing preventative methods / A.A. Darwish [et al.] // *Frontiers in Mechanical Engineering*. 2023. Vol. 9. P. 1045542. DOI: 10.3389/fmech.2023.1045542.

6. Pozharno-tehnicheskoe obosnovanie sostava i takticheskikh vozmozhnostej truboprovodnyh mobil'nyh grupp GPS MCHS RF. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pozharno-tehnicheskoe-obosnovanie-sostava-i-takticheskikh-vozmozhnostey-truboprovodnyh-mobilnyh-grupp-gps-mchs-rf> (data obrashcheniya: 21.05.2025).

7. K voprosu ob upravlenii silami i sredstvami pri tushenii lesnyh pozharov / A.A. Karapuzikov [i dr.] // *Tekhnosfernaya bezopasnost'*. 2020. № 2 (27). S. 16–27. EDN URZSEG.

8. Vilkov V.B., Gorshkova E.E., Chernyh A.K. Reshenie zadachi nahozhdeniya optimal'nogo marshruta patrulirovaniya dejstvuyushchih lesnyh pozharov v zadannom rajone // *Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MChS Rossii»*. 2021. № 3. S. 90–98. EDN ZYOYFF.

9. Butyrskij E.Yu., Matveev A.V. Matematicheskoe modelirovanie sistem i processov. SPb.: Informacionnyj izdatel'skij uchebno-nauchnyj centr «Strategiya budushchego», 2022. 733 s. DOI: 10.37468/book_011222. EDN CCRIRT.

10. Medvedev D.V., Matveev A.V., Smirnov A.S. Primenenie modeli logisticheskoy regressii pri prinyatii reshenij po opredeleniyu kolichestva privlekaemyh sil na likvidatsiyu lesnyh pozharov // *Pozharovzryvbezopasnost'*. 2024. T. 33. № 4. S. 84–96. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.04.84-96

11. Forest fire spread simulation and fire extinguishing visualization research / Q. Meng [et al.] // *Forests*. 2023. Vol. 14. №. 7. P. 1371. DOI: 10.3390/f14071371.

12. Maksimov A.V. Metody podderzhki prinyatiya reshenij v operativnom upravlenii pri chrezvychajnyh situatsiyah: obzor issledovanij // *Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie*. 2023. № 2 (42). S. 91–102. DOI: 10.37468/2307-1400-2023-2-91-102. EDN CJCPWN.

13. Ushcherb ot pozhara pod Feodosiej prevysil 600 mln rublej. URL: <https://tass.ru/proisshestviya/21992671> (data obrashcheniya: 30.05.2025).

14. Warming weakens the night-time barrier to global fire / J.K. Balch [et al.] // *Nature*. 2022. Vol. 602. №. 7897. P. 442–448.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 09.10.2025; одобрена после рецензирования: 05.11.2025;
принята к публикации: 07.11.2025

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 09.10.2025; approved after review: 05.11.2025;
accepted for publication: 07.11.2025

Информация об авторах:

Проценко Татьяна Валерьевна, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: 89236213028@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5923-5764>, SPIN-код: 7433-1522

Information about authors:

Protsenko Tatyana V., adjunct of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: 89236213028@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5923-5764>, SPIN: 7433-1522