

На правах рукописи



Зайченко Юлия Сергеевна

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ
РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ
В ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ ГАРНИЗОНЫ**

Специальность: 2.3.4. Управление в организационных системах
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Шкунов Сергей Александрович

Официальные
оппоненты:

Порошин Александр Алексеевич
доктор технических наук,
ФГБУ ВНИИПО МЧС России,
научно-исследовательский центр
организационно-управленческих проблем
пожарной безопасности, главный научный
сотрудник

Семенов Алексей Олегович
кандидат технических наук, доцент,
Ивановская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, кафедра основ гражданской
обороны и управления в ЧС, начальник

Ведущая организация: ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты
МЧС России»

Защита диссертации состоится «29» июня 2022 года в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 04.2.002.01, созданного на базе Академии ГПС МЧС России по адресу: 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте: <https://academygps.ru/upload/iblock/33b/33be1d23ca85c85462607260b494c512.pdf>

Автореферат разослан «27» апреля 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

Р.Ш. Хабибулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Практика борьбы с пожарами в Российской Федерации определяет прямую связь между качеством тушения пожаров и уровнем оснащения территориальных пожарно-спасательных гарнизонов пожарными автомобилями. Рассматривая организационную систему управления материально-техническим обеспечением территориальных пожарно-спасательных гарнизонов, можно сделать вывод, что увеличение количества пожарных автомобилей одновременно приводит и к увеличению материальных эксплуатационных затрат. Специфика динамики угроз, возникающих при пожарах, определяет необходимость разработки новых современных пожарных автомобилей, что требует внедрения в существующую модель принятия решений, дополнительного критерия, характеризующего время эксплуатации пожарного автомобиля. Поэтому при принятии решений по распределению пожарных автомобилей необходимо учитывать одновременно несколько критериев. Внедрение дополнительного критерия приводит к возникновению методологического противоречия, состоящего в том, что, с одной стороны, модель поддержки управления, основанная на большем количестве критериев, является более объективной и информативной, с другой стороны, увеличение количества критериев определяет существенное увеличение необходимого объема информационных ресурсов для применения модели на практике. Для решения данного противоречия в рамках теории организационного управления используют системы поддержки управления, позволяющие ранжировать варианты решений для их дальнейшего анализа и группировки, что особенно важно при принятии решений в условиях ограниченных ресурсов.

Степень разработанности темы. Проблемами, связанными с процессом разработки и исследованием методологических основ систем поддержки принятия решений в задачах ресурсного обеспечения территориальных пожарно-спасательных гарнизонов, занимались отечественные ученые: Н.Н. Брушлинский и С.В. Соколов, Н.Г. Топольский совместно с В.А. Минаевым, Д.В. Тараканов и С.А. Шкунов совместно с В.В. Роевко, Ю.В. Прус, В.А. Седнев, А.А. Таранцев совместно с А.Л. Холостовым, М.Д. Безбородько, А.Н. Денисов, А.А. Порошин и А.В. Матюшин, А.И. Мазаник, А.П. Сатин, А.Д. Семенов, А.Г. Бубнов и И.В. Сараев; зарубежные ученые: П.С. Блум, П. Вагнер совместно с Х. Хервег.

Однако теоретических исследований практической реализации функции распределения пожарных автомобилей между

пожарно-спасательными гарнизонами в организационной системе управления материально-техническим обеспечением до настоящего времени не было.

Цель работы – совершенствование процедур принятия решений при поддержке управления распределением пожарных автомобилей в территориальные пожарно-спасательные гарнизоны.

Задачи исследования:

1. Провести анализ организационной системы управления материально-техническим обеспечением пожарными автомобилями территориальных пожарно-спасательных гарнизонов.

2. Разработать критерий оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями и алгоритма его расчета для оценки уровня оснащения.

3. Разработать математическую модель поддержки принятия решений при распределении пожарных автомобилей, которая предполагает оценку по критериям оперативной, технической готовности и оснащенности современными пожарными автомобилями территориальных пожарно-спасательных гарнизонов.

4. Создать алгоритмы по ранжированию и группировке территориальных пожарно-спасательных гарнизонов.

5. Разработать структуры информационных ресурсов для аналитической процедуры ранжирования и группировки территориальных пожарно-спасательных гарнизонов в целях распределения пожарных автомобилей.

6. Доказать достоверность теоретических положений исследования, а также возможность использования их на практике при реализации процедур распределения пожарных автомобилей между территориальными пожарно-спасательными гарнизонами.

Объект исследования – процесс распределения пожарных автомобилей.

Предмет исследования – модель и алгоритмы поддержки управления распределением пожарных автомобилей в территориальные пожарно-спасательные гарнизоны.

Научная новизна. В процессе выполнения диссертационной работы были получены новые научные результаты:

– критерий оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями. Разработанный критерий позволяет учесть срок эксплуатации пожарных автомобилей, увеличивая объективность процедуры принятия решений по распределению пожарных автомобилей между территориальными пожарно-спасательными гарнизонами;

– модель и алгоритмы поддержки управления при ранжировании и группировке территориальных пожарно-спасательных гарнизонов для распределения пожарных автомобилей, учитывающие оценки по критериям оперативной, технической готовности и оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными автомобилями;

– информационные ресурсы поддержки управления при ранжировании и группировке территориальных пожарно-спасательных гарнизонов для распределения пожарных автомобилей, представляющие собой структурированные данные, полученные в результате мониторинга оперативной, технической готовности пожарных автомобилей и оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями Российской Федерации.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теоретических положений управления материально-техническим обеспечением территориальных пожарно-спасательных гарнизонов на основе модели, алгоритмов и информационных ресурсов поддержки управления при ранжировании и группировке территориальных пожарно-спасательных гарнизонов по критериям оперативной, технической готовности пожарных автомобилей и оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями.

Практическая значимость работы заключается в создании информационной системы поддержки принятия решений при реализации функции распределения пожарных автомобилей в организационной системе управления материально-техническим обеспечением территориальных пожарно-спасательных гарнизонов.

Методология и методы исследования. В процессе исследования были использованы методы теории управления, системного анализа, многокритериальной оптимизации, математической статистики и теории вероятности.

Результаты исследования внедрены в следующие виды практической деятельности:

– деятельность Департамента образовательной и научно-технической деятельности МЧС России при разработке перспективных проектов и исследованиях в области разработки пожарно-спасательных автомобилей;

– учебный процесс Академии Государственной противопожарной службы МЧС России при проведении занятий на кафедре пожарной техники в составе учебно-научного комплекса пожарной и аварийно-спасательной техники по дисциплине «Управление материально-техническим обеспечением»;

– научную деятельность Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России при выполнении научно-исследовательской работы

«Обоснование исходных данных для формирования программы развития ВВСТ в части МЧС России до 2035 года»;

– деятельность Главного управления МЧС России по Свердловской области для оценки оснащения местных пожарно-спасательных гарнизонов и ранжирования вариантов распределения пожарных автомобилей в пределах территориального пожарно-спасательного гарнизона;

– деятельность Главного управления МЧС России по Ивановской области для анализа оснащенности пожарно-спасательных подразделений, рациональному и обоснованному распределению пожарных автомобилей между ними.

На защиту выносятся:

– критерий оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями, его математическая модель и алгоритм расчета;

– модель поддержки управления распределением пожарных автомобилей, учитывающая оценки по критериям оперативной, технической готовности и оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями;

– алгоритмы ранжирования и группировки территориальных пожарно-спасательных гарнизонов в порядке предпочтительности для оснащения пожарными автомобилями, разработанные на основе систематизации процедур анализа управленческих решений;

– информационная система поддержки принятия решений по распределению пожарных автомобилей в территориальные пожарно-спасательные гарнизоны, содержащая результаты мониторинга оперативной, технической готовности и оснащенности пожарными автомобилями пожарно-спасательного гарнизона.

Степень достоверности и апробации результатов. Достоверность полученных результатов основана на использовании в исследованиях апробированного математического аппарата, применяемого при решении задач управления ресурсами в социально-экономических системах, выдвижении и проверке статистических гипотез с использованием критерия Пирсона, использовании принципов рационального выбора в процедурах принятия решений, а также сходимостью результатов исследования с результатами, полученными другими авторами.

Основные результаты диссертационной работы доложены на:

1. Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности» (Москва, 2017, 2019 гг.);

2. Международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2018» (Москва, 2018 г.);

3. Международной научно-практической конференции «Исторический опыт, современные проблемы и перспективы

образовательной и научной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности» (Москва, 2018 г.);

4. Всероссийском круглом столе «Актуальные вопросы пожаротушения» (Иваново, 2020 г.);

5. V Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны «Гражданская оборона на страже мира и безопасности» (Москва, 2021 г.).

Публикации. По тематике диссертационной работы опубликовано 18 научных публикаций, из них: 4 в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК России, получено 3 свидетельства о государственной регистрации базы данных и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ в Роспатент.

Личный вклад автора. В работах, которые опубликованы в соавторстве в изданиях, рекомендованных ВАК, все результаты, составляющие научную новизну и выносимые на защиту, получены автором лично.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и 4 приложений. Общий объем работы составляет 150 страниц. Работа иллюстрирована 33 рисунками, содержит 22 таблицы. Список литературы включает в себя 124 наименования.

ОСНОВое СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены основная цель и задачи, объект и предмет исследования, представлены сведения о научных результатах и практической значимости исследования.

В первой главе «Анализ организационной системы управления материально-техническим обеспечением пожарных автомобилей территориальных пожарно-спасательных гарнизонов» была исследована специфика управления распределением пожарных автомобилей, на которую влияет не только оперативная и техническая готовность, но и оснащенность пожарно-спасательного гарнизона современными автомобилями.

Для повышения эффективности управления распределением пожарных автомобилей необходимо детальное изучение ее составляющих.

Так, оперативная готовность пожарно-спасательных подразделений предполагает время занятости пожарной техники на ликвидации последствий пожаров. На нее в значительной степени влияет число пожаров (таблица 1).

Таблица 1 – Динамика числа пожаров в России в 2013-2019 годах

Годы Показатели	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Число пожаров, ед.	152 959	150 437	145 942	139 475	132 844	131 840	471 426
Число погибших на пожарах, чел.	10 601	10 138	9 405	8749	7816	7909	8559

Из таблицы 1 видно, что количество пожаров и число погибших на них в период с 2013 по 2018 гг. имело тенденцию снижения. Однако в 2019 г. Приказом МЧС России от 8 октября 2018г. № 431 «О внесении изменений в Порядок учета пожаров и их последствий, утвержденный приказом МЧС России от 21 ноября 2008 г. № 714», слово «загорание» было исключено, что привело к росту показателей более чем в 2 раза. По статистическим данным за 2019 г. в среднем в день происходило 1292 пожара, на которые привлекались пожарно-спасательные подразделения, что указывает на необходимость исследования оперативной готовности, ведь именно от своевременного прибытия на пожар зависит не только размер материального ущерба, но и жизнь, и здоровье людей.

Анализ технической готовности предполагает изучение занятости пожарных автомобилей на технических осмотрах и ремонтах, а также количества их отказов, которые влияют на качество выполняемых работ пожарно-спасательными подразделениями. Так, исследования, проводимые сотрудниками Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России, выявили рост количества отказов основных пожарных автомобилей, эксплуатирующихся в умеренном и холодном климате, в период с 2013 по 2017 гг. практически в два раза.

На оснащенность пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями в значительной степени влияет срок службы каждого пожарно-спасательного автомобиля. При этом количество основных пожарных автомобилей со сроком службы, превышающим показатель в 10 лет, составляет более половины от общего числа оснащения (рисунок 1).

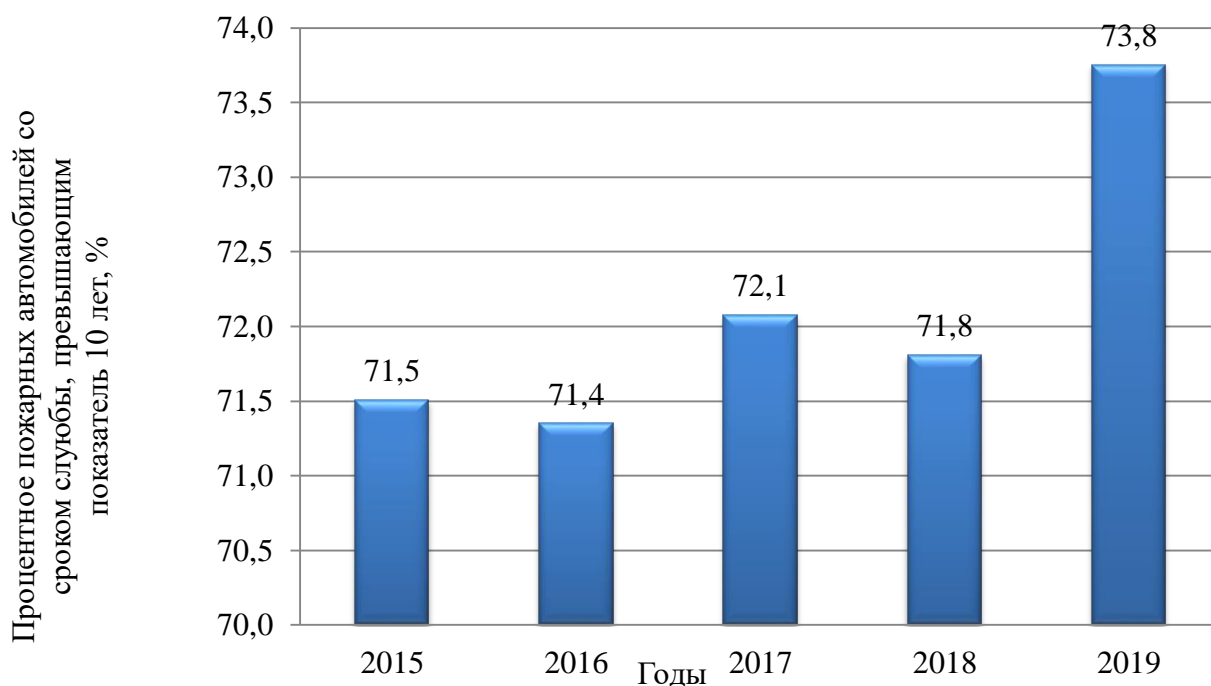


Рисунок 1 – Износ парка пожарных автомобилей со сроком службы, превышающим 10 лет, в период с 2015 по 2019 гг.

Все эти показатели указывают на необходимость их исследования в совокупности, чтобы оценить состояние пожарно-спасательных гарнизонов с точки зрения достаточности в них пожарных автомобилей и разработке модели, которая позволит рационально принимать решения по распределению пожарных автомобилей в наиболее нуждающиеся гарнизоны.

Во второй главе «Модель поддержки управления распределением пожарных автомобилей в территориальные пожарно-спасательные гарнизоны» рассмотрены критерии, которые влияют на систему распределения автомобилей; обосновывается применение модели и алгоритмов поддержки управления распределением пожарных автомобилей.

В диссертационной работе для оценки оснащённости территориальных пожарно-спасательных гарнизонов пожарными автомобилями и их последующего распределения по предпочтительности предложен анализ трех критериев (рисунок 2):

1) критерий оперативной готовности пожарно-спасательных подразделений $K_{ог}$ отражает возможность пожарно-спасательных автомобилей прибыть к месту вызова за нормативное время и выполнять в течение определенного времени задачи по назначению;

2) критерий технической готовности пожарно-спасательных подразделений $K_{тг}$ описывает потенциальную возможность пожарно-спасательных автомобилей находиться в исправном состоянии начиная с любого момента времени t в течение времени τ , необходимого для решения задачи по назначению;

3) критерий оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями $K_{осн}$ характеризует оснащенность пожарно-спасательных гарнизонов современными пожарно-спасательными автомобилями в определенный временной период с учетом срока службы каждого пожарно-спасательного автомобиля и природно-климатических условий, в которых он используется.



Рисунок 2 – Модель и алгоритмы поддержки управления распределением пожарных автомобилей в территориальные пожарно-спасательные гарнизоны

Первые два критерия характеризуют классическую модель управления «эффективность – стоимость», однако третий критерий, который необходимо учитывать, – это время, характеризующее современный научно-технический прогресс в области разработки новых современных пожарных автомобилей и отражающее общее время службы автомобиля с момента ввода в эксплуатацию.

Поэтому во второй главе диссертационной работы был разработан критерий оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями $K_{осн}$, который, и вычисляется по следующей формуле:

$$K_{осн} = \frac{K_{усл}}{K_о}, \quad (1)$$

где $K_{усл}$ – коэффициент условий эксплуатации пожарных автомобилей; $K_о$ – коэффициент оснащенности пожарно-спасательного гарнизона.

Числитель данной формулы – это коэффициент условий эксплуатации $K_{\text{усл}}$, состоящий из произведения трех коэффициентов: корректирования нормативов в зависимости от условий эксплуатации, корректирования в зависимости от природно-климатических условий и агрессивности окружающей среды, и вычисляемый по следующей формуле:

$$K_{\text{усл}} = K_3' \cdot K_3'' \cdot \sum_{i=1}^N (n_{1i} \cdot K_{1i}), \quad (2)$$

где K_3' – коэффициент корректирования в зависимости от природно-климатических условий; K_3'' – коэффициент агрессивности окружающей среды; N – общее количество анализируемых пожарных автомобилей; K_{1i} – коэффициент корректирования нормативов в зависимости от условий эксплуатации для каждого пожарного автомобиля; n_{1i} – пожарный автомобиль с определенной категорией условий эксплуатации.

Знаменатель формулы (1) представлен коэффициентом оснащенности пожарно-спасательного гарнизона (K_o), который зависит от срока службы и количества пожарных автомобилей, находящихся в гарнизоне, и определяется следующим выражением:

$$K_o = \sum_{j=1}^N (n_{2j} \cdot K_{эj}), \quad (3)$$

где N – общее количество анализируемых пожарных автомобилей; $K_{эj}$ – коэффициент эксплуатации для каждого пожарного автомобиля; n_{2j} – единица пожарного автомобиля с определенным сроком службы.

Полная (развернутая) формула критерия оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями будет представлена ниже:

$$K_{\text{осн}} = \frac{K_3' \cdot K_3'' \cdot \sum_{i=1}^N (n_{1i} \cdot K_{1i})}{\sum_{j=1}^N (n_{2j} \cdot K_{эj})}. \quad (4)$$

Таким образом, критерий оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями – это количественный показатель необходимый, чтобы проанализировать оснащенность территориальных пожарно-спасательных гарнизонов пожарными автомобилями. Он является необходимым для проведения оценки состояния пожарно-спасательной техники в гарнизоне.

Алгоритм расчета критерия оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями представлен на рисунке 3.

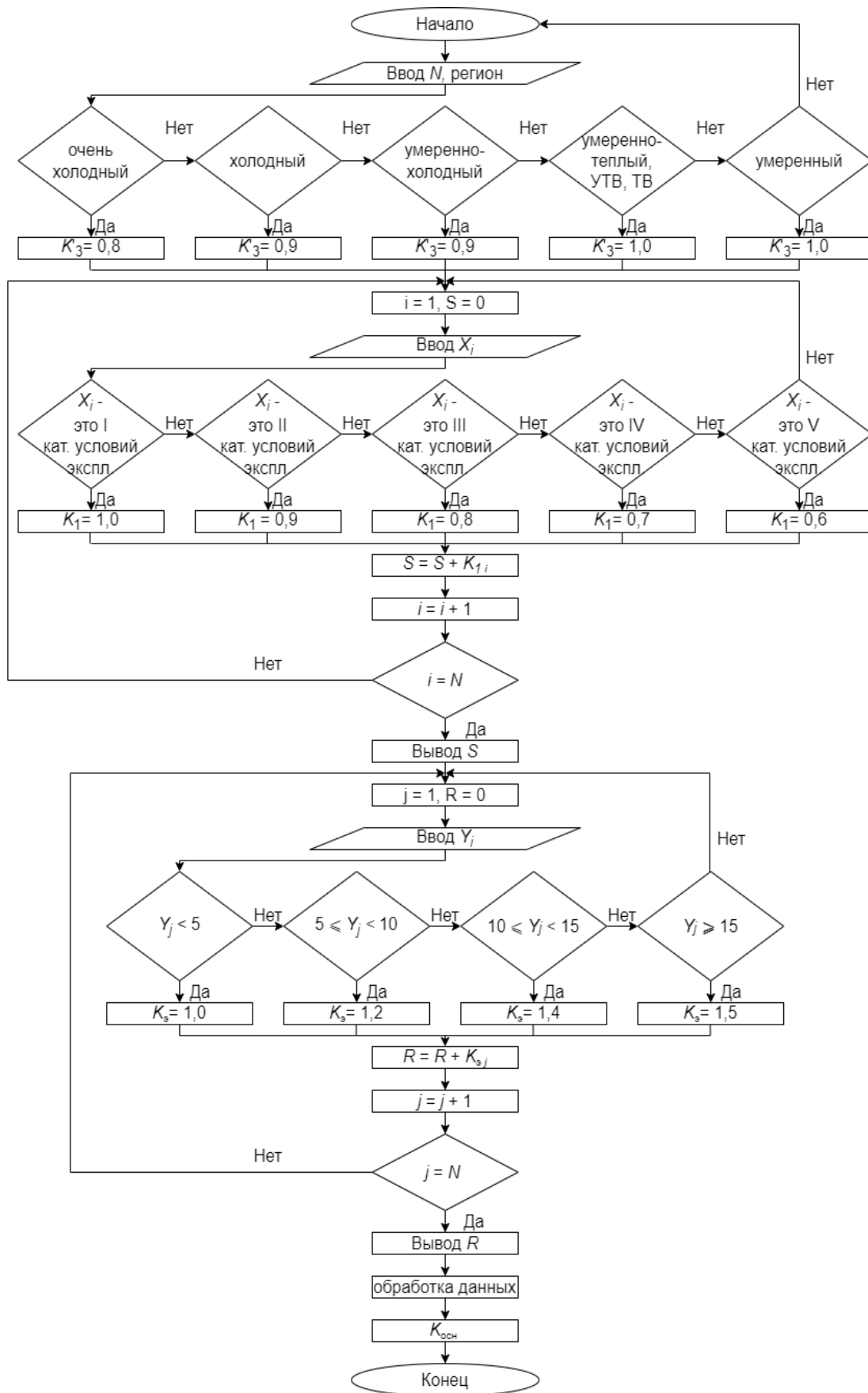


Рисунок 3 – Алгоритм расчета критерия оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями

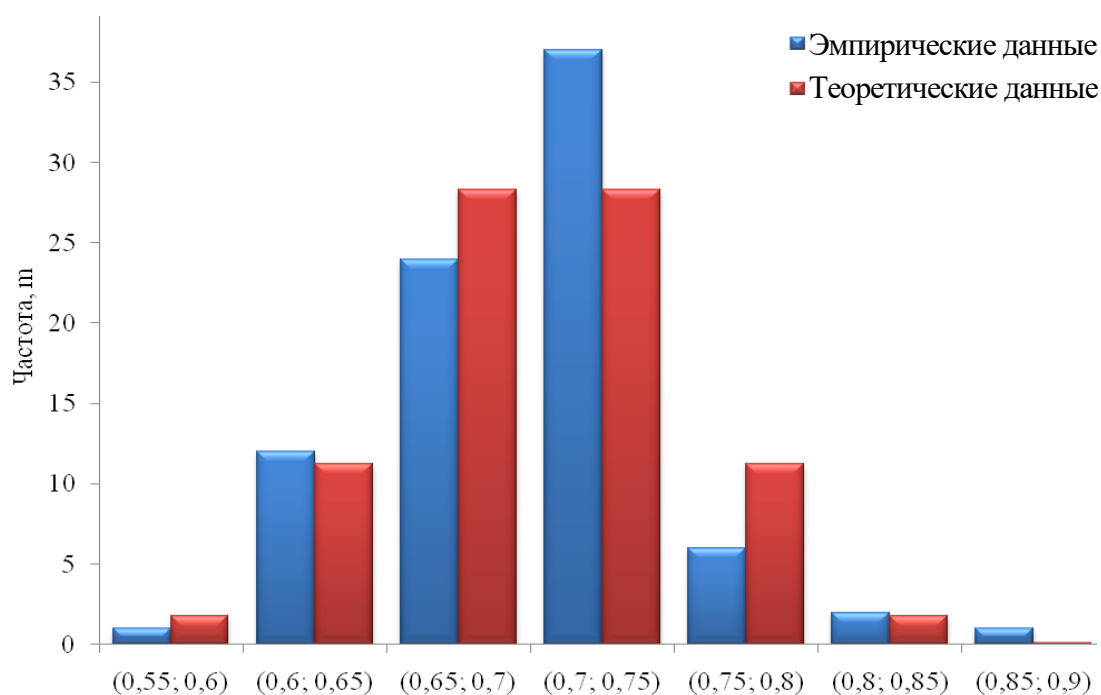
Для проверки критерия оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями были выдвинуты две гипотезы:

- 1) гипотеза H_0 – эмпирические данные подчиняются нормальному закону распределения;
- 2) гипотеза H_1 – эмпирические данные подчиняются альтернативному закону распределения.

Проверка гипотезы H_0 с использованием критерия Пирсона (χ^2) доказала, что эмпирические данные подчиняются нормальному закону распределения. На основе обработанных данных был построен график зависимости теоретических и эмпирических наблюдений (таблица 2; рисунок 4).

Таблица 2 – Эмпирические и теоретические данные распределения

m_j теор	1,78	11,28	28,33	28,33	11,28	1,78	0,11
m_j эмпир	1	12	24	37	6	2	1



Показатели оснащенности пожарно-спасательных подразделений современными образцами техники и оборудования субъектов РФ

Рисунок 4 – Графический анализ эмпирических и теоретических данных

Таким образом, для критерия оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями получены нормативные значения, что позволяет с их помощью осуществить группировку и распределение пожарных автомобилей в территориальные пожарно-спасательные гарнизоны.

Для исследования распределения пожарных автомобилей по критериям оперативной и технической готовности пожарных автомобилей и оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями

предложено использовать функцию аналогичную производственной функции Кобба – Дугласа:

$$Q = A_0 \cdot K^\alpha \cdot L^\beta \cdot M^\gamma, \quad (5)$$

где Q – показатель ранжирования территориальных пожарно-спасательных гарнизонов; A_0 – свободный член; K – критерий оперативной готовности пожарных автомобилей ($K_{ог}$); L – критерий технической готовности ($K_{тг}$); M – критерий оснащённости пожарными автомобилями ($K_{осн}$); α , β , γ – коэффициенты эластичности критериев K , L , M .

Для ранжирования территориальных пожарно-спасательных гарнизонов будем использовать нормированный вид функции:

$$Q = A_0 \cdot K^{\alpha^*} \cdot L^{\beta^*} \cdot M^{\gamma^*}, \quad (6)$$

где $A_0 = 1$ – нормированный свободный член; α^* – нормализованный коэффициент эластичности по оперативной готовности; β^* – нормализованный коэффициент эластичности по технической готовности; γ^* – нормализованный коэффициент эластичности по оснащённости пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями, при этом соблюдается условие: $1 = \alpha^* + \beta^* + \gamma^*$.

Так как в формуле (6) использовано три критерия, имеющие разную природу и степень влияния на распределение, поэтому возникает необходимость упорядочивания их по уровням важности, для чего производится модификация критериев, которая предусматривает выбор главного критерия и изменение второстепенных по принципу степенной функции:

$$y = A \cdot x^\theta, \quad (7)$$

где A – оценка по главному критерию; x – оценка по второстепенному критерию; θ – коэффициент важности.

При этом для критериев компонент функции Кобба – Дугласа главным критерием является тот, у кого коэффициент эластичности будет иметь максимальное значение.

Поиск коэффициентов важности θ производится путем составления и последующего решения системы линейных уравнений вида:

$$\begin{cases} \omega_1 \cdot m + \omega_1 \cdot \theta_1 + \dots + \omega_1 \cdot \theta_d + \omega_1 \cdot \theta_b = \theta_1 \\ \dots \\ \omega_d \cdot m + \omega_d \cdot \theta_1 + \dots + \omega_d \cdot \theta_d + \omega_d \cdot \theta_b = \theta_d \\ \dots \\ \omega_b \cdot m + \omega_b \cdot \theta_1 + \dots + \omega_b \cdot \theta_d + \omega_b \cdot \theta_b = \theta_b \end{cases}, \quad (8)$$

где ω_i – нормализованные коэффициенты функции Кобба – Дугласа; $\sum_{i=1}^m \omega_i$, m – количество критериев, входящих в функцию Кобба – Дугласа, при этом $b = m - 1$ и $d < b$.

Поэтому расчет коэффициентов важности θ и модификацию критериев оперативной, технической готовности и оснащенности проводим по следующим этапам:

1. Нормализуем полученную в ходе анализа функцию Кобба – Дугласа.
2. Составим систему линейных уравнений по виду (8).
3. Решаем систему уравнений метода Крамера.
4. Модифицируем исходные критерии.

Таким образом, в результате преобразований модифицированные критерии будут иметь вид:

$$Q_1 = M \cdot K^{\theta_{MK}} ; Q_2 = M \cdot L^{\theta_{ML}} ; Q_3 = M. \quad (9)$$

Применим предложенную многокритериальную модель поддержки управления для решения задачи распределения пожарных автомобилей. Воспользовавшись аналогией и обозначим K – критерий оперативной готовности ($K_{ог}$); L – критерий технической готовности ($K_{т.г}$); M – критерий оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями ($K_{осн}$); α^* – нормализованный коэффициент эластичности по оперативной готовности; β^* – нормализованный коэффициент эластичности по технической готовности; γ^* – нормализованный коэффициент эластичности по оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями.

При этом задача распределения вариантов по группам определяется принципами многокритериальной оптимизации, сводимые к построению оценки сверху для множества Парето, и предусматривают следующие включения:

$$P \subset B \subset C \quad (10)$$

где C – исходное множество вариантов; B – множество вариантов оптимальных по Парето по критериям K, L, M ; P – множество вариантов оптимальных по Парето по критериям Q_1, Q_2, Q_3 .

Необходимость исследования обусловлена получением ряда данных и ранжированием их по предпочтительности для получения наглядной обстановки с точки зрения достаточности пожарных автомобилей. Для этого предложено в новой задаче многокритериального выбора реализовать проверку векторных оценок вариантов на оптимальность по Парето.

В развернутом виде модель поддержки управления распределением пожарных автомобилей на основе функции Кобба – Дугласа представлена выше, но кратко ее можно описать с помощью алгоритма (рисунок 5).

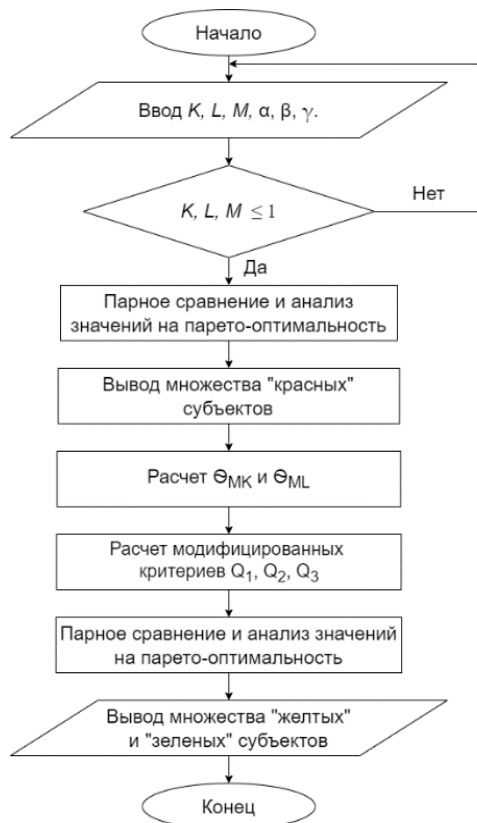


Рисунок 5 – Алгоритм поддержки управления распределением пожарных автомобилей на основе функции Кобба – Дугласа

Так как необходимость исследования обусловлена получением ряда данных и ранжированием их по предпочтительности для получения наглядной обстановки оснащения территориальных пожарно-спасательных гарнизонов и распределения пожарных автомобилей, в них предложено в новой задаче многокритериального выбора реализовать проверку векторных оценок вариантов на парето-оптимальность.

Используя модель поддержки управления распределением пожарных автомобилей на основе экономической функции Кобба – Дугласа, ранжирование полученных результатов предлагается проводить делением на группы.

Так, на основе разработанной модели поддержки управления распределением пожарных автомобилей будут выведены значения, характеризующие оснащение пожарными автомобилями территориальных гарнизонов пожарной охраны. Дальнейшее ранжирование значений предложено реализовать по принципу парето-оптимальности, который основан на 2 уровнях:

1) парное сравнение полученных значений каждого территориального пожарно-спасательного гарнизона и вывод оптимальных и неоптимальных гарнизонов;

2) модификация критериев, парное сравнение значений оптимальных территориальных пожарно-спасательных гарнизонов первого уровня и вывод оптимальных и неоптимальных.

В результате будут выделены 3 множества субъектов (территориальных пожарно-спасательных гарнизонов) – 3 группы:

- 1) «красная» – субъекты с минимальным уровнем оснащения;
- 2) «желтая» – субъекты со средним уровнем оснащения;
- 3) «зеленая» – субъекты с оптимальным уровнем оснащения.

Такая группировка позволит лицу, принимающему решение, наглядно увидеть обстановку в каждом конкретном пожарно-спасательном гарнизоне на фоне страны или федерального округа. Это значительно упростит процедуру принятия решений и выведет систему поддержки управления распределением пожарных автомобилей на новый уровень.

Для упорядочивания процедуры поддержки управления распределением пожарных автомобилей и ранжированию вариантов был разработан алгоритм, представленный на рисунке 6.

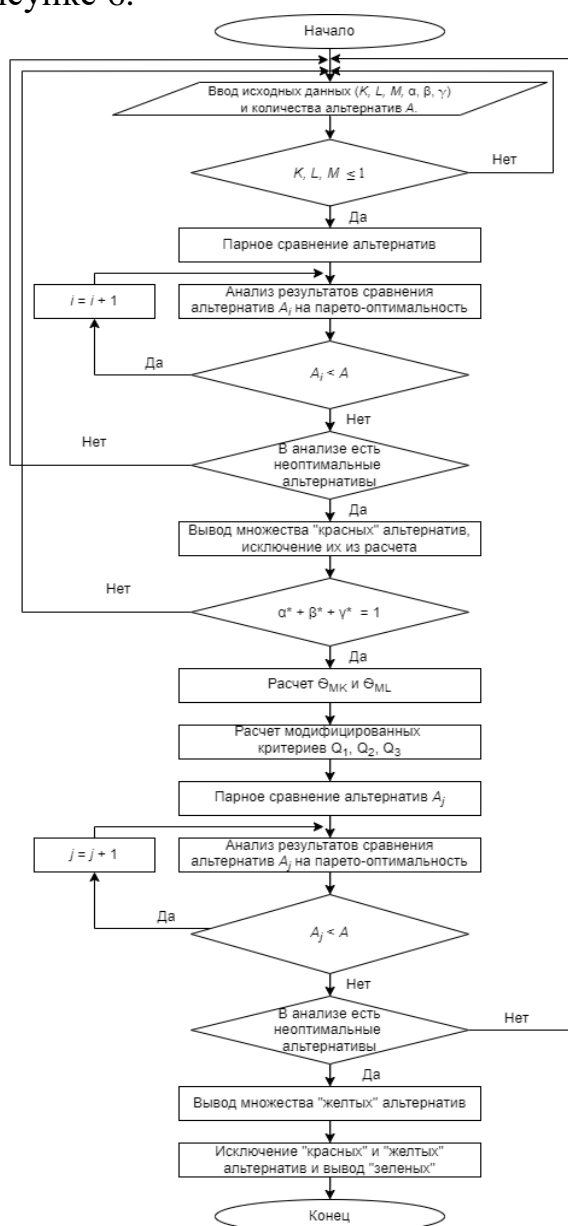


Рисунок 6 – Алгоритм группировки и ранжирования территориальных пожарно-спасательных гарнизонов

Разработанные алгоритмы являются непротиворечивыми и позволяют использовать модель принятия решений при распределении пожарных автомобилей в условиях ограниченных ресурсов и лимита финансирования.

В общем виде функциональная модель системы поддержки управления распределением пожарных автомобилей в территориальных гарнизонах пожарной охраны на основе оценки трех предложенных критериев представлена на рисунке 7.



Рисунок 7 – Модель поддержки управления распределением пожарных автомобилей

Модель имеет блочную структуру и включает в себя 3 блока:

1. Блок № 1 «Ввод или расчет значений» (ввод необходимых данных для расчета критериев оперативной и технической готовности и оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями или ввод уже готовых значений). Упорядоченные значения для каждого пожарно-спасательного гарнизона парно сравниваются по 3 критериям и проверяются на парето-оптимальность, в результате происходит вывод множества «красных» пожарно-спасательных гарнизонов (данные гарнизоны нуждаются в первоочередном оснащении).

2. Блок № 2 «Ввод данных» (определение и ввод критериев важности). После ввода значений производится расчет модифицированных критериев

по функции Кобба – Дугласа и проверка на парето-оптимальность, в результате осуществляется вывод множества «желтых» пожарно-спасательных гарнизонов (данные гарнизоны нуждаются во второстепенном оснащении).

Следующим шагом является анализ значений, полученных в блоках № 1 и 2 значений и вывод множества «зеленых» пожарно-спасательных гарнизонов (данные гарнизоны являются оптимальными с точки зрения оснащения для распределения в них пожарных автомобилей).

3. Блок № 3 «Вывод результатов расчетов с их ранжированием». В блоке происходит формирование отчета с делением субъектов по трем множествам («красных», «желтых», «зеленых»).

Таким образом, разработанная модель и алгоритмы по распределению пожарных автомобилей, позволяют структурировать и ранжировать значения критериев в территориальных гарнизонах пожарной охраны.

В третьей главе «Информационная система поддержки принятия решений при распределении пожарных автомобилей» описаны: разработанная информационная система для управления распределением пожарных автомобилей, практическая реализация предложенной в работе модели на примере территориальных пожарно-спасательных гарнизонов Уральского федерального округа.

Информационная система поддержки управления распределением пожарных автомобилей включает в себя три базы данных, содержащих информацию по природно-климатическим условиям, оперативной готовности и занятости пожарно-спасательных автомобилей, оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями; программу для ЭВМ по расчету критериев распределения.

Таким образом, используя информационную систему поддержки управления распределением пожарных автомобилей, упрощается задача принятия решений по оснащению, так как выбор лица, принимающего решение, будет обоснован обстановкой в территориальном пожарно-спасательном гарнизоне.

Пожарные автомобили в зависимости от направления оперативной деятельности делятся на 2 группы: основные пожарные автомобили и специальные пожарные автомобили. Специальные пожарные автомобили предназначены для выполнения специальных работ при пожаре, что предполагает меньшее количество выездов, а как следствие меньший износ узлов и деталей. Поэтому применение предложенной модели возможно для каждой группы пожарных автомобилей в отдельности.

В качестве примера практической реализации разработанной модели поддержки управления распределением пожарных автомобилей предложено использовать субъекты Уральского федерального округа Российской Федерации. В качестве исходных данных для решения поставленной задачи

распределения используются значения оперативной и технической готовности и оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями (таблица 3).

Таблица 3 – Распределение субъектов Уральского Федерального округа в зависимости от уровня оснащения для распределения в них пожарных автомобилей

Наименование субъекта РФ	Распределение по цветам	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>
Курганская область	D_0	0,989	0,868	0,686
Ямало-Ненецкий автономный округ	D_1	0,996	0,845	0,645
Тюменская область	D_1	0,996	0,857	0,661
Свердловская область	D_2	0,993	0,844	0,647
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	D_2	0,993	0,840	0,648
Челябинская область	D_2	0,982	0,838	0,643

Примечание: *первая группа*: варианты, вошедшие во множество P , т. е. $D_0 = P$;

вторая группа: варианты, вошедшие во множество B , но не вошедшие во множество P , т. е. $D_1 = B$;

третья группа: оставшиеся варианты, т. е. $D_2 = C \setminus B$.

Для наглядной интерпретации полученных результатов расчетов предложено создание интерактивной карты исследуемых субъектов по распределению пожарных автомобилей.

В результате исследования на парето-оптимальность можно сделать вывод, что из 6 субъектов (территориальных пожарно-спасательных гарнизонов) Уральского Федерального округа Российской Федерации разделяются на 3 группы по уровню оснащения пожарными автомобилями (см. таблицу 3):

1) *красная* (субъекты с минимальным уровнем оснащения, требующие первоочередного распределения пожарных автомобилей):

- Свердловская область;
- Ханты-Мансийский автономный округ – Югра;
- Челябинская область;

2) *желтая* (субъекты со средним уровнем оснащения, требующие второстепенного распределения пожарных автомобилей):

- Тюменская область;
- Ямало-Ненецкий автономный округ;

3) *зеленая* (субъекты с оптимальным уровнем оснащения):

- Курганская область.

Разработанная модель поддержки управления распределением пожарных автомобилей, выводит на новый уровень принятие решений в данной области, позволяет выявить наиболее слабые с данной точки зрения гарнизоны и оптимизировать процесс их оснащения.

В приложениях приведено содержание баз данных, полученных в результате мониторинга оперативной, технической готовности и оснащенности пожарно-спасательных гарнизонов Российской Федерации современными пожарными автомобилями, листинг программы для ЭВМ, свидетельства о государственной регистрации программы ЭВМ и баз данных, а также сведения о внедрении результатов исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные и практические результаты, которые были получены в процессе решения научной задачи, состоящей в разработке модели и алгоритмов поддержки управления распределением пожарных автомобилей в территориальные пожарно-спасательные гарнизоны, заключаются в следующем:

1. Выполнен анализ статистических показателей, а также публикаций в области поддержки управления распределением пожарных автомобилей, что позволяет сформулировать выводы о необходимости разработки новой регулирующей процедуры по реализации оценки состояния территориальных пожарно-спасательных гарнизонов с точки зрения оснащения и распределения в них пожарных автомобилей.

2. Предложен количественный показатель (критерий) оснащенности пожарно-спасательного гарнизона современными пожарными автомобилями и алгоритм его расчета для оценки уровня оснащения и использования его при распределении пожарных автомобилей как между территориальными пожарно-спасательными гарнизонами, так и на уровне подразделений.

3. Разработана модель поддержки управления распределением пожарных автомобилей в территориальные пожарно-спасательные гарнизоны, учитывающая оценки по критериям оперативной, технической готовности и оснащенности современными пожарными автомобилями территориальных пожарно-спасательных гарнизонов и позволяющая формализовать процедуру ранжирования и группировки вариантов для обоснованного принятия решений в области распределения пожарных автомобилей.

4. Разработан комплекс алгоритмов группировки и ранжирования территориальных пожарно-спасательных гарнизонов в порядке предпочтительности для оснащения с целью поддержки управления распределением пожарных автомобилей. Предложены способы визуализации процедуры для удобства применения лицом, принимающим решения по распределению пожарных автомобилей в территориальные пожарно-спасательные гарнизоны.

5. Создана информационная система поддержки принятия решений при распределении пожарных автомобилей, включающая информационные ресурсы (базы данных, программа по расчету критериев и программный комплекс многокритериального анализа). Применение системы на практике

позволит обоснованно принимать управленческие решения по распределению пожарных автомобилей на основе группировки и ранжирования территориальных пожарно-спасательных гарнизонов.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих изданиях:

I. Научные издания, рекомендованные ВАК России для публикации основных результатов исследования

1. Зайченко, Ю.С. Совершенствование информационно-аналитической модели принятия решений по переоснащению пожарной техники / Ю.С. Зайченко, С.А. Шкунов // Современные проблемы гражданской защиты. – 2018. – №4 (29). – С. 23–28.

2. Зайченко, Ю.С. Информационные ресурсы системы поддержки принятия решений по переоснащению парка основных пожарных автомобилей / Ю.С. Зайченко, Д.В. Тараканов, С.А. Шкунов // Технологии техносферной безопасности. – 2019. – №4 (86). – С. 62–70. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2019-4/08-04-19.ttb.pdf>.

3. Зайченко, Ю.С. Критерий оснащённости пожарно-спасательных подразделений современными образцами техники и оборудования / Ю.С. Зайченко // Современные проблемы гражданской защиты. – 2020. – №2 (35). – С. 5–10.

4. Зайченко, Ю.С. Модель поддержки принятия решений при управлении распределением мобильных средств пожаротушения / Ю.С. Зайченко, Д.В. Тараканов, С.А. Шкунов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение и ликвидация. – 2021. – №1 (21). – С. 64–70.

II. Другие научные издания

5. Зайченко, Ю.С. Исследование информационно-аналитической модели принятия решений по переоснащению парка основных пожарных автомобилей в территориальных пожарно-спасательных гарнизонах / С.А. Шкунов, Д.В. Тараканов, Ю.С. Зайченко // Сборник материалов XXIX Международной научно-практической конференции «Горение и проблемы тушения пожаров». – Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2017. – С. 465–469.

6. Зайченко, Ю.С. Методологические основы переоснащения парка основных автомобилей пожарно-спасательных гарнизонов / С.А. Шкунов, Ю.С. Зайченко, В.В. Роенко, С.В. Соколов, Д.В. Тараканов // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 468–471.

7. Зайченко, Ю.С. Комплексная методика ранжирования территориальных подразделений для переоснащения парка основными пожарными автомобилями / Ю.С. Зайченко, С.А. Шкунов, Д.В. Тараканов // Сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность». – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 365–366.

8. Зайченко, Ю.С. Анализ информационно-аналитической поддержки управления переоснащением пожарно-спасательного гарнизона / Ю.С. Зайченко, С.А. Шкунов, А.Н. Григорьев // Сборник материалов XXVII Международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2018». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 18–20.

9. Зайченко, Ю.С. Анализ системы эксплуатации пожарной техники / Ю.С. Зайченко, Д.В. Тараканов, С.А. Шкунов // Сборник материалов XXXI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности». – Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2019. –С. 306–308.

10. Зайченко, Ю.С. Влияние отказов пожарных автомобилей на их эксплуатацию / Ю.С. Зайченко // Сборник материалов 28-й Международной научно-технической конференции «Системы безопасности-2019» / под общ. ред. Н.Г. Топольского. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. –С.112–114.

11. Зайченко, Ю.С. Влияние оснащённости пожарно-спасательных подразделений современными образцами техники и оборудования на эксплуатацию / Ю.С. Зайченко // Сборник материалов Всероссийского круглого стола «Актуальные вопросы пожаротушения». – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная Академия ГПС МЧС России, 2020. – С. 18–20.

12. Зайченко, Ю.С. Оснащённость пожарно-спасательных подразделений современными образцами техники и оборудования / Ю.С. Зайченко, С.А. Шкунов, Д.В. Тараканов // Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России «Современные пожаробезопасные материалы и технологии». – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная Академия ГПС МЧС России, 2020. – С. 323–325.

13. Зайченко, Ю.С. Сравнительный анализ занятости пожарной техники территориальных пожарно-спасательных гарнизонов / Ю.С. Зайченко, С.А. Шкунов, А.А. Митюшкин, Д.В. Тараканов // Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России «Современные пожаробезопасные материалы и технологии». – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная Академия ГПС МЧС России, 2020. – С. 325–329.

14. Зайченко, Ю.С. Исследование модели управления переоснащением парка пожарных автомобилей / Ю.С. Зайченко, А.А. Митюшкин, Д.В. Тараканов // Сборник материалов XXXII Международной

научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности». – Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2020. – С. 747–750.

Свидетельства о государственной регистрации базы данных

15. Зайченко, Ю.С. Оперативная готовность пожарной техники Российской Федерации / Ю.С. Зайченко, С.А. Шкунов, А.А. Матюшкин, Д.В. Тараканов // Свидетельство о государственной регистрации базы данных от «16» апреля 2019 г. № 2019620619; дата и номер поступл. заяв. 28.03.2019 № 2019620456.– 1 с.

16. Зайченко, Ю.С. Показатели эксплуатации пожарно-спасательных автомобилей в субъектах Российской Федерации / Ю.С. Зайченко, С.А. Шкунов // Свидетельство о государственной регистрации базы данных от «30» декабря 2020 года № 2020622861; дата и номер поступл. заяв. 01.12.2020 № 2020622572.– 1 с.

17. Зайченко, Ю.С. Показатели оперативной и технической готовности и оснащённости современными пожарными автомобилями Московского территориального пожарно-спасательного гарнизона / Ю.С. Зайченко, С.А. Шкунов, Д.В. Тараканов, В.И. Шумов // Свидетельство о государственной регистрации базы данных от «03» сентября 2021 года № 2021621863; дата и номер поступл. заяв. 20.08.2021 № 2021621708.– 1 с.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

18. Зайченко, Ю.С. Расчет критериев эксплуатации пожарно-спасательной техники / Ю.С. Зайченко, С.А. Шкунов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от «26» октября 2020 года № 2020663285; дата и номер поступл. заяв.: 2020662586 13.10.2020.– Бюл. 11. – 1 с.

Подписано в печать 20.04.2022. Формат бумаги 60×84/1/16.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 728.
Академия ГПС МЧС России.
129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4