

На правах рукописи

Аристархов Владимир Анатольевич

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТЬЮ
ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ**

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
Сатин Алексей Петрович

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 «01» июня 2022 года в 12 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 04.2.002.01, созданного на базе Академии ГПС МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте: <https://academygps.ru/upload/iblock/3e8/3e8c6c2e3b7e1e9840fe3ce62b78ce2a.pdf>

Автореферат разослан «30» марта 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Р.Ш. Хабибулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Готовность пожарно-спасательных подразделений (ПСП) к выполнению задач напрямую зависит не только от наличия подготовленного личного состава, но и от их обеспеченности всеми видами необходимых материально-технических ресурсов, состоянием пожарной и аварийно-спасательной техники (ПАСТ), определяющей их техническую готовность. Мероприятия по обеспечению подразделений пожарными автомобилями и поддержанию техники в состоянии, обеспечивающем готовность к применению, проводятся должностными лицами в рамках технического обеспечения, являющегося частью системы материально-технического обеспечения (МТО).

В настоящее время в системе МЧС России произошли значительные организационно-штатные изменения, связанные с включением пожарно-спасательных подразделений в состав территориальных органов МЧС России и переходом на трехступенчатую систему управления, что, в свою очередь, повлекло за собой необходимость изменений в организации материально-технического обеспечения.

Перед лицами, принимающими решения по устойчивому функционированию организационной системы, которая отвечает за обеспечение технической готовности подразделений, остро встал вопрос поиска новых подходов к обоснованию принимаемых решений в изменившихся условиях. В исследуемой системе материально-технического обеспечения циркулирует большое количество информации, что актуализирует выбранную тему в части разработки современных моделей и алгоритмов управления готовностью подразделений на основе получения, обработки и использования данных о потребности, наличии и качественном состоянии пожарной и аварийно-спасательной техники, с учетом новой организационной структуры территориальных органов МЧС России.

Степень разработанности темы. Различные методы решения задач, связанных с поддержкой управления в организационных системах, а также аспекты решения вопросов, связанных с управлением в системе обеспечения пожарной безопасности, исследовались Т. Саати, Р. Акоффом, В.Н. Бурковым, В.В. Подиновским, Н.Н. Брушлинским, Н.Г. Топольским, И.Г. Малыгиным, А.И. Овсяником, С.В. Соколовым, А.В. Матюшиным, А.И. Мазаником, В.А. Седневым, А.Н. Денисовым, А.П. Сатиным, С.А. Шкуновым и др.

Авторы перечисленных исследований провели большую работу, направленную на определение нормативной потребности подразделений, однако изменения в структуре управления материально-техническим обеспечением актуализируют проблему дополнительных исследований по устойчивому функционированию организационной системы, на которую возложена задача управления технической готовностью пожарно-спасательных подразделений. При управлении такой организационной системой руководитель опирается на уже имеющуюся нормативную потребность в материально-технических ресурсах (указанную в табелях оснащенности и т.д.), а также на наличие и качественное состояние пожарных автомобилей.

Цель исследования – осуществление совершенствования управления технической готовностью пожарно-спасательных подразделений.

Основные задачи исследования:

1) анализ системы технического обеспечения пожарно-спасательных подразделений;

- 2) разработка моделей и алгоритмов поддержки принятия решений при:
 - управлении технической готовностью пожарно-спасательных подразделений;
 - управлении заменой пожарной и аварийно-спасательной техники;
 - планировании технического обеспечения пожарно-спасательных подразделений;
- 3) разработка структуры автоматизированной системы управления техническим обеспечением пожарно-спасательных подразделений.

Объект исследования – система управления материально-техническим обеспечением пожарно-спасательных подразделений.

Предмет исследования – модели и алгоритмы принятия решений должностными лицами органов управления при решении задач технического обеспечения территориальных органов МЧС России.

Научная новизна заключается в следующем:

1. Создана модель управления технической готовностью пожарно-спасательных подразделений территориального органа МЧС России;
2. Построены алгоритмы оценки технической готовности пожарно-спасательных подразделений, отличающиеся поэтапным проведением оценки технической готовности подразделений и наследованием полученных результатов.
3. Впервые разработан комплексный критерий определения образцов пожарной и аварийно-спасательной техники, подлежащих первоочередной замене.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке моделей и алгоритмов, дополняющих имеющиеся теоретические представления об управлении технической готовностью пожарно-спасательных подразделений и направленных на сокращение количества информации, позволяющих руководителю своевременно и качественно решать задачи по обеспечению технической готовности пожарно-спасательных подразделений территориального органа МЧС России.

Полученные результаты исследований используются в практической деятельности центрального аппарата и территориальных органов МЧС России в ходе организации технического обеспечения, а также в учебном и научном процессе образовательных учреждений.

Методология и методы исследования. В ходе исследования были использованы методы системного анализа, теории важности критериев, динамического программирования, общей и математической статистики, а также методы анкетирования и экспертной оценки.

Положения, выносимые на защиту:

1. Модель управления технической готовностью пожарно-спасательных подразделений территориального органа МЧС России.
2. Алгоритмы оценки технической готовности пожарно-спасательных подразделений территориального органа МЧС России.
3. Модель и алгоритм управления заменой пожарной и аварийно-спасательной техники территориального органа МЧС России.
4. Алгоритм поддержки должностных лиц при планировании технического обеспечения пожарно-спасательных подразделений территориального органа МЧС России.

Степень достоверности полученных результатов обеспечивается использованием официальных статистических данных, проведенной верификацией моделей, применением методов исследования, соответствующих цели и задачам работы, апробацией результатов работы.

Апробация работы.

Основные результаты диссертации обсуждались в рамках научных конференций, в том числе международных научно-практических конференций «Системы безопасности» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2017-2021 гг.), международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность» (Иваново, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020 г.), международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2020 г.).

Публикации:

По теме исследования опубликовано 13 работ, в том числе 5 работ в изданиях из перечня рекомендованного ВАК России. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Личный вклад автора. Личное участие соискателя в получении результатов заключается в разработке моделей и алгоритмов расчета показателей технической готовности пожарно-спасательных подразделений, комплексного критерия, модели и алгоритма определения образцов пожарной и аварийно-спасательной техники, подлежащих первоочередной замене.

Внедрение результатов работы. Результаты исследования нашли свое применение:

1) при создании зарегистрированной Роспатентом базы данных «База данных для поддержки управления техническим обеспечением подразделений МЧС России» № 2021622554 от 19.11.2021;

2) при создании зарегистрированной Роспатентом программы для ЭВМ «Информационная система управления техническим обеспечением подразделений МЧС России» № 2021681556 от 23.12.2021;

3) в учебном и научно-исследовательском процессах Академии ГПС МЧС России на кафедре информационных технологий (в составе УНК АСИТ), в том числе при выполнении научно-исследовательской работы, согласно п. 46 Плана научной работы на 2020 год, а также на кафедре пожарной техники (в составе УНК ПАСТ) при изучении дисциплины «Материально-техническое обеспечение деятельности МЧС России»;

4) в практической деятельности Главного управления МЧС России по Пензенской области при оценке технической готовности Главного управления МЧС России по Пензенской области.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. Общий объем диссертации составляет 189 страниц. Работа содержит 65 рисунков, 16 таблиц и 6 приложений. Список литературы включает 129 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, определены объект и предмет исследования, сформулирована цель и поставлены задачи. Показана научная новизна работы, её теоретическая и практическая значимость. Представлены положения, выносимые на защиту, сведения о внедрении и апробации результатов работы.

В первой главе «Анализ факторов, влияющих на управление техническим обеспечением» проведен анализ сложившейся системы технического обеспечения, как части системы материально-технического обеспечения территориальных органов

МЧС России, исследовано её развитие. Описана система управления техническим обеспечением пожарно-спасательных подразделений.

Проведено исследование качественного состояния парка мобильных технических средств (свыше 50,0 тыс. единиц) и информации, циркулирующей в системе материально-технического обеспечения МЧС России, рассмотрены применяющиеся информационно-аналитические системы («БАРС. Web.Свод» и др.).

Исследован порядок формирования плана материально-технического обеспечения территориального органа, предназначенного для обеспечения достижения заданных показателей, характеризующих, в том числе готовность подразделений к выполнению задач по назначению.

К таким показателям, в настоящее время, относятся:

- состояние техники, описываемое коэффициентом технической готовности (КТГ);
- обеспеченность техникой;
- выполнение плана технического обслуживания и ремонта.

В ходе анализа причинно-следственных связей с помощью диаграммы Исикавы выявлено 58 факторов, влияющих на качество организации технического обеспечения.

В соответствии с правилом Парето, с учетом дублирования факторов, отобрано 10 наиболее важных факторов, на которые целесообразно воздействовать, чтобы получить необходимый результат.

Проведены анкетирование и экспертная оценка по ранжированию указанных факторов. В анкетировании приняли участие представители учреждений (33 % опрошенных), территориальных органов (57 % опрошенных) и центрального аппарата МЧС России (10 % опрошенных), непосредственно занимающиеся вопросами технического обеспечения. В число экспертов вошли представители учреждений (7 % экспертов), территориальных органов (72 % экспертов) и центрального аппарата МЧС России (21 % экспертов), в ранге не ниже заместителя руководителя территориального органа. Результаты экспертной оценки в целом совпали с результатами анкетирования (рисунок 1).

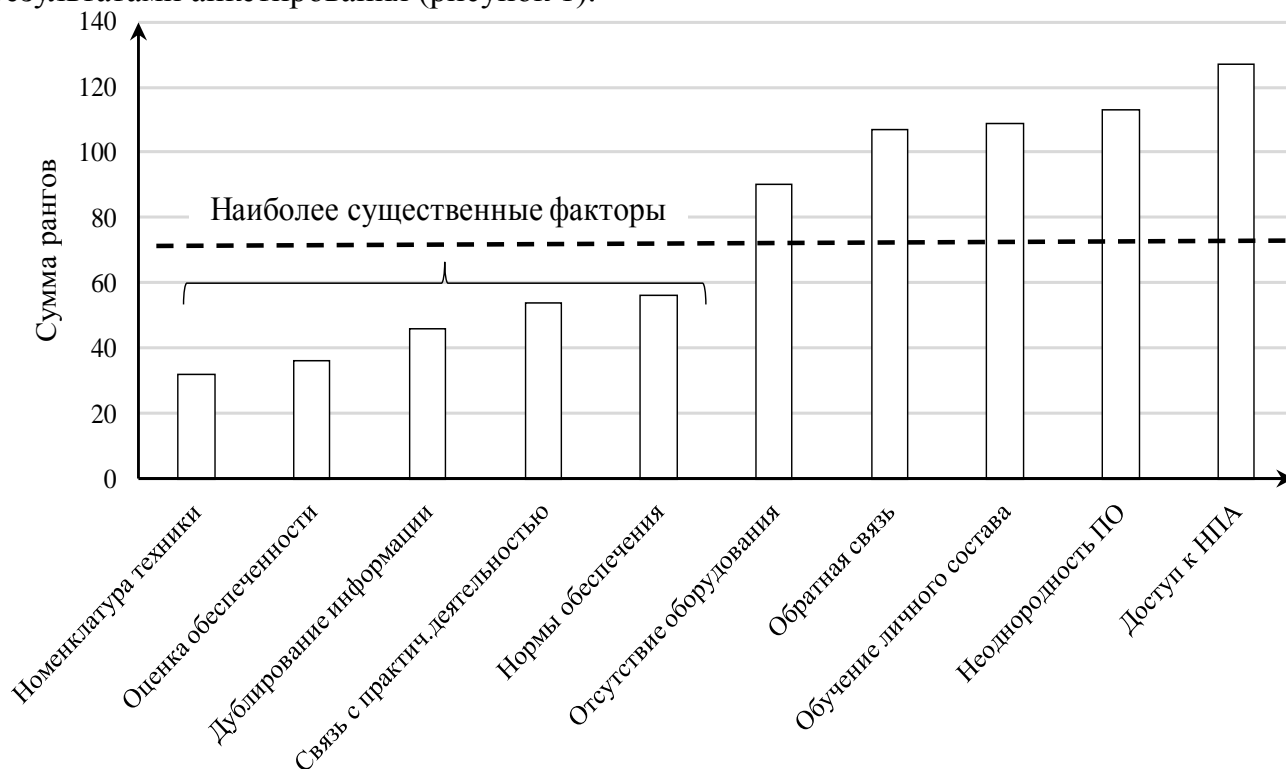


Рисунок 1 – Результаты экспертной оценки негативных факторов

Из диаграммы, приведенной на рисунке 1, следует, что наиболее существенными факторами, оказывающими негативное влияние на управление техническим обеспечением, являются факторы, связанные с отсутствием единой номенклатуры мобильных технических средств, отсутствием единого подхода к расчету обеспеченности, дублированием информации, отсутствием связи с практической деятельностью, а также расчетом норм обеспечения.

Таким образом, проведенный анализ позволил выявить наиболее существенные факторы, негативно влияющие на организацию управления техническим обеспечением, и подтвердить актуальность разработки моделей и алгоритмов управления технической готовностью пожарно-спасательных подразделений.

Во второй главе «Модели принятия решений должностными лицами при управлении техническим обеспечением» проведено последовательное рассмотрение выявленных факторов, представлены предложения по снижению их негативного воздействия.

На основании ранее разработанной номенклатуры мобильных технических средств¹, с целью решения проблемы дублирования информации, проведён инжиниринг процесса представления информации, за счет применения для оперативного учета специальных отчётных форм («Расшифровка к 1ТЕХ»), содержащих необходимые сведения об образцах пожарной техники и обеспечивающих использование информации в целях поддержки руководителя при решении задач как технического обеспечения, так и оперативного управления.

Проведен реинжиниринг процесса управления содержанием мобильных технических средств, в том числе пожарных автомобилей. Установлено, что действующий норматив на содержание пожарных автомобилей не зависит ни от природно-климатических условий региона эксплуатации, ни от вида и типа технического средства, что, как показывает практика, не может обеспечить качество принимаемых управленческих решений.

По итогам анализа разработаны и апробированы предложения по уточнению существующего подхода с учетом выявленных проблемных вопросов (рисунок 2).

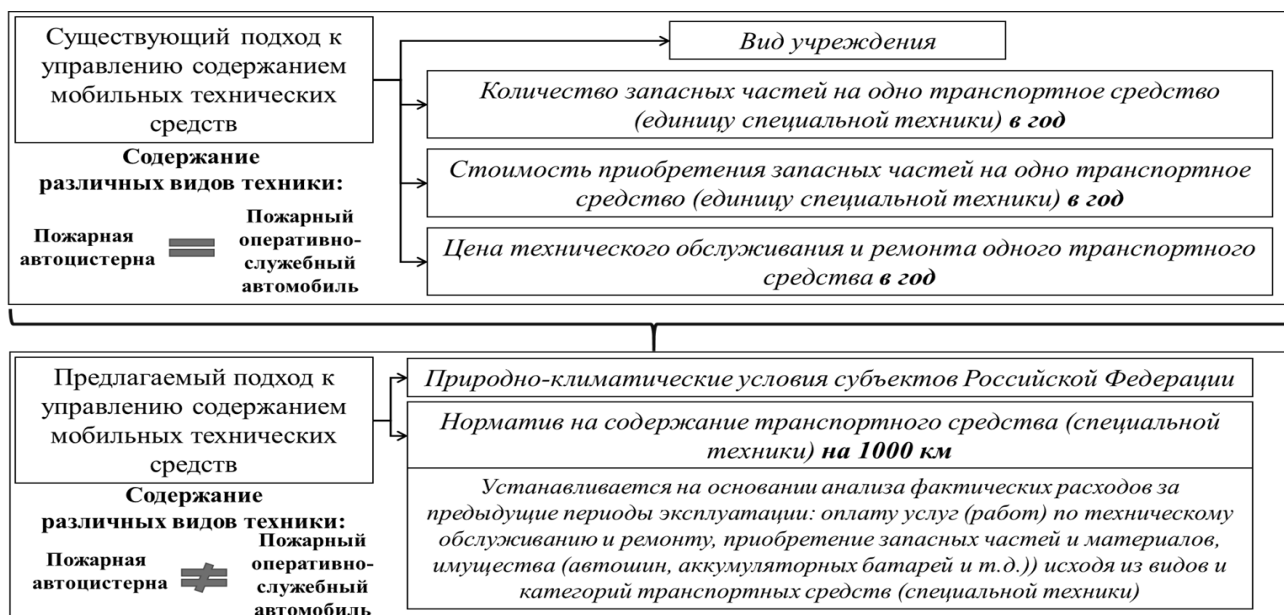


Рисунок 2 – Подходы к управлению содержанием мобильных технических средств

¹ Доведена до территориальных органов и учреждений МЧС России телеграммой директора Департамента материально-технического обеспечения МЧС России от 17.09.2015 № 8-3-4-3693

Для обеспечения поддержки принятия решений при управлении содержанием мобильных технических средств, в том числе пожарных автомобилей, разработана модель определения объемов финансовых средств в планируемом периоде на 1 километр планируемого пробега в год ($Z_{\text{ТЕХ}}$).

Полученная математическая модель учитывает вид и шасси мобильных технических средств, а также природно-климатические условия региона эксплуатации:

$$Z_{\text{ТЕХ}} = 0,001 \times \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (Q_{ij\text{ТС}} \times N_{ij\text{ТЕХ}} \times k_{\text{суб}}), \quad (1)$$

где $Q_{ij\text{ТС}}$ – количество мобильных технических средств на шасси транспортных средств i -го вида и j -ой категории, шт;

$N_{ij\text{ТЕХ}}$ – норматив затрат на содержание i -го вида и j -ой категории мобильных технических средств на шасси транспортных средств, руб/тыс км;

$k_{\text{суб}}$ – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия субъекта Российской Федерации;

m и n – количество категорий и видов мобильных технических средств соответственно.

Таким образом, предлагается переход к расчету с учетом использования техники в планируемом периоде (в км) и значений норматива затрат для каждого вида и категории мобильных технических средств, установленного по итогам статистического наблюдения за объемами затрат на содержание мобильных технических средств в предыдущих периодах.

Учитывая, что руководитель, принимая решение об организации технического обеспечения подразделений, опирается в первую очередь на качественное состояние пожарных автомобилей, проведено описание их технического состояния в зависимости от срока службы на примере основного пожарного автомобиля (автоцистерны).

Схема изменения качественного состояния пожарной автоцистерны приведена на рисунке 3.

На каждом шаге (отчетном году) образец пожарного автомобиля, в силу различных причин, может переходить в различные качественные состояния, описываемые соответствующими категориями по техническому состоянию.

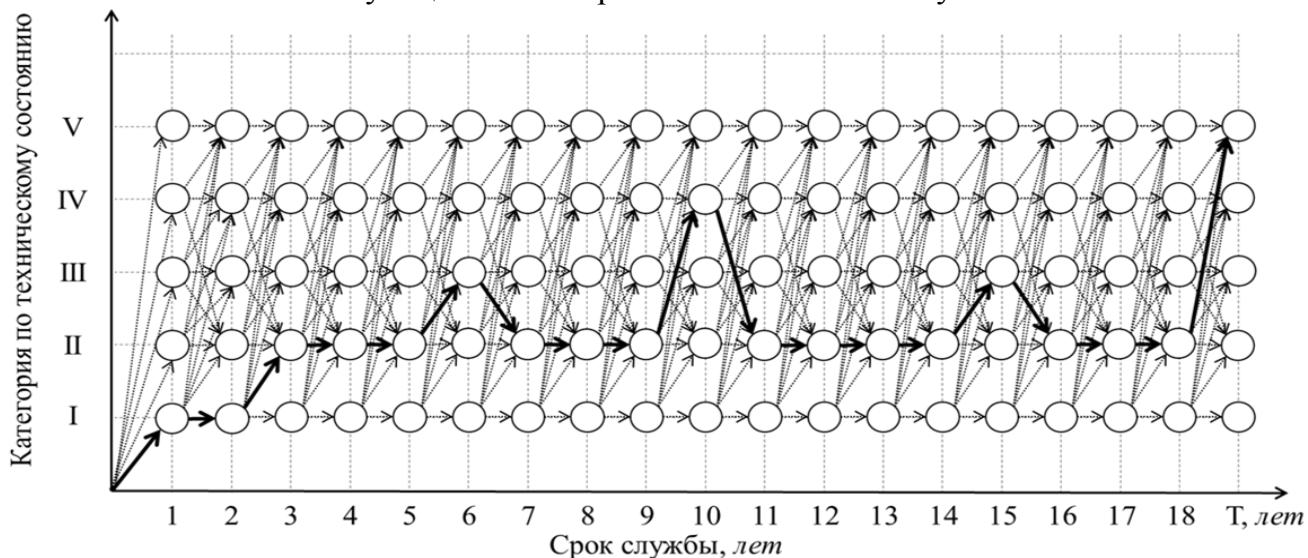


Рисунок 3 – Схема нахождения образца в различных технических состояниях

Как условие перехода можно рассматривать величину затрат, характеризующую

переход из третьей или четвертой категорий по техническому состоянию во вторую категорию или затраты на обеспечение нахождения образца во второй категории.

Процесс принятия решения в данном случае целесообразно формализовать по принципу оптимизации Беллмана для задачи замены оборудования, приняв N_k в качестве параметра образца в момент принятия решения:

$$f_k = (N_k, t) = \left\{ \begin{array}{l} Z_{min}(t+1), t \leq 2 \text{ если } N_k = N^I \\ (Z_{min} + Z_{год})(t+1), t \leq 2 \text{ если } N_k = N^{II} \\ Z_{год}(t+1), 3 \leq t \leq 5 \text{ если } N_k = N^{II} \\ (Z_{год} + Z_{cp})(t+1), t = 6 \text{ если } N_k = N^{II} \\ (Z_{xp})(t+1), t = 6 \text{ если } N_k = N^{III} \\ Z_{год}(t+1), 7 \leq t \leq 9 \text{ если } N_k = N^{II} \\ (Z_{год} + Z_{кр})(t+1), t = 10 \text{ если } N_k = N^{II} t_{max} = t_{норм} + 5 \\ (Z_{xp})(t+1), t = 10 \text{ если } N_k = N^{IV} \\ (Z_{год})(t+1), 11 \leq t \leq 14 \text{ если } N_k = N^{II} \\ (Z_{год} + Z_{cp})(t+1), t = 15 \text{ если } N_k = N^{II} \\ (Z_{xp})(t+1), t = 15 \text{ если } N_k = N^{III} \\ (Z_{год} + k^{стар} Z_{нп})(t+1), 16 \leq t \leq 18 \text{ если } N_k = N^{II} \\ (Z_{xp})(t+1), t = 18 \text{ если } N_k = N^V \\ C_0^{баз} + Z_{min} \text{ при замене образца} \end{array} \right. \quad (2)$$

где Z_{min} , $Z_{год}$, Z_{cp} , $Z_{кр}$ - затраты на эксплуатацию пожарной техники: минимальные (в период гарантийного срока эксплуатации), среднегодовые (затраты на все виды технического обслуживания и текущий ремонт), на средний и капитальный ремонт;

N^I , N^{II} и N^{III} , N^{IV} , N^V - параметры состояния, соответствующие I - V категориям по техническому состоянию;

t - год принятия решения;

$k^{стар}$ - коэффициент, учитывающий старение техники.

Для решения задачи минимизации эксплуатационных затрат предлагается адаптировать уравнение Беллмана для функции $Z_k(t)$, заменив задачу максимизации прибыли задачей минимизации затрат:

$$Z_{18} = \min \left\{ \sum_{i=1}^2 Z_{min} + \sum_{i=3}^6 Z_{год} + Z_{cp} + \sum_{i=7}^9 Z_{год} + Z_{кр} + \sum_{i=11}^{14} Z_{год} + Z_{cp} + \sum_{i=16}^{18} (Z_{год} + k^{стар} Z_{нп}) + \sum_{i=19}^{\infty} Z_{xp} \right. \\ \left. C_0^{баз} + Z_{min} \text{ при замене образца} \right. \quad , \quad (3)$$

где i - год эксплуатации образца.

В данном случае задачей поддержки управления техническим обеспечением является минимизация времени нахождения образца в неисправном состоянии за счет своевременного получения руководителем подразделения достоверной информации о качественном состоянии образца.

Характеристикой качественного состояния образца выступают категории по техническому состоянию. При этом категория по техническому состоянию рассматривается, как функция $K_{ТС}$ (Г, ТС, ТВ, Р). Соответственно состояние образца можно описать зависимостью:

$$N_k = K_{TC}(Г, ТС, ТВ, Р), \quad (4)$$

где Г, ТС, ТВ, Р – критерии отнесения образца к различным категориям. Предлагаемые условия категорирования образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Условия отнесения образца к категории по техническому состоянию

Критерий Категория	Гарантийный срок (Г)	Техническое состояние (ТС)	Вид требуемого технического воздействия (ТВ)	Ресурс (Р)
I	не истёк	работоспособное	не требует	$P \geq 90\%$
II	истёк	работоспособное (неработоспособное)	не требует или требует ТР (ресурсы для выполнения имеются)	не устанавли- вается
III	истёк	неработоспособное	требует СР или ТР, доукомплектования за счет дополнительных ресурсов	$P \geq 50\%$
IV	истёк	неработоспособное	требует КР или РР	$P \geq 25\%$
V	истёк	неработоспособное	нецелесообразно	$P \rightarrow 0\%$

Для поддержки управления при категорировании по техническому состоянию образцов пожарных автомобилей разработан специальный алгоритм, представленный на рисунке 4. Своевременное выявление неисправных пожарных автомобилей позволяет получить экономический эффект в размере до 10 % от стоимости образца в год.

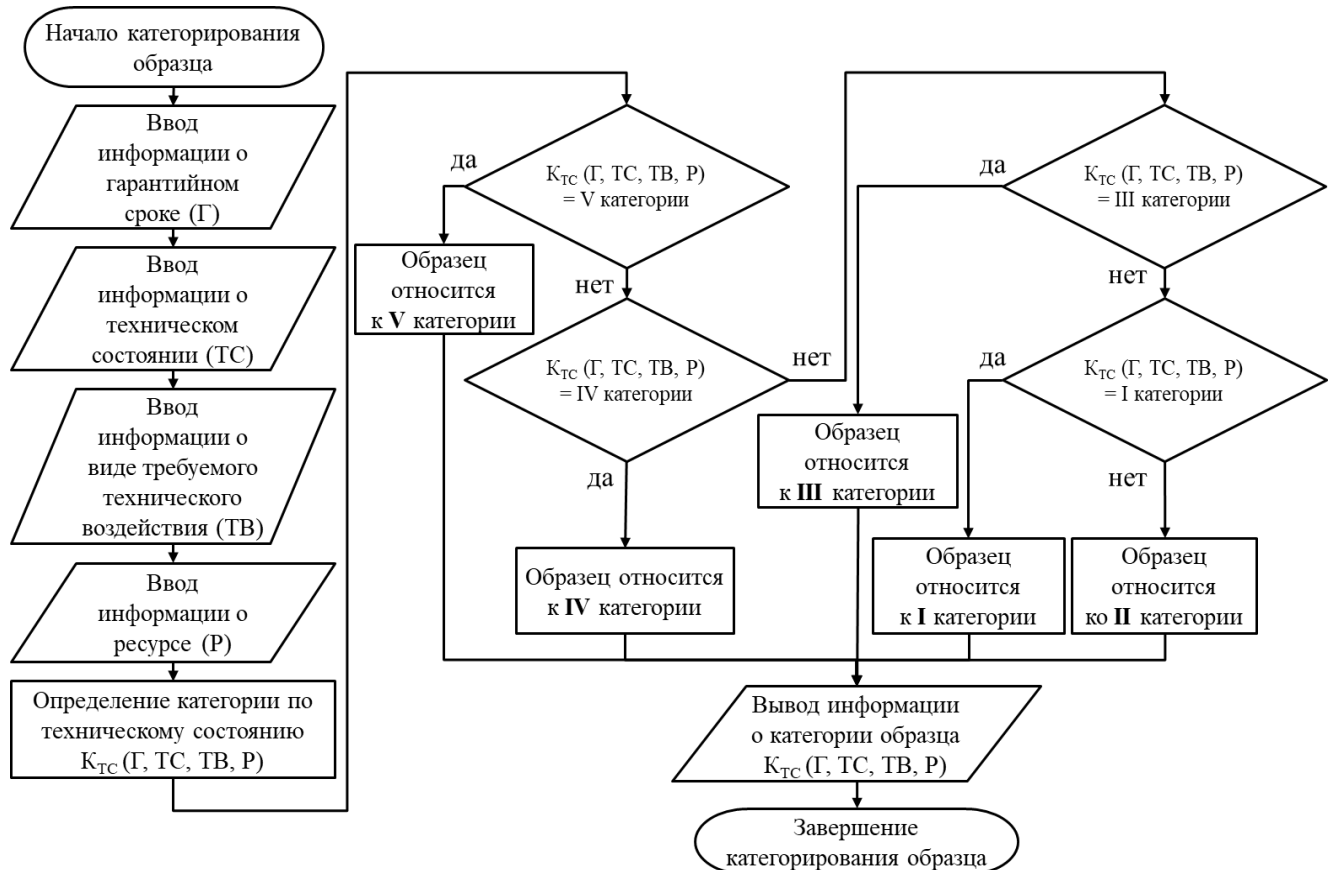


Рисунок 4 – Алгоритм определения категории по техническому состоянию пожарной и аварийно-спасательной техники (алгоритм К)

Таким образом, получены необходимые базовые модели для разработки моделей и алгоритмов поддержки управления технической готовностью автомобилей исследуемого подразделения.

В третьей главе «Поддержка управления технической готовностью пожарно-спасательных подразделений территориального органа» на основании полученных результатов произведена разработка модели управления технической готовностью подразделений, входящих в состав территориального органа МЧС России.

В ходе анализа, применяющихся в системе МЧС России показателей эффективности, рассмотренных в первой главе работы, установлено следующее:

- при расчете коэффициента технической готовности и обеспеченности в расчетах учитывается излишествующая техника, что снижает объективность оценки обеспеченности;

- организация технического обслуживания и ремонта оперирует исключительно количеством проведенных операций, не отражая их влияния на техническую готовность подразделения.

Вместе с тем, проведенный анализ показал необходимость и возможность использования для управления технической готовностью таких показателей как:

- расчетная обеспеченность ($Об_{расч}$) и коэффициент технической готовности, оперирующих количеством техники, предусмотренной табелем оснащенности и иными нормативными документами. Значение коэффициента технической готовности позволяет сделать вывод о потенциальной возможности выполнять задачи по наличию исправной пожарной и аварийно-спасательной техники;

- минимальная обеспеченность ($Об_{min}$), оперирующей количеством техники, предусмотренной исключительно табелем оснащенности (нормами обеспечения). Значение минимальной обеспеченности позволяет сделать вывод о готовности к выполнению задач исходя из наличия и состояния пожарной и аварийно-спасательной техники.

В данном случае техническая готовность исследуемого подразделения к выполнению задач по назначению будет описываться как функция технической готовности ($Об_{расч}$, $Об_{min}$, КТГ), результаты которой служат для подготовки и принятия управленческих решений.

Кроме того, в ходе исследования установлено, что при формировании плана материально-технического обеспечения не происходит наследование результатов полученных на предыдущем уровне расчетов – расчеты обеспеченности на каждом уровне управления проводятся заново. При этом наличие в некоторых подразделениях излишествующей и неиспользуемой техники приводит к искажению общего результата расчетов.

Таким образом, для определения расчетной обеспеченности, минимальной обеспеченности и коэффициентом технической готовности k -ым видом пожарных автомобилей, предлагается использовать формулы (5)-(7):

$$Об_{kрасч} = \frac{N_{kфакт.расч}}{N_{kнп}}, \quad (5)$$

где $N_{kфакт.расч}$ – фактическое количество имеющихся в подразделении пожарных автомобилей k -го вида;

$N_{kнп}$ - количество пожарных автомобилей k -го вида, предусмотренных табелем оснащенности с учетом создания резерва.

$$\text{Об}_{k\min} = \frac{N_{k\text{факт.}\min}}{N_{k\text{НПтаб}}}, \quad (6)$$

где $N_{k\text{факт.}\min}$ – фактическое количество имеющихся в подразделении пожарных автомобилей k -го вида, входящих в состав караулов (без учета пожарных автомобилей, находящихся в резерве);

$N_{k\text{НПтаб}}$ – количество пожарных автомобилей k -го вида, согласно таблице оснащённости без учета пожарных автомобилей, входящих в резерв.

$$\text{КТГ}_k = \frac{N_{k\text{испр}}}{N_{k\text{спис}}}, \quad (7)$$

где $N_{k\text{испр}}$ – фактическое количество исправных (работоспособных) имеющихся в подразделении пожарных автомобилей k -го вида;

$N_{k\text{спис}}$ – общее количество имеющихся в подразделении пожарных автомобилей k -го вида.

Фактическое количество имеющихся в подразделении пожарных автомобилей k -го вида, с учетом наличия излишествующей техники, можно рассчитать по следующей формуле:

$$N_{k\text{факт.расч}} = \begin{cases} \sum_{h=1}^4 (N_{k\text{таб}h} + N_{k\text{резерв}h}), & \text{если } \sum_{h=1}^4 (N_{k\text{таб}h} + N_{k\text{резерв}h}) \leq N_{k\text{НП}} \\ N_{k\text{НП}}, & \text{если } \sum_{h=1}^5 (N_{k\text{таб}h} + N_{k\text{резерв}h}) > N_{k\text{НП}} \end{cases} \quad (8)$$

где $N_{k\text{таб}h}$ – количество имеющихся, предусмотренных таблицей оснащённости пожарных автомобилей (без учета резерва), по своему техническому состоянию относящихся к категории h по техническому состоянию;

$N_{k\text{резерв}h}$ – количество имеющихся, предусмотренных требованиями по созданию резерва, пожарных автомобилей, по своему техническому состоянию относящихся к категории h по техническому состоянию.

Аналогично, можно записать следующие формулы:

$$N_{k\text{факт.}\min} = \begin{cases} \sum_{h=1}^3 N_{k\text{таб}h}, & \text{если } \sum_{h=1}^3 N_{k\text{таб}h} \leq N_{k\text{НПтаб}} \\ N_{k\text{НПтаб}}, & \text{если } \sum_{h=1}^3 N_{k\text{таб}h} > N_{k\text{НПтаб}} \end{cases} \quad (9)$$

$$N_{k\text{испр}} = \begin{cases} \sum_{h=1}^2 (N_{k\text{таб}h} + N_{k\text{резерв}h}), & \text{если } \sum_{h=1}^2 (N_{k\text{таб}h} + N_{k\text{резерв}h}) \leq N_{k\text{НП}} \\ N_{k\text{НП}}, & \text{если } \sum_{h=1}^2 (N_{k\text{таб}h} + N_{k\text{резерв}h}) > N_{k\text{НП}} \end{cases} \quad (10)$$

$$N_{k\text{спис}} = \begin{cases} \sum_{h=1}^5 (N_{k\text{таб}h} + N_{k\text{резерв}h}), & \text{если } \sum_{h=1}^5 (N_{k\text{таб}h} + N_{k\text{резерв}h}) \leq N_{k\text{НП}} \\ N_{k\text{НП}}, & \text{если } \sum_{h=1}^5 (N_{k\text{таб}h} + N_{k\text{резерв}h}) > N_{k\text{НП}} \end{cases} \quad (11)$$

Вычисления проводятся для каждого отдельного пожарно-спасательного подразделения, входящего в состав территориального органа МЧС России.

На основании полученных данных проводятся расчеты общей расчетной обеспеченности ($\text{Об}_{j\text{расч}}$), минимальной обеспеченности ($\text{Об}_{ik\min}$) и коэффициента технической готовности (КТГ_{jk}) j -го подразделения. Расчеты проводятся исходя из количества видов пожарных автомобилей, имеющихся в подразделении (f) по формулам (12)-(14):

$$\text{Об}_{j\text{расч}} = \frac{\sum_{k=1}^f N_{k\text{факт.расч}}}{\sum_{k=1}^f N_{k\text{НП}}} \quad (12)$$

$$\text{Об}_{j\text{min}} = \frac{\sum_{k=1}^f N_{k\text{факт.min}}}{\sum_{k=1}^f N_{k\text{НПтаб}}} \quad (13)$$

$$\text{КТГ}_j = \frac{\sum_{k=1}^f N_{k\text{испр}}}{\sum_{k=1}^f N_{k\text{спис}}} \quad (14)$$

В отличие от применяющегося подхода, при расчетах обеспеченности используются полученные на предыдущем шаге данные, что в дальнейшем повышает объективность проводимых расчетов.

Расчеты для i -го отряда федеральной противопожарной службы, в состав которого входят d подразделений, будут проводиться по формулам (15)-(17):

$$\text{Об}_{i\text{расч}} = \frac{\sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{jk\text{факт.расч}}}{\sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{jk\text{НП}}} \quad (15)$$

$$\text{Об}_{i\text{min}} = \frac{\sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{jk\text{факт.min}}}{\sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{jk\text{НПтаб}}} \quad (16)$$

$$\text{КТГ}_i = \frac{\sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{jk\text{испр}}}{\sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{jk\text{спис}}} \quad (17)$$

Аналогично рассчитываются показатели для x -го территориального органа, в состав которого входят q отрядов противопожарной службы (18)-(20):

$$\text{Об}_{x\text{расч}} = \frac{\sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{ijk\text{факт.расч}}}{\sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{ijk\text{НП}}} \quad (18)$$

$$\text{Об}_{x\text{min}} = \frac{\sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{ijk\text{факт.min}}}{\sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{ijk\text{НПтаб}}} \quad (19)$$

$$\text{КТГ}_x = \frac{\sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{ijk\text{испр}}}{\sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{ijk\text{спис}}} \quad (20)$$

В зависимости от количества y территориальных органов и учреждений центрального подчинения общие показатели за МЧС России будут рассчитываться по формулам (21)-(23):

$$\text{Об}_{\text{расч}} = \frac{\sum_{x=1}^y \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{xijk\text{факт.расч}}}{\sum_{x=1}^y \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{xijk\text{НП}}}, \quad (21)$$

$$\text{Об}_{x\text{min}} = \frac{\sum_{x=1}^y \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{xijk\text{факт.min}}}{\sum_{x=1}^y \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{xijk\text{НПтаб}}}, \quad (22)$$

$$КТГ_x = \frac{\sum_{x=1}^y \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{xijklспр}}{\sum_{x=1}^y \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^f N_{xijklспис}} \quad (23)$$

Для определения количественных значений коэффициента технической готовности проведен анализ значений данного коэффициента для территориальных органов МЧС России на 01.01.2021. Как показало исследование, значение коэффициента технической готовности, рассчитанное с помощью предлагаемого подхода, составляет 0,85, что, с учетом погрешности представленных сведений, соответствует минимально допусжаемому значению исследуемого коэффициента.

Построена модель управления технической готовностью (рисунок 5) подразделений территориального органа на примере пожарных автомобилей, основывающаяся на нормативной потребности, установленной табелями оснащенности и иными нормативными документам, а также количестве и качественном состоянии имеющихся пожарных автомобилей.

Значение показателя минимальной обеспеченности $Об_{min}$ было принято равным значению обеспеченности, приведенном в государственной программе Российской Федерации «Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечение пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах».

Значение расчетной обеспеченности $Об_{расч}$ стремится к 100 %, что будет соответствовать полной укомплектованности подразделений в соответствии с табелями оснащенности (нормами обеспечения).

Таким образом, условие технической готовности территориального органа в целом можно записать в виде:

$$ТГ_{ТО} = \begin{cases} \text{готов, если } Об_{расч} > 0 \text{ и } Об_{min} \geq 81\% \text{ и } КТГ \geq 0,85 \\ \text{не готов, если } Об_{расч} = 0 \text{ или } Об_{min} < 81\% \text{ или } КТГ < 0,85 \end{cases} \quad (24)$$

Использование предложенных показателей позволяет ввести оценку степени необходимости вмешательства в процесс управления техническим обеспечением вышестоящего органа (таблица 2).

Таблица 2 – Степень необходимости вмешательства ЛПР

Степень необходимости вмешательства ЛПР	Показатели		
	$Об_{расч}$	$Об_{min}$	КТГ
Не требуется	= 100%	$\geq 81\%$	$\geq 0,85$
Низкая	< 100%	$\geq 81\%$	$\geq 0,85$
Высокая	< 100%	< 81%	< 0,85

Использование сведений из таблицы 2 позволит визуализировать полученные результаты с применением цветовой схемы «светофор», где высокая степень необходимости вмешательства ЛПР соответствует красному цвету, низкая – желтому цвету. Если вмешательство не требуется, используется зеленый цвет.

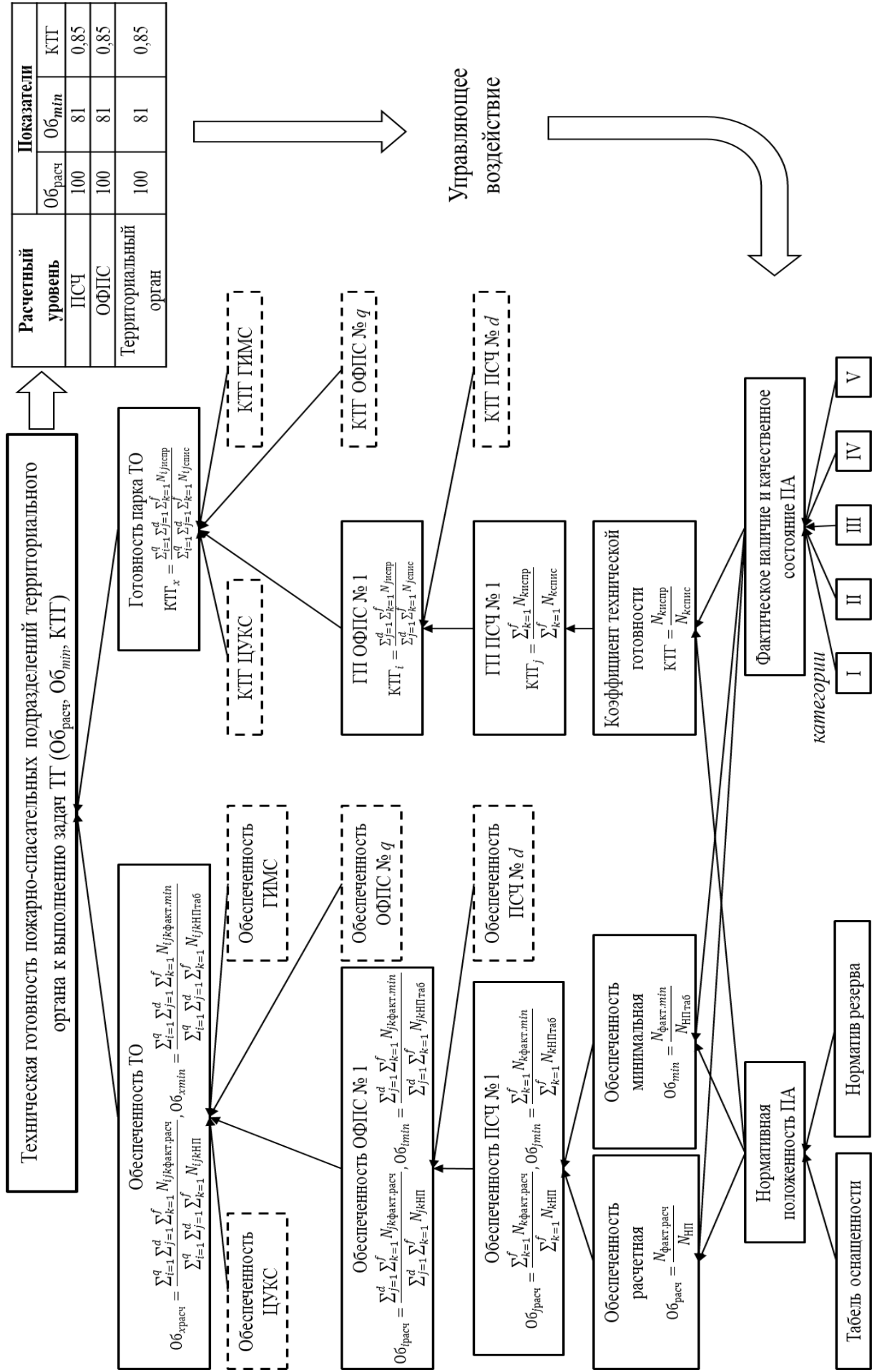


Рисунок 5 – Модель управления технической готовностью пожарно-спасательных подразделений

С учётом полученных результатов разработан алгоритм расчета обеспеченности подразделений пожарными автомобилями, представленный на рисунке 6 (блок-схема О).

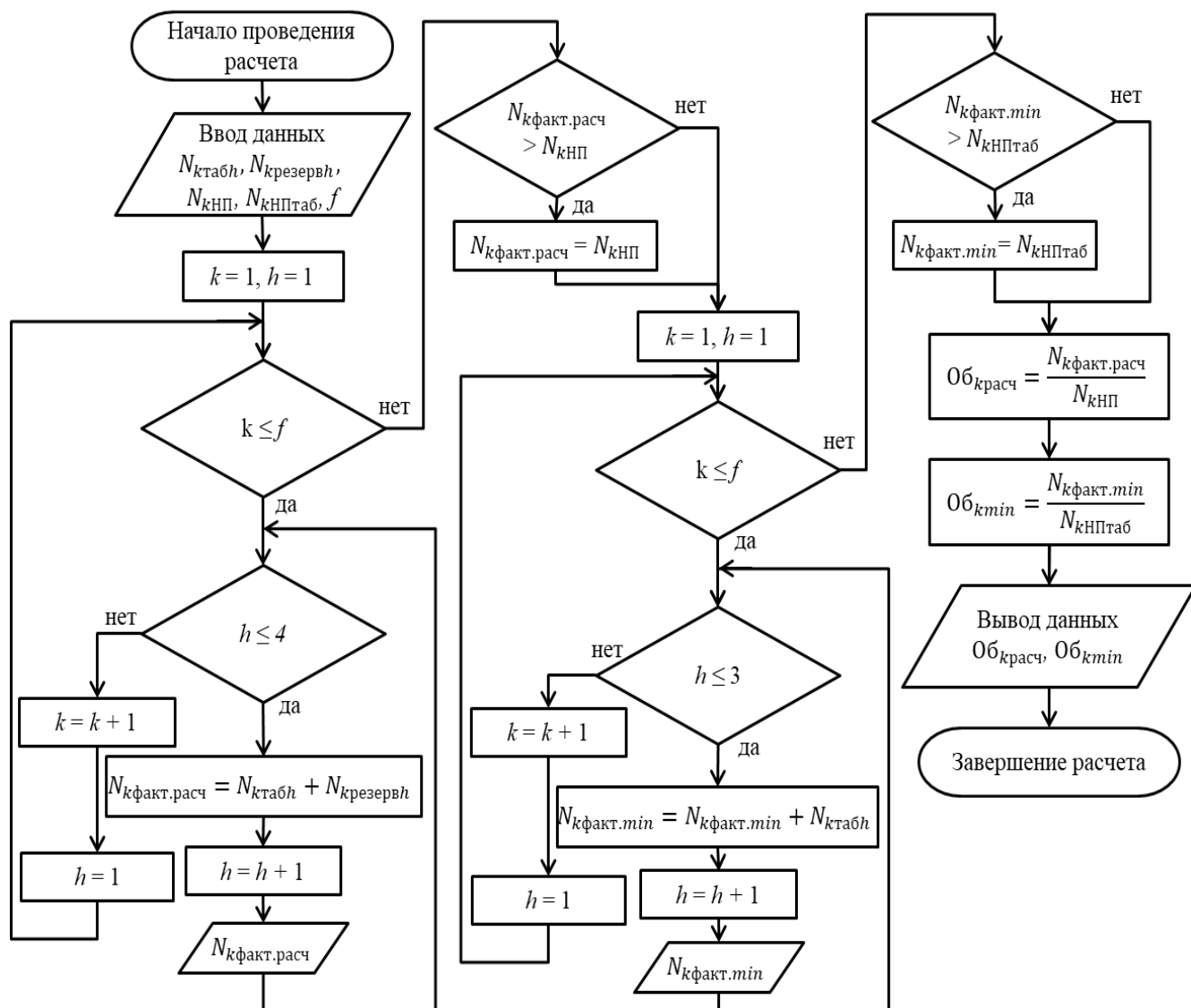


Рисунок 6 – Алгоритм расчета обеспеченности подразделений пожарными автомобилями (алгоритм О)

В основе блок-схемы лежат два основных и два вспомогательных цикла расчета, в ходе которых производится соответственно вычисление значений $N_{k\text{факт.расч}}$ и $N_{k\text{факт.min}}$, необходимых для расчета значений обеспеченности.

Структура алгоритма подразумевает проведение достаточно большого количества однотипных вычислений, которые целесообразно проводить с использованием средств вычислительной техники.

Для расчета коэффициента технической готовности пожарно-спасательных подразделений разработан специальный алгоритм, представленный на рисунке 7.

Принцип построения указанного алгоритма расчета коэффициента технической готовности аналогичен алгоритму, приведенному на рисунке 6.

Полученные результаты позволили сформировать алгоритм расчета общей обеспеченности и коэффициента технической готовности подразделений территориального органа МЧС России (рисунок 8).

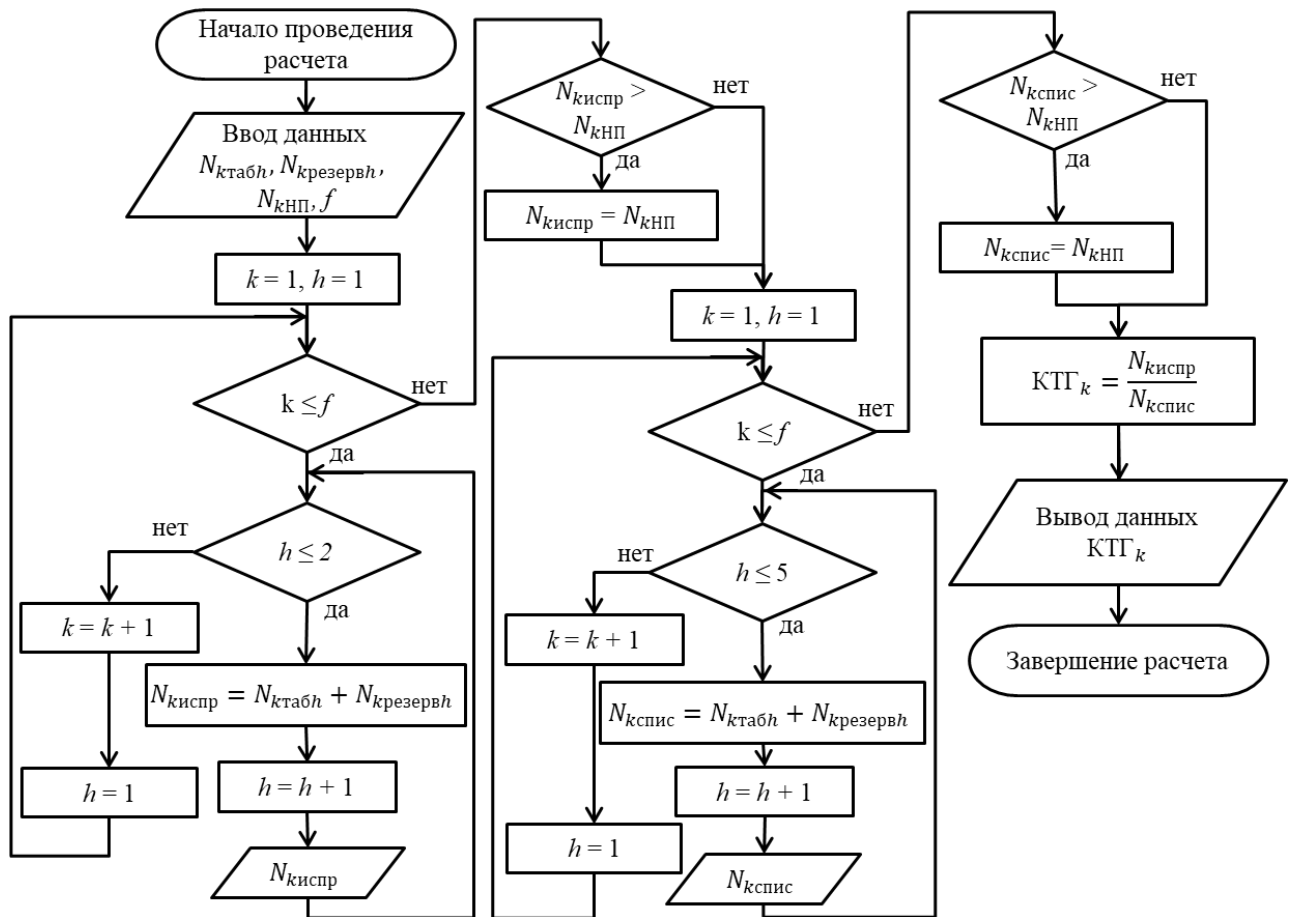


Рисунок 7 – Алгоритм расчета коэффициента технической готовности пожарно-спасательных подразделений

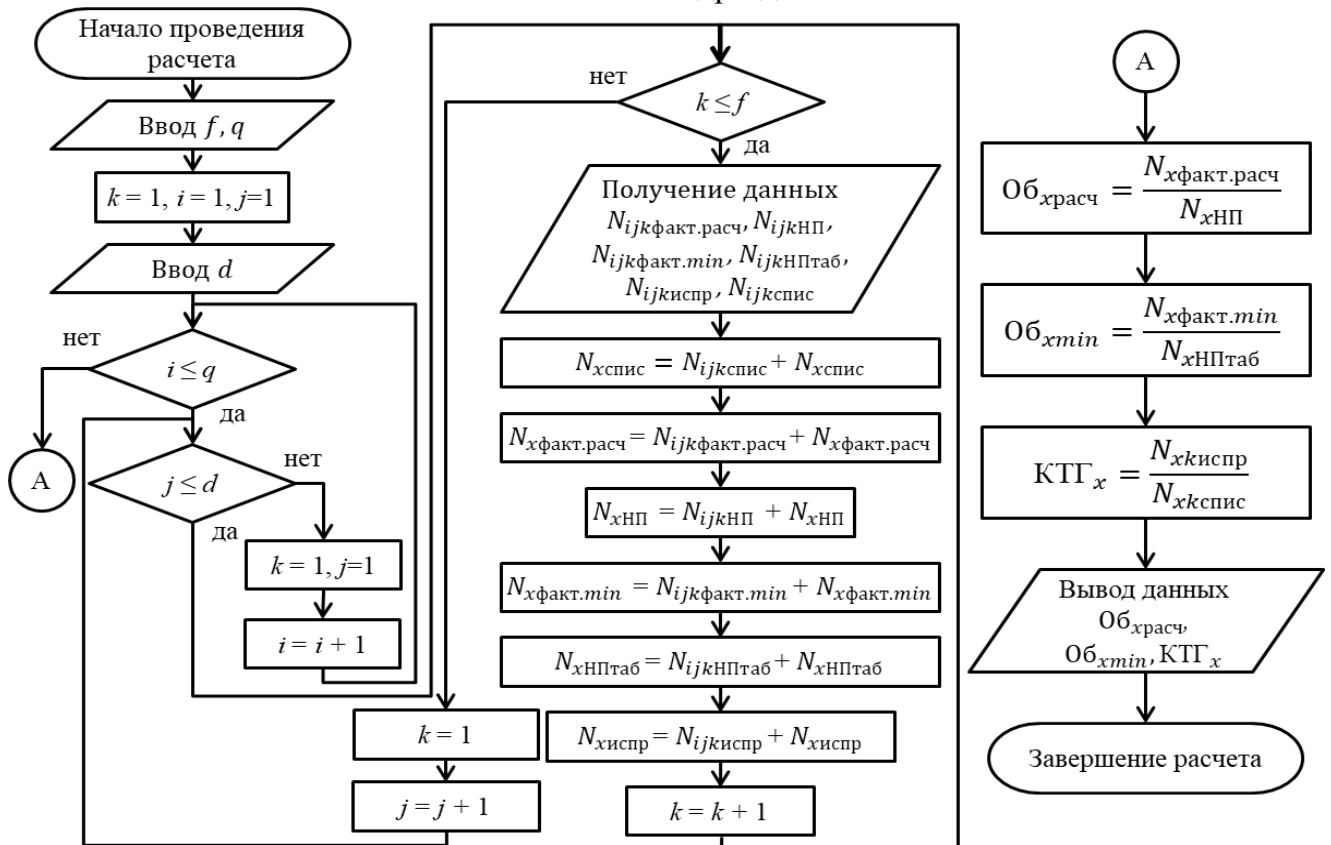


Рисунок 8 – Алгоритм расчета общей обеспеченности и коэффициента технической готовности пожарно-спасательных подразделений

Для подтверждения теоретических выводов проведена верификация модели путем проведения сравнительной оценки обеспеченности пожарными автомобилями подразделений, показавшая обоснованность предложенных подходов (рисунок 9). Разница в полученных результатах составила порядка 10%.

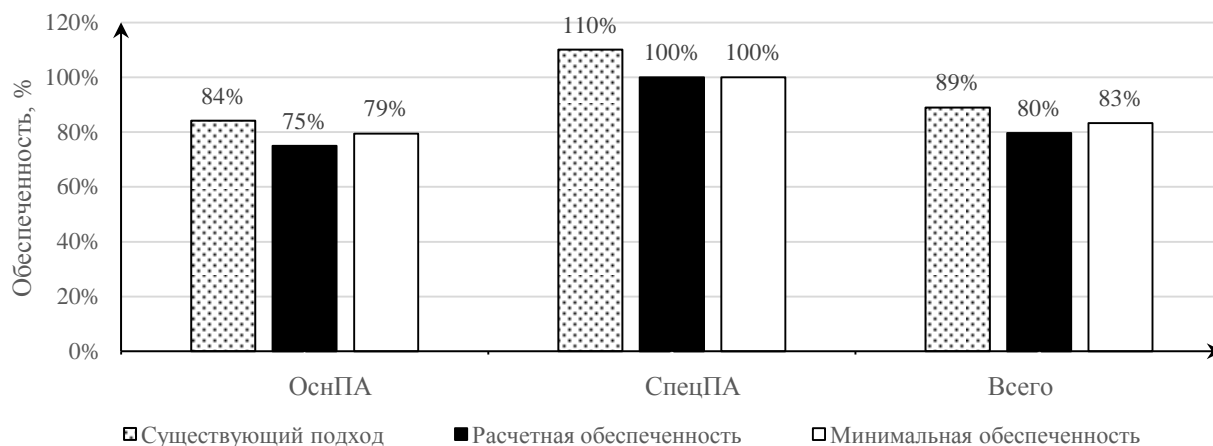


Рисунок 9 – Сравнение полученных показателей

Результаты расчетов показателя технической готовности подразделений рассматриваемого территориального органа приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов показателей ТГ ($Об_{расч}$, $Об_{min}$, КТГ)

Наименование	Показатели		
	$Об_{расч}$	$Об_{xmin}$	КТГ _x
Нормативные значения показателей	100	81	0,85
Рассчитанные показатели за террорган	80	83	0,76
Результат	не соответств.	соответствует	не соответств.
Степень необходимости вмешательства ЛПР	низкая	не требуется	высокая

Из представленной таблицы 3 видно, что для рассмотренного случая выявлена необходимость вмешательства ЛПР в части повышения значения коэффициента технической готовности, которое возможно, в том числе, за счет замены пожарных автомобилей.

Решение о замене образца, как правило, принимается в условиях ограниченного финансирования и является многокритериальным решением, в связи с чем для решения данной задачи использовались методы теории важности критериев.

При разработке алгоритма и выбора критериев оценки проведен анализ норм наработки пожарных автомобилей, который показал, что из имеющихся в наличии и предусмотренных табелями оснащённости пожарных автомобилей около 84 % имеют наработку до 100,0 тыс.км. Вместе с тем установлено, что 49 % пожарных автомобилей имеют срок службы 20 лет и более. Проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что при подготовке решения о замене пожарного автомобиля необходимо в первую очередь учитывать сроки его службы.

На основании полученных результатов сформулированы граничные условия для принятия решения о необходимости замены пожарного автомобиля:

- образец, в отношении которого принимается решение о необходимости замены, должен быть предусмотрен действующими табелями оснащённости;
- образец должен выслужить установленные сроки службы с учетом проведенного

капитального ремонта.

При принятии решения предлагается учитывать фактическое техническое состояние образца, описываемое категорией по техническому состоянию, а также срок, прошедший с момента прекращения выпуска образца, влияющий на возможность организации технического обслуживания и ремонта.

Предложено пять граничных условий принятия решения о замене образца, приведенных в таблице 4.

Таблица 4 – Матрица граничных условий принятия решения о замене образца

№ п/п	Условие	Критерий	Значение критерия, если условию	
			соответствует	не соответствует
1	Образец предусмотрен табелем оснащенности	K_{p1}	1	0
2	Образец выслужил установленные сроки службы с учетом проведенного капитального ремонта	K_{p2}	1	0
3	С момента прекращения выпуска образца прошло количество лет, превышающее установленный срок службы образца	K_{p3}	1	0
4	Образец требует проведения капитального или среднего ремонта (относится к III или IV категории по техническому состоянию)	K_{p4}	1	0
5	Образец требует списания (относится к V категории по техническому состоянию)	K_{p5}	1	0

Применение методов свертки критериев позволило сформировать комплексный критерий необходимости замены пожарного автомобиля $K_{\text{замены}}$:

$$K_{\text{замены}} = K_{p1} \cdot K_{p2} \cdot (K_{p3} + K_{p4} + 2 \cdot K_{p5}) \quad (25)$$

Таким образом задача управления заменой образца может быть записана в следующем виде:

$$f_{\text{замены}} = \begin{cases} \text{образец подлежит замене, если } K_{\text{замены}} \geq 2 \\ \text{образец не подлежит замене, если } K_{\text{замены}} < 2 \end{cases} \quad (26)$$

Для руководителей подразделений разработан алгоритм поддержки управления заменой образца, представленный на рисунке 10.

Проведена верификация предложенной модели отбора пожарных автомобилей. Общее количество пожарных автомобилей со сроком службы свыше нормативного срока службы пожарного автомобиля, устанавливаемого 18 лет, составляет 7,0 тыс. единиц.

Использование комплексного критерия замены позволяет сократить число пожарных автомобилей, из которых производится выбор образцов, подлежащих первоочередной замене до 1,13 тыс. единиц пожарных автомобилей. Таким образом, использование предлагаемого критерия отбора позволяет более чем в 6 раз сократить количество информации, с которой работает руководитель о замене образцов.

При этом разработанный критерий необходимости замены пожарного автомобиля может быть реализован в рамках автоматизированных систем управления.

Проведенные исследования, позволили сформулировать алгоритм поддержки планирования технического обеспечения территориального органа (рисунок 11).

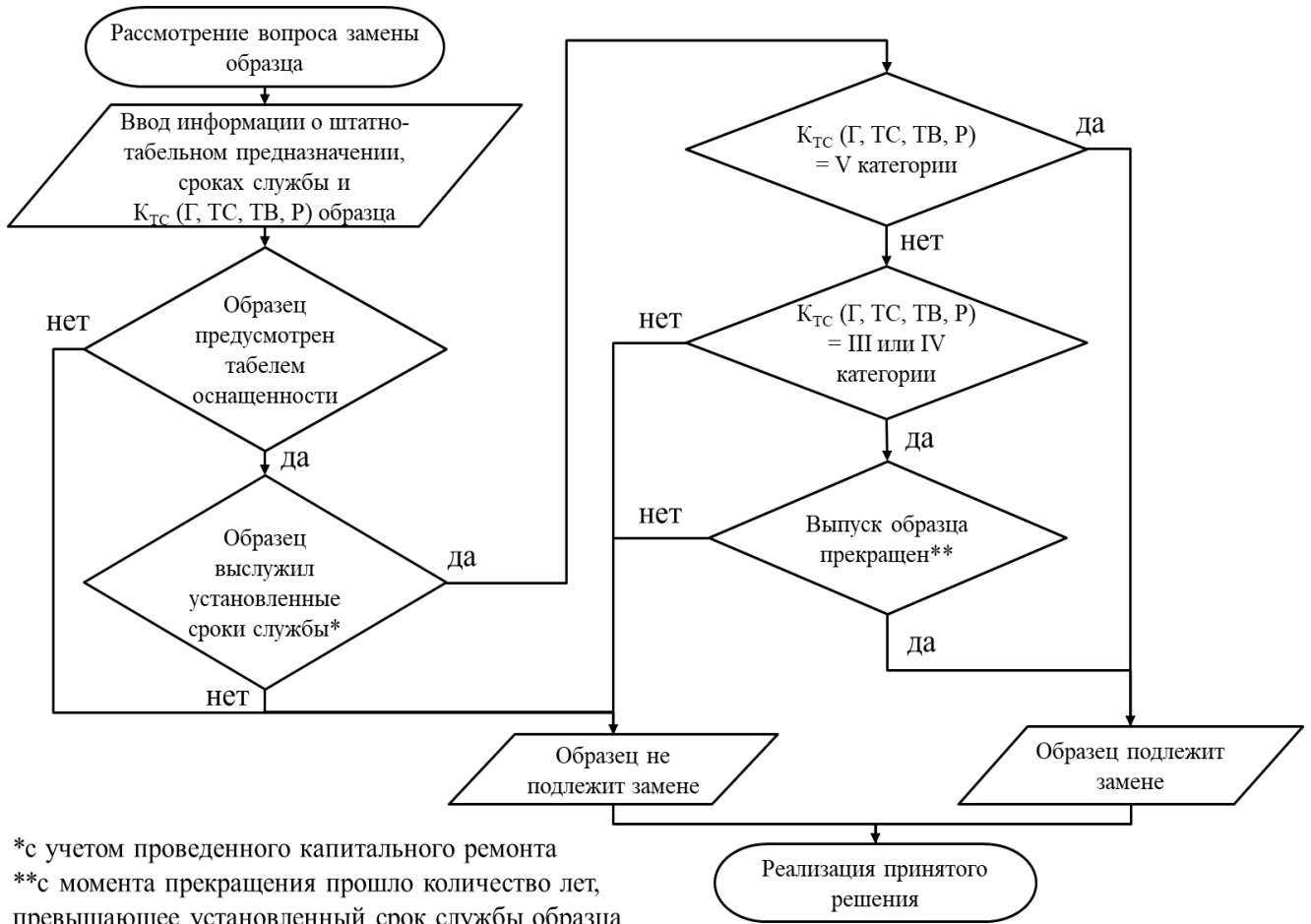


Рисунок 10 – Алгоритм поддержки управления заменой пожарной и аварийно-спасательной техники

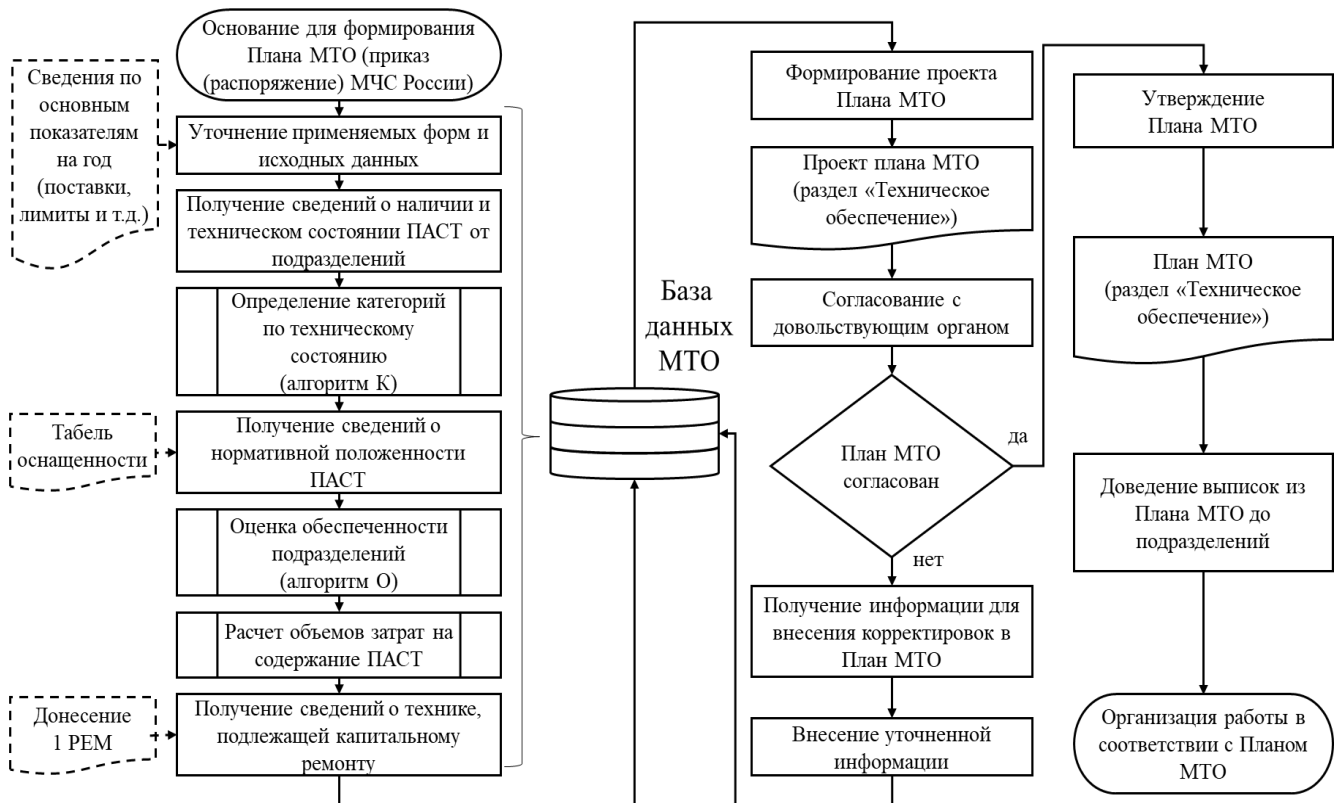


Рисунок 11 – Алгоритм поддержки планирования технического обеспечения

Алгоритм поддержки планирования технического обеспечения основан на применении разработанных отчетных документов, порядка расчета затрат на содержание пожарных автомобилей, алгоритмах определения категорий по техническому состоянию автомобилей и оценки уровня обеспеченности техникой. Применение полученного алгоритма позволяет повысить производительность труда руководителей за счет использования современных информационных технологий.

В четвертой главе «Автоматизированная система управления техническим обеспечением пожарно-спасательных подразделений» определены основные требования к автоматизированной системе управления техническим обеспечением, определены её структура и выполняемые функции на различных уровнях управления.

Предлагаемая структура автоматизированной системы управления техническим обеспечением подразделений представлена на рисунке 12.

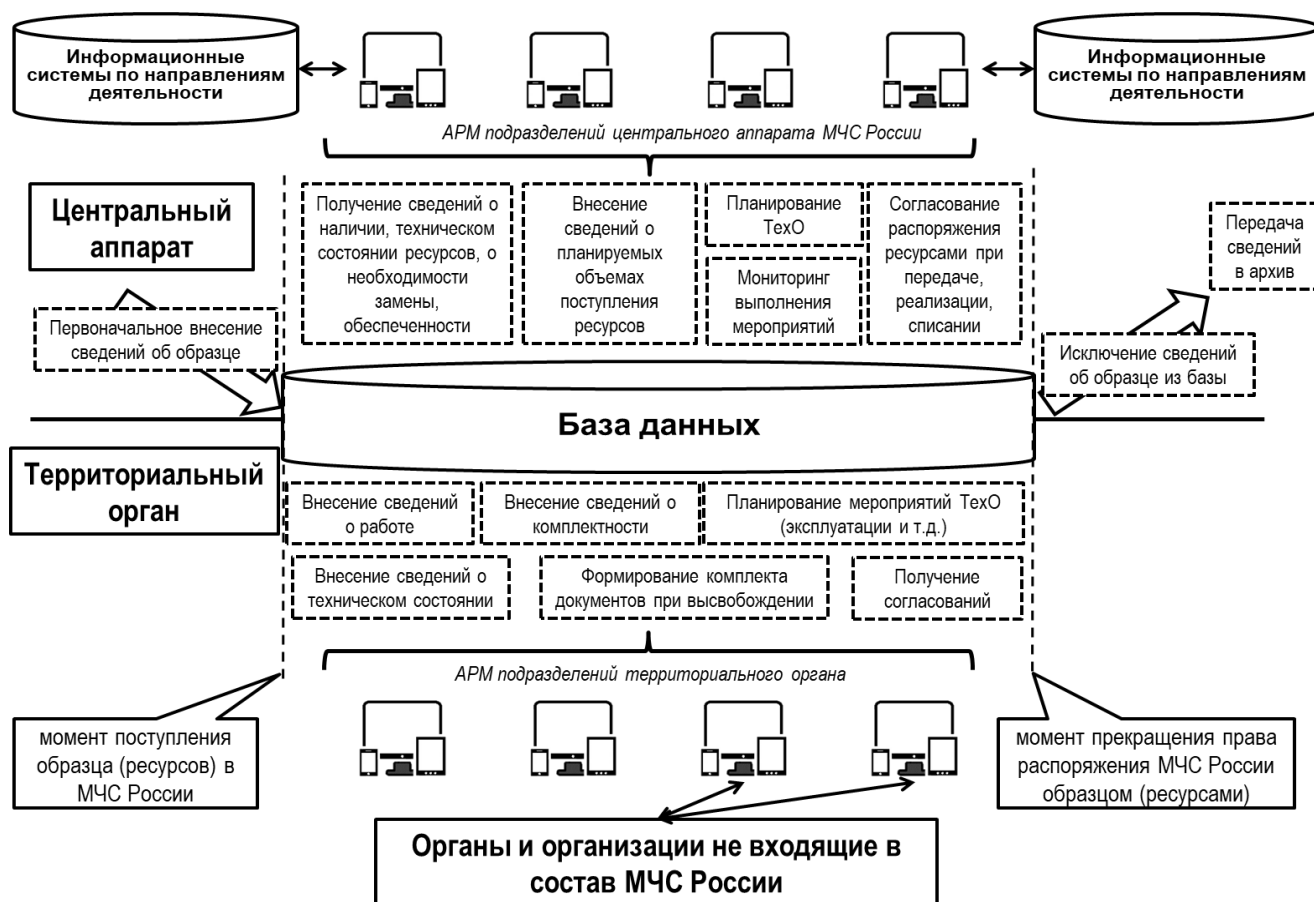


Рисунок 12 – Структура автоматизированной системы управления техническим обеспечением пожарно-спасательных подразделений

Применение разработанной автоматизированной системы позволит существенно повысить производительность сотрудников всех уровней управления, а также обеспечить качество разработки и принятия управленческих решений, а именно:

1. Автоматизировать оперативный учет наличия и качественного состояния пожарных автомобилей исследуемого подразделения, с возможностью организации учета иных материально-технических ресурсов.

2. Автоматизировать учет работы автомобилей.

3. Обеспечить поддержку должностных лиц территориальных органов:

- при управлении технической готовностью исследуемого подразделения;
- при планировании эксплуатации автомобильной техники;

- при принятии решения о замене автомобилей;
- при принятии решения о высвобождении пожарных автомобилей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе в соответствии с целью, предметом и задачами разработаны модели и алгоритмы управления технической готовностью пожарно-спасательных подразделений.

Получены следующие основные результаты и выводы:

1. Проведен анализ системы технического обеспечения пожарно-спасательных подразделений, позволивший выявить наиболее существенные факторы, негативно влияющие на процесс управления.

2. Разработаны модель управления технической готовностью и алгоритмы оценки технической готовности пожарно-спасательных подразделений территориального органа МЧС России, обеспечивающие повышение точности расчетов не менее чем на 10 %.

3. Разработаны модель и алгоритм управления заменой пожарной и аварийно-спасательной техники, позволяющие в шесть раз сократить объем информации, подлежащей обработке лицом, принимающим решение о замене образцов.

4. Разработан алгоритм поддержки планирования технического обеспечения пожарно-спасательных подразделений, позволяющий обеспечить качество и сократить время разработки плана материально-технического обеспечения.

5. Разработана структура автоматизированной системы управления техническим обеспечением пожарно-спасательных подразделений, позволяющая осуществить ее реализацию с помощью современных информационных технологий.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих научных изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. **Аристархов В.А.** Определение объемов затрат на содержание техники в МЧС России [Электронный ресурс] / М.Д. Безбородько, В.А. Аристархов, А.В. Рожков // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 6 (76). – С. 44–49. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35344155>.

2. **Аристархов В.А.** Оценка обеспеченности подразделений МЧС России пожарной и аварийно-спасательной техникой [Текст] / В.А. Аристархов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2020. – № 2. – С. 66–71.

3. **Аристархов В.А.** Поддержка принятия решения о необходимости замены пожарных автомобилей в пожарно-спасательных подразделениях [Электронный ресурс] / В.А. Аристархов, А.В. Рожков // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – № 2 (92) – С. 106–115. – Режим доступа: URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2021-2/05-02-21.ttb.pdf>.

4. **Аристархов В.А.** Современные аспекты категорирования по техническому состоянию образцов пожарной и аварийно-спасательной техники [Текст] / В.А. Аристархов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2021. – № 2. – С. 87–94.

5. **Аристархов В.А.** Актуализация проблем управления техническим обеспечением территориальных органов МЧС России на основе анкетирования и экспертного опроса [Электронный ресурс] / В.А. Аристархов, А.П. Сатин, В.А. Дайнес, А.В. Матюшин, В.Л. Семиков // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – № 4

(94). – С. 172-186. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2021-4/01-04-21.ttb.pdf>.

Другие научные издания:

6. Аристархов, В.А. Опытная эксплуатация образцов техники в системе МЧС России - проблемы и пути их решения [Текст] / Е.В. Павлов, М.В. Савин, Ю.И. Носач, П.М. Литвин, В.А. Аристархов, А.Ю. Баранник // Пожарная безопасность. – 2016 – № 4. – С.175–178.

7. Аристархов, В.А. Определение объёмов затрат на содержание техники и технического имущества / В.А. Аристархов, А.В. Рябовол // Сборник материалов XXVI международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2017». – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2017. – С. 94-99.

8. Аристархов, В.А. Современные аспекты организации учета пожарной и аварийно-спасательной техники в МЧС России / В.А. Аристархов // Сборник материалов XXIV международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2020» / под общ. ред. Н.Г. Топольского – М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. – С. 220–225.

9. Аристархов, В.А. Подходы к организации учета работы пожарных автомобилей подразделений МЧС России / В.А. Аристархов, А.В. Рожков // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XV Международной научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – 2020. – С. 164-166.

10. Аристархов, В.А. Совершенствование процесса категорирования пожарной и аварийно-спасательной техники в зависимости от технического состояния / В.А. Аристархов, С.А. Шигорин // Сборник материалов VII международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» в 2 ч. ч. 2. – Москва, 2020. – С. 112–115.

11. Аристархов, В.А. Сокращение затрат на содержание пожарной и аварийно-спасательной техники в гарантийный период [Текст] / В.А. Аристархов, А.В. Рожков // Сборник материалов VII международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» в 2 ч. ч. 2. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. – С. 130–132.

12. Аристархов, В.А. Альтернативная оценка обеспеченности материально-техническими средствами подразделений МЧС России / А.П. Сатин, В.А. Аристархов, П.С. Гришанков, В.А. Дайнес // Сборник материалов XXX международной научно-практической конференции «Системы безопасности – 2021». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2021. – С. 306-309.

13. Аристархов, В.А. Оценка готовности к применению мобильных средств пожаротушения / В.П. Сорокоумов, В.А. Аристархов // Материалы XXX международной научно-практической конференции «Системы безопасности – 2021». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2021. – С. 351-354.

Свидетельства о государственной регистрации баз данных и программ для ЭВМ:

14. Аристархов, В.А. База данных «База данных для поддержки управления техническим обеспечением подразделений МЧС России» / В.А. Аристархов, А.П. Сатин, Н.Ю. Рыженко, В.А. Дайнес // Свидетельство Роспатента о государственной регистрации базы данных от 19.11.2021 № 2021622554.

15. Аристархов, В.А. Программа для ЭВМ «Информационная система управления техническим обеспечением подразделений МЧС России» / В.А. Аристархов, А.П. Сатин, Н.Ю. Рыженко, В.А. Дайнес // Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ от 23.12.2021 № 2021681556.