

На правах рукописи



Кузнецов Александр Валерьевич

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ
КРУПНЫХ ПОЖАРОВ**

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

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2023

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: доктор технических наук
Тараканов Денис Вячеславович

Официальные оппоненты: **Таранцев Александр Алексеевич**
Заслуженный работник высшей школы РФ,
доктор технических наук, профессор, ИПТ РАН,
лаборатория проблем безопасности транспортных систем, заведующий

Остудин Никита Вадимович
кандидат технических наук, Главное управление
«Национальный центр управления в кризисных ситуациях» МЧС России, отдел пространственных данных управления космического мониторинга, начальник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Защита диссертации состоится «19» апреля 2023 года в 12 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/6d0/6d0634c62340f02e0f8fde7d57a6780b.pdf>

Автореферат разослан «15» февраля 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Р.И. Хабибулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Общая концепция борьбы с крупными пожарами в Российской Федерации предусматривает управление разрозненными во времени и пространстве элементами сложной системы прогнозирования, предупреждения и ликвидации пожаров. Стоит отметить, что ежегодно количество крупных пожаров не велико и составляет 0,01 % от общего их числа, однако годовой материальный ущерб от крупных пожаров составляет 50 % общего годового ущерба от пожаров в России. Для тушения крупных пожаров привлекаются значительные государственные ресурсы – силы и средства подразделений пожарной охраны, а также подразделения других министерств и ведомств. Поэтому, с одной стороны, тушение крупного пожара определяет необходимость применения значительных государственных ресурсов, повышая успех тушения пожара, с другой стороны, это приводит к усложнению системы управления данными ресурсами, возникновению избыточности и противоречивости информации, поступающей к руководителю тушения пожара, и как следствие, влечет создание дополнительных организационных структур управления, таких как оперативный штаб на месте пожара и оперативная группа мониторинга пожара.

Информационное обеспечение данных организационных структур управления основано на результатах мониторинга, которые в совокупности с процедурами поддержки принятия управленческих решений обеспечивают эффективное применение значительных государственных ресурсов на всех этапах борьбы с крупными пожарами. Стоит отметить, что отличительной особенностью мониторинга крупных пожаров является необходимость учета циклического характера непрерывного наблюдения за динамикой оперативной обстановки на пожаре в соответствии с важностью задач, решаемых на участках тушения крупного пожара, а результаты такого мониторинга используются также для подготовки высококвалифицированных специалистов в области тушения крупных пожаров.

Таким образом, актуальность исследования определяется необходимостью совершенствования информационного обеспечения системы управления, создаваемой на крупных пожарах, за счет разработки моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при организации мониторинга крупных пожаров.

Степень разработанности темы. В создание, развитие и совершенствование систем управления государственными ресурсами обеспечения пожарной безопасности внесли значительный вклад отечественные и зарубежные ученые: Топольский Н.Г., Соколов С.В., Таранцев А.А., Порошин А.А., Бутузов С.Ю., Власов К. С., Денисов А.Н., Остудин Н.В., Тараканов Д.В., Вилисов В.Я., Калач А.В., Абросимов В.К., Вытовтов А.В., Гончаренко В.И., Половинчук Н.Я., Cottrell G., Dollar P. и др. Однако, вопросы организации мониторинга в системах управления на крупных пожарах остались открытыми, поэтому научная задача состоит в совершенствовании информационного обеспечения управления на крупных

пожарах, путем создания моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений и их практической реализации в программном комплексе.

Объектом исследования является мониторинг в организационной системе управления на крупном пожаре, а **предметом исследования** – модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при организации мониторинга крупных пожаров.

Таким образом, **целью** исследования является совершенствование информационного обеспечения системы управления, создаваемой при тушении крупных пожаров на основе организации непрерывного мониторинга динамики оперативной обстановки на месте пожара.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие **научные задачи**:

1. Выполнить анализ организационной системы управления на крупных пожарах, включая оценку возникающих в ней информационных задач и путей их решения.

2. Разработать циклическую модель мониторинга крупного пожара и алгоритм поддержки принятия управленческих решений при оценке необходимого количества средств мониторинга с целью обеспечения заданного качества его организации.

3. Разработать многокритериальную модель и алгоритм поддержки принятия управленческих решений по применению средств мониторинга, учитывающие важность задач, решаемых на участках тушения крупного пожара.

4. Выполнить алгоритмизацию и программную реализацию процедур поддержки принятия управленческих решений при мониторинге крупных пожаров путем создания программного комплекса, включающего программное средство и реляционную базу данных.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней впервые получены следующие научные результаты:

1. Модель циклического мониторинга крупных пожаров, в отличие от известных моделей мониторинга, позволяет при заданном уровне качества организации мониторинга определить параметры для принятия решений о привлечении необходимого количества средств мониторинга.

2. Алгоритм поддержки принятия управленческих решений по определению необходимого количества средств мониторинга с учетом резерва, обеспечивающего заданное качество организации мониторинга при тушении крупных пожаров.

3. Модель поддержки принятия управленческих решений, позволяющую при заданном количестве средств мониторинга провести наилучший выбор способов их применения в соответствии с важностью задач, решаемых на участках тушения крупных пожаров.

4. Алгоритм определения относительной важности задач, решаемых на участках тушения крупных пожаров. В отличие от известных данный алгоритм

позволяет определить важность задач пропорционально количеству ресурсов, задействованных на каждом из участков тушения крупного пожара.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в исследовании результативно использован математический аппарат многокритериальной оптимизации и разработаны модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при организации мониторинга крупных пожаров. С использованием численных методов исследования доказано утверждение, необходимое для количественной оценки важности задач, решаемых на участках и секторах тушения крупных пожаров, расширяющие границы применения теории управления в организационной системе, создаваемой при тушении крупных пожаров.

Практическая значимость. Значение полученных результатов для практики подтверждается тем, что теоретические положения исследования реализованы в виде программного комплекса поддержки принятия решений при организации мониторинга крупных пожаров, а также необходимых информационных ресурсов, представленных в виде реляционных баз данных. Определены границы эффективного использования теоретических результатов исследования при решении практических задач организации мониторинга крупных пожаров и предложена система практических рекомендаций по применению теоретических результатов исследования в процессе решения практических задач. Практическая значимость работы подтверждается внедрением результатов исследования при планировании и организации мониторинга крупных пожаров в территориальных гарнизонах пожарной охраны.

Методология и методы исследования. Для решения задач исследования применялись методы теории принятия решений в условиях риска и неопределенности, методы системного анализа, теории алгоритмов, методы теории вероятностей и математической статистики.

Положения, выносимые на защиту:

1. Модель циклического мониторинга и алгоритм поддержки принятия решений о привлечении необходимого количества мобильных средств мониторинга крупных пожаров.

2. Показатель качества организации мониторинга крупных пожаров и алгоритм его расчета, включающий информационные ресурсы в матричном и номографическом виде.

3. Модель и алгоритм поддержки принятия решений по применению средств мониторинга для информационного обеспечения организационной системы управления при тушении крупных пожаров.

4. Программный комплекс для поддержки принятия решений при организации мониторинга крупных пожаров.

5. Практические рекомендации по организации мониторинга крупных пожаров на основе разработанного программного комплекса и доступных информационных ресурсов.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на международных научно-технических конференциях: «Системы

безопасности» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2019 г.); «Пожарная и аварийная безопасность» (Иваново, ИПСА ГПС МЧС России, 2018-2020 гг.); «Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций» (Железногорск, СПСА ГПС МЧС России, 2018 г.); «Школа молодых ученых и специалистов МЧС России» (Химки, АГЗ МЧС России, 2019 г.).

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 18 работ, из них 4 – в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК России, 2 – в изданиях, входящих в международную систему цитирования, опубликована монография, получены свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и базы данных.

Личный вклад автора. В совместных публикациях результаты, связанные с разработкой модели мониторинга, показателя качества и алгоритмами поддержки принятия решений при организации мониторинга крупных пожаров, получены автором лично. Программное средство и базы данных разработаны в соавторстве с Топольским Н.Г., Бакановым М.О., Таракановым Д.В. и являются неделимыми.

Внедрение результатов работы. Результаты диссертационной работы внедрены в:

- научно-исследовательской деятельности Академии Государственной противопожарной службы МЧС России при выполнении ряда научно-исследовательских работ;

- Главном управлении МЧС России по г. Москва при разработке документов предварительного планирования действий по тушению пожаров с применением мобильных средств мониторинга;

- Главном управлении МЧС России по Ивановской области при совершенствовании информационно-аналитического обеспечения группы на базе специализированной пожарно-спасательной части по управлению беспилотными мобильными средствами мониторинга;

- учебной деятельности Академии ГПС МЧС России при организации и проведении учебных занятий по дисциплине «Системы поддержки принятия решений» (ФПиТБ по направлению 09.03.02).

- учебной деятельности Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России при организации и проведении учебных занятий по дисциплинам «Информационные системы поддержки принятия решения»; «Управление силами и средствами на пожарах и при ликвидации последствий ЧС» (направление подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность» (уровень магистратуры), профиль «Пожарная безопасность»).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем работы составляет 150 страниц. Работа иллюстрирована 37 рисунками и содержит 18 таблиц, 4 приложения. Список литературы включает в себя 115 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе «Анализ организационной системы мониторинга крупных пожаров» проведен анализ организационной системы управления, создаваемой на крупных пожарах. Выявлены основные виды информационного кризиса, встречающиеся в организационных системах управления на месте пожара и показаны основные направления их разрешения.

На основе количественного анализа официальных статистических данных введены категории организационной системы управления и определены количественные характеристики отнесения организационной системы к выбранной категории. Так, анализируя статистические данные по процентному отношению количества пожаров, потушенных с использованием заданного количества единиц пожарной техники, можно утверждать, что существует четыре основные статистические выборки – категории организационной системы управления на месте пожара. Первая категория (I) предусматривает управление до девяти участников тушения пожара на двух единицах пожарной техники (первое прибывшее подразделение пожарной охраны); вторая категория (II) предусматривает управление от десяти до двадцати пяти участников тушения пожара, использующих от двух до пяти единиц пожарной техники; третья категория (III) - это организационная система, включающая от двадцати пяти до пятидесяти участников тушения пожара и от шести до десяти единиц пожарной техники; четвертая категория (IV) - это организационная система, создаваемая на пожарах, при тушении которых используются более пятидесяти участников тушения пожара и более десяти единиц пожарной техники. Показано, что оценка количества пожаров, на которых создавались различные организационные системы, является экспоненциальной случайной величиной. Сделан вывод, что анализируемый вид информационного кризиса наиболее ярко выражен при функционировании организационной системы управления IV категории.

Проведен анализ основных задач планирования применения средств мониторинга крупных пожаров при заданном уровне качества организации мониторинга в целом. Выполнен анализ математических моделей поддержки принятия управленческих решений и моделей мониторинга параметров, определяющих развитие крупных пожаров. Показаны основные допущения и требования к моделям организационных процессов мониторинга крупных пожаров. Проведен анализ информационных решений, направленных на совершенствование мониторинга крупных пожаров.

На основе выполненного анализа поставлены задачи исследования, решение которых позволит учесть циклический характер наблюдения за

динамикой оперативной обстановки на месте пожара и количественные оценки важности задач, решаемых на участках тушения крупного пожара.

Во второй главе диссертации «**Разработка модели и алгоритма поддержки принятия решений по организации циклического мониторинга крупных пожаров**» на основе расчета числовых характеристик системы мониторинга крупных пожаров разработаны процедуры для решения задач оценки необходимого количества средств мониторинга.

Разработана модель циклического мониторинга крупных пожаров, в отличие от известных моделей мониторинга, позволяющая при заданном уровне качества организации мониторинга определить параметры для принятия решений о привлечении необходимого количества средств мониторинга. Модель основана на принципах непрерывного получения информации с места крупного пожара, включающая кортеж параметров организации циклического мониторинга:

$$\langle T, T_p, T_g, \alpha, K, P_K, Q_K \rangle, \quad (1)$$

где T – продолжительность одного цикла мониторинга, мин.;

T_p – продолжительность нахождения средства мониторинга в работе (часть цикла мониторинга), мин.;

T_g – продолжительность нахождения средства мониторинга на восстановлении (часть цикла мониторинга), мин.;

α – показатель занятости средств мониторинга;

K – необходимое для циклического мониторинга общее количество мобильных средств мониторинга (МСМ);

P_K – вероятность состояния системы мониторинга при котором K из m средств мониторинга находятся в работе;

Q_K – показатель качества организации мониторинга при использовании группы мониторинга, включающей в себя K средств.

Получены общие соотношения для определения показателя качества организации мониторинга и предельных вероятностей состояний системы мониторинга:

$$Q_K = 1 - P_K, P_K = \frac{\Delta_K}{\Delta}, \Delta_K = \alpha^{m-K}, \Delta = \sum_{K=0}^m \Delta_K, K=0,1,\dots,m, \quad (2)$$

где K – общее число средств мониторинга;

Δ_K – определитель матрицы, соответствующей поиску предельной вероятности для состояния, при котором K из m средств мониторинга находятся в работе.

В соответствии с разработанной моделью (1) под показателем качества организации мониторинга крупного пожара понимается отношение времени, при котором осуществляется мониторинг к общему планируемому времени

мониторинга, то есть показатель качества организации мониторинга является относительной пропускной способностью системы мониторинга в целом.

Разработан алгоритм принятия решений о привлечении необходимого количества мобильных средств мониторинга при заданном показателе качества организации (рис. 1).

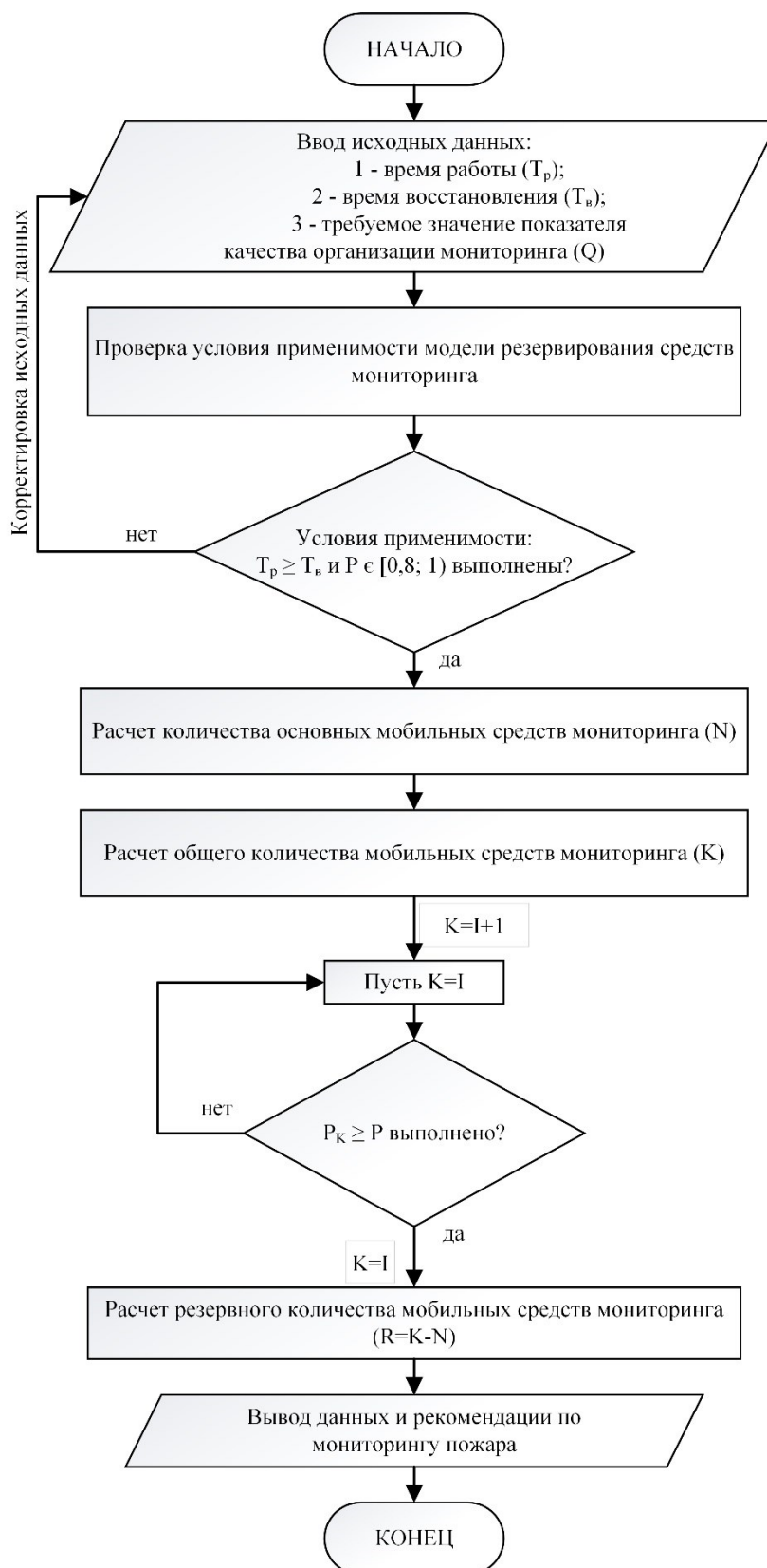


Рисунок 1 – Блок - схема алгоритма организации мониторинга крупного пожара

Этап 1. Ввод исходных данных. На данном этапе алгоритма необходимо указать время работы мобильного средства мониторинга (T_p , мин.); время их восстановления после работы (T_B , мин.) и требуемое значение показателя качества организации мониторинга (Q). Стоит отметить, что $T = T_p + T_B$ (мин.) - это общая продолжительность одного цикла мониторинга на крупном пожаре.

Этап 2. Проверка условия применимости модели резервирования средств мониторинга. В ситуации применения разработанной модели резервирования мобильных средств мониторинга необходимо, чтобы были выполнены условия:
- условие работоспособности схемы мониторинга:

$$T_p \geq T_B, \quad (3)$$

- условие достижения минимального качества организации мониторинга:

$$0,80 \leq Q < 1,00. \quad (4)$$

Условие (3) может быть выражено через значения показателя занятости средств мониторинга, который определяется по формуле:

$$\alpha = T_p / T_B, \quad (5)$$

где T_p – время работы средства мониторинга, мин.;

T_B – время восстановления средства мониторинга после работы, мин.

Тогда условие работоспособности выбранной схемы мониторинга может быть представлено следующим образом:

$$\alpha \geq 1 \quad (6)$$

Этап 3. Расчет количества основных средств мониторинга. На данном этапе алгоритма (1 – этап работы; 2 – этап восстановления) для расчета основных средств мониторинга используется формула:

$$N = 2 + [\alpha^{-1}], \quad (7)$$

где $[\alpha^{-1}]$ – целая часть обратного числа α .

Тогда, исходя из условия работоспособности выбранной схемы мониторинга (6), выраженного через область допустимых значений показателя занятости средств мониторинга, можно предложить две основные схемы проведения мониторинга:

- схема, предусматривающая использование трех средств:

$$\alpha = 1 \rightarrow N=3; \quad (8)$$

- схема мониторинга, предусматривающая использование двух средств:

$$\alpha > 1 \rightarrow N=2. \quad (9)$$

Этап 4. Расчет общего количества средств мониторинга. На данном этапе осуществляется вычислительный цикл:

1 - вычисляется фактическое значение показателя качества организации мониторинга по формуле (2);

2 - проводится сравнение фактического значения показателя качества организации мониторинга с требуемым:

если $Q_k \geq Q$, то K средств мониторинга достаточно для его проведения, в противном случае принимаем $K + 1$ и выполняем расчет заново до тех пор, пока не будет выполнено условие $Q_k \geq Q$.

Для случаев, когда группировка средств мониторинга ограничена, расчет фактического значения показателя качества проводится для всех допустимых значений K . Фактические значения показателя при фиксированных значениях α и количестве средств мониторинга от 2 до 6 представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения показателя качества организации мониторинга

$\alpha \backslash K$	2	3	4	5	6
1,50	0,600	0,789	0,877	0,924	0,952
2,00	0,667	0,857	0,933	0,968	0,984
2,50	0,714	0,897	0,961	0,984	0,994
3,00	0,750	0,923	0,975	0,992	0,997
3,50	0,778	0,940	0,983	0,995	0,999
4,00	0,800	0,952	0,988	0,997	0,999
4,50	0,818	0,961	0,991	0,998	1,000
5,00	0,833	0,968	0,994	0,999	1,000

* серым фоном окрашены ячейки, в которых содержатся значения, не удовлетворяющие условию (4)

Этап 5. Расчет резервного количества средств мониторинга. На данном этапе алгоритма определяют резерв средств мониторинга:

$$R = K - N, \quad (10)$$

где R – количество резервных средств мониторинга;

K – общее количество средств мониторинга в группе;

N – количество основных мобильных средств мониторинга.

Этап 6. Рекомендации по мониторингу пожара с использованием K средств с учетом того, что R средств находится в резерве. Обсуждаются возможные способы эффективной организации мониторинга.

Таким образом, разработанный алгоритм позволяет оценить необходимое количество средств мониторинга с учетом резерва, обеспечивающего заданное значение показателя качества организации мониторинга при тушении крупных пожаров.

Представлена интерпретация количественных значений показателя качества организации мониторинга по пяти группам:

очень низкое – $Q \in [0,80; 0,85)$; низкое – $Q \in [0,85; 0,90)$;

среднее – $Q \in [0,90; 0,95)$; высокое – $Q \in [0,95; 0,99)$;

очень высокое $Q \in [0,99; 1,00)$ (табл. 2).

Таблица 2 – Количественный состав групп мониторинга крупного пожара

Качество организации мониторинга	Очень низкое			Низкое			Среднее			Высокое			Очень высокое		
	N	R	K	N	R	K	N	R	K	N	R	K	N	R	K
1,50	2	2	4	2	2	4	2	3	5	2	4	6	-	-	-
2,00	2	1	3	2	1	3	2	2	4	2	3	5	-	-	-
2,50	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	2	4	2	4	6
3,00	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	2	4	2	3	5
3,50	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	2	4	2	3	5
4,00	2	0	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	3	5
4,50	2	0	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	2	4
5,00	2	0	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	2	4
S_1	состояние системы мониторинга, при котором резерв средств мониторинга не требуется (N=2;R=0;K=2)														
S_2	состояние системы мониторинга, при котором требуется минимальный резерв средств мониторинга (N=2;R=1;K=3)														
S_3	состояние системы мониторинга, при котором на каждое работающее средство мониторинга требуется резервное (N=2;R=2;K=4)														
S_4	состояние системы мониторинга, при котором резервных средств мониторинга больше, чем работающих (N=2;R=3;K=5)														
S_5	состояние системы мониторинга, при котором резервных средств мониторинга существенно больше работающих (N=2;R=4;K=6)														

В таблице 2 введены состояния системы мониторинга при его организации с использованием K средств мониторинга. Здесь стоит отметить, что состояния S_1 и S_2 являются рекомендуемыми, так как предусматривают применение минимального резерва средств мониторинга и при этом определяют средний и высокий уровень качества организации мониторинга. Состояние S_3 является допустимым, так как предусматривает на каждое работающее средство мониторинга наличие одного резервного. Состояния S_4 и S_5 являются избыточными и представлены в таблице 2 для иллюстрации ситуаций, когда необходимо добиться сверхвысоких значений показателя качества организации мониторинга. В случае необходимости использования избыточных состояний на практике рекомендуется проводить мониторинг по трехуровневой схеме, когда одно средство осуществляет мониторинг, а два восстанавливаются, однако данная схема применима при увеличенной численности сотрудников в оперативных группах мониторинга.

Выполнено сравнение результатов моделирования с помощью разработанной модели (К-модель) с результатами моделирования, использующих в качестве модели функцию ошибок (А-модель). Результаты сравнения на количественном уровне выполнены с помощью коэффициента детерминации, который показал высокую сходимость анализируемых данных. Преимущество разработанной К-модели состоит в возможности однозначного определения количественного состава группы мониторинга. Результаты моделирования по двум моделям приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Данные для сравнения результатов моделирования

№	Параметры мониторинга			α	А-Модель	К-Модель
	Тр, мин	σ , мин	Тв, мин		Q_A	Q_K
1	15	5,3	10	1,5	0,830	0,877
2	20	7,0	10	2,0	0,923	0,933
3	25	8,8	10	2,5	0,957	0,961
4	30	10,5	10	3,0	0,972	0,975
5	35	12,3	10	3,5	0,979	0,983
6	40	14,0	10	4,0	0,984	0,988
7	45	15,8	10	4,5	0,987	0,991
8	50	17,5	10	5,0	0,989	0,994

Результаты моделирования показывают высокую сходимость, так как коэффициент детерминации Пирсона, для рассматриваемого случая, составляет величину, равную 0,99.

Сопоставление результатов моделирования по двум моделям оценки показателя качества организации мониторинга приведены на рисунке 2.

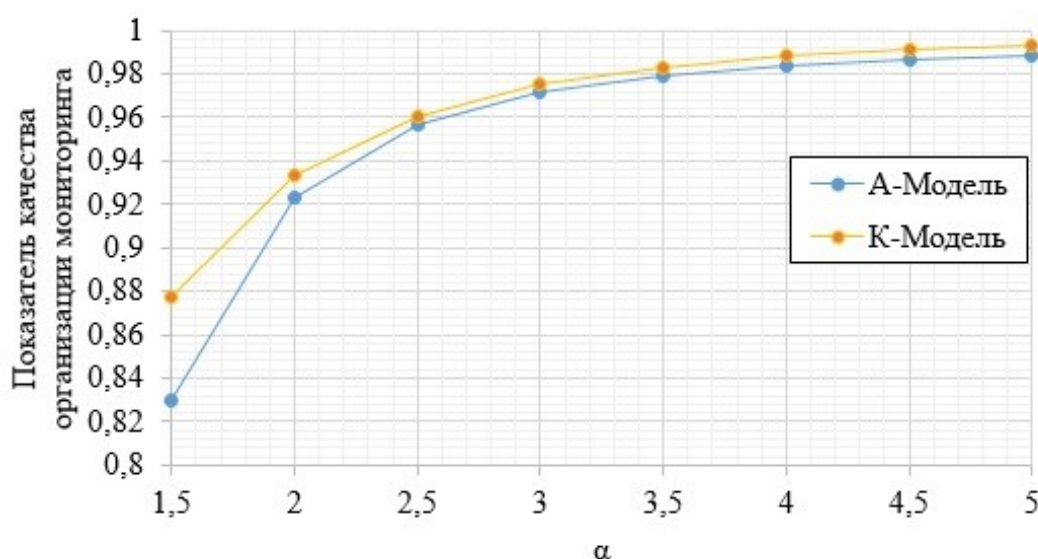


Рисунок 2 – Сопоставление результатов моделирования по основной (К-Модель) и альтернативной (А-Модель) моделям

Специфика применения результатов моделирования при решении практических задач организации мониторинга являются побудительным мотивом к разработке теоретических положений для оценки важности задач, решаемых на участках и секторах тушения крупного пожара.

В третьей главе «**Разработка модели и алгоритма поддержки принятия решений по применению мобильных средств мониторинга на крупных пожарах**» на основе теоретических положений многокритериальной оптимизации разработана модель и алгоритм поддержки принятия решений, позволяющие при заданном количестве мобильных средств мониторинга провести наилучший выбор их применения для информационного обеспечения организационной системы управления при тушении крупных пожаров.

Модель поддержки принятия решений по выбору способов применения средств мониторинга основана на относительной важности задач, решаемых на участках и секторах тушения пожара, рассматриваемых с точки зрения информационного обеспечения организационной системы управления.

Модель представлена в виде классической задачи многокритериального выбора и состоит из следующих элементов:

– множество управленческих решений по применению средств мониторинга:

$$X_n = \{x_1, \dots, x_s, \dots, x_n\}, \quad s = 1, 2, \dots, n, n \geq 2; \quad (11)$$

– множество компонент векторного критерия:

$$F_m = \{f_1, \dots, f_k, \dots, f_m\}, \quad s = 1, 2, \dots, m, m \geq 2; \quad (12)$$

каждая компонента векторного критерия оценивает тактические возможности пожарно-спасательных подразделений, работающих на участке (секторе) тушения пожара с номером k .

Тогда для обоснованного выбора управленческих решений предлагается использовать алгоритм последовательного сужения области компромисса, позволяющий исключить из анализа заведомо не удовлетворяющие варианты:

$$C(X) \subset P_g(X) \subset P_f(X) \subset X, \quad (13)$$

где X – исходное множество векторных оценок управленческих решений;
 $C(X)$ – множество векторных оценок управленческих решений, рекомендуемых для выбора лицу принимающему решения;
 $P_f(X)$ – множество парето-оптимальных векторных оценок управленческих решений, относительно векторного критерия $F_m = \{f_1; f \dots; f_m\}$;
 $P_g(X)$ – множество парето-оптимальных векторных оценок вариантов управленческих решений, относительно векторного критерия $G_m = \{g_1; g \dots; g_m\}$, учитывающего важность задач мониторинга на участках тушения пожара, выраженную набором коэффициентов относительной важности Θ_m .

Для определения важности задач на участках тушения пожара, по условию выполнения основной задачи пожарных подразделений при тушении пожаров, заключающейся в локализации и ликвидации пожара, в зависимости от их тактических возможностей, используется критерий реализации тактических возможностей пожарных подразделений:

$$E = f(V; N_{чел}; N_{ств}), V = f(N_{чел}; N_{ств}), \quad (14)$$

где V – расход огнетушащего вещества, л/с;

$N_{чел}$ – количество участников тушения пожара, работающих на участке;

$N_{ств}$ – количество работающих стволов на участке тушения пожара.

При создании в организационной системе управления на крупном пожаре нескольких участков тушения, принятие управленческого решения при организации мониторинга будет основываться на многокритериальном анализе векторных оценок. Каждый элемент векторной оценки представляет степень достижения основной задачи пожарных подразделений, решаемой на определенном участке. Таким образом, используя критерий тактических возможностей пожарных подразделений и модель поддержки принятия решений по выбору способов применения средств мониторинга разработан алгоритм определения относительной важности задач мониторинга, предусматривающий последовательное выполнение действий:

1. На первом этапе для каждого участка тушения пожара путем подсчета количества участников тушения пожара и работающих приборов подачи огнетушащих веществ необходимо рассчитать значения расхода огнетушащих веществ (V) и критерия тактических возможностей (E) по формуле (14). Данные параметры принятия решений характеризуют скорость локализации пожара.

2. На втором этапе определяют участок тушения пожара, на котором критерий тактических возможностей имеет максимальное значение. Данному участку присваивают номер i , остальным участкам присваивают номера j .

3. На третьем этапе определяют коэффициенты относительной важности задач организации мониторинга пожара по формуле:

$$\Theta_k = \frac{E_k}{E_i}, k = 1, 2 \dots, m. \quad (15)$$

Стоит отметить, что для участка тушения пожара с номером i коэффициент относительной важности задачи организации мониторинга будет равен $\Theta_i=1$, для участков с номерами j коэффициенты будут иметь значения $\Theta_j < 1$.

4. На четвертом этапе с использованием набора коэффициентов относительной важности Θ_m определяют показатели важности задач организации мониторинга, решаемых на участке тушения пожара, которые в дальнейшем используются при выборе способов применения средств мониторинга пожара.

Соответствующие показатели важности для участка тушения пожара с номером i определяется по формуле:

$$\omega_i = \frac{m}{m + \Theta - 1}, \quad (16)$$

для участков тушения пожара с номерами j по формуле:

$$\omega_j = \frac{\Theta_j}{m + \Theta - 1}, \quad (17)$$

в формулах используется обозначение $\Theta = \sum_{k=1}^m \Theta_k$, $k = 1, 2, \dots, m$.

Для практической реализации модели разработан алгоритм поддержки принятия решений, иллюстрируемый на рисунке 3. Алгоритм и модель являются общим решением задачи по выбору эффективных способов применения мобильных средств мониторинга.



Рисунок 3 – Алгоритм поддержки принятия решений при выборе способов использования мобильных средств мониторинга

Проведено исследование алгоритма поддержки принятия управленческих решений по эффективному использованию мобильных средств при мониторинге крупных пожаров. Разработана модель численного эксперимента по определению размера множества выбранных (рекомендуемых) вариантов в задаче распределения средств мониторинга по участкам (секторам) тушения крупного пожара. В численном эксперименте предполагалось, что случайная величина ρ – размер множества выбранных вариантов распределена экспоненциально и принимает свои значения из множества натуральных чисел.

Графическая интерпретация данных, полученных в результате вычислительного опыта, представлена на рисунках 4 и 5.

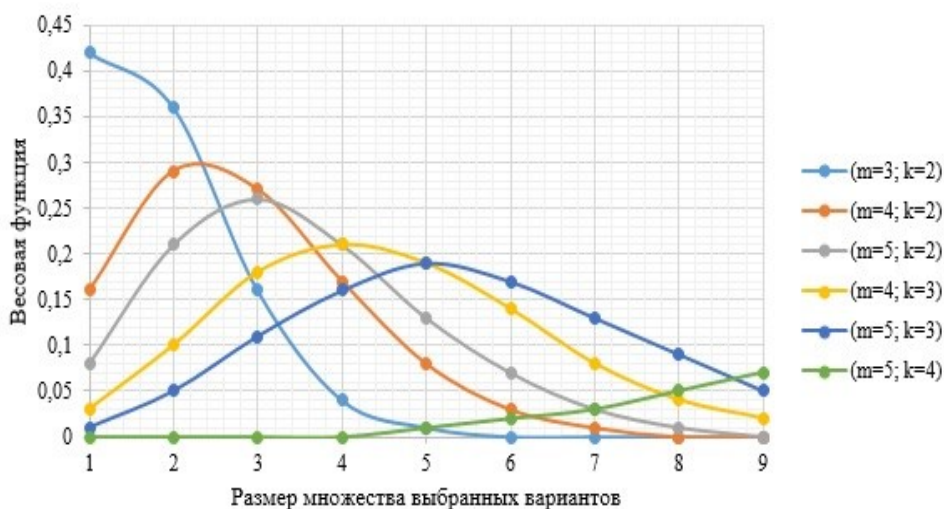


Рисунок 4 – Значения весовой функции распределения

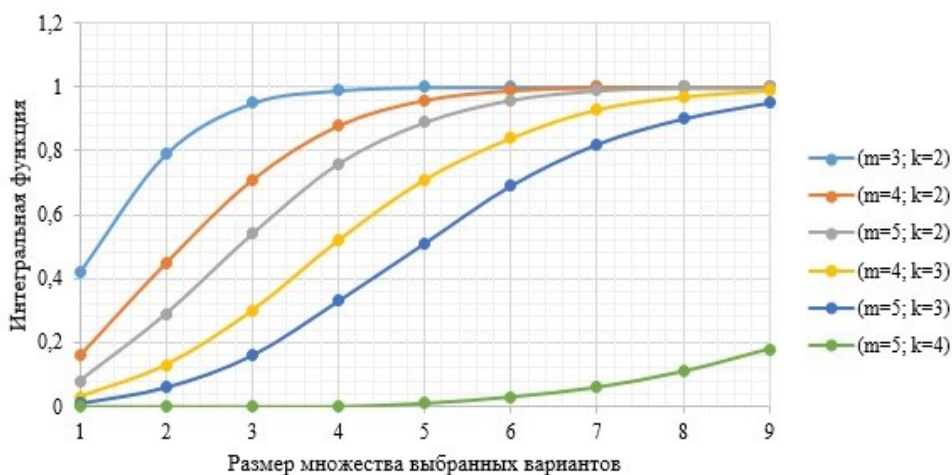


Рисунок 5 – Значения интегральной функции распределения

В качестве ограничения в исследовании принято, что алгоритм поддержки принятия решений эффективно применим, если множество выбранных вариантов содержит не более 9 (7 ± 2) управленческих решений. Границы применения алгоритма поддержки принятия решений при доверительной вероятности 0,95 представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Границы применения алгоритма поддержки принятия решений

Доверительная вероятность	Размерность задачи принятия решений					
	m=3; k=2	m=4; k=2	m=5; k=2	m=4; k=3	m=5; k=3	m=5; k=4
P=0,95	3	5	6	8	9	>9
Вывод:	+	+	+	+	+	-

В результате численного эксперимента сделан вывод, состоящий в том, что эффективное использование алгоритма возможно при количестве участков тушения пожара в организационной структуре управления не более 5-ти и применении не более 3-х мобильных средств при мониторинге (за исключением резерва). В случае превышения размерности задачи распределения мобильных средств мониторинга ($m > 5$ и/или $k > 3$), необходимо создание секторов тушения пожара и проведение мониторинга для каждого сектора в отдельности.

Выполнена оценка эффективности применения алгоритма при решении практических задач организации мониторинга с использованием трех критериев: 1 – размер множества вариантов; 2 – требуемое время для сравнения вариантов решений; 3 – вероятность ошибочного сравнения вариантов. Результаты оценки эффективности представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты оценки эффективности применения алгоритма

Показатели задачи принятия решений		Размерность задачи принятия решений				
		m=3;k=2	m=4;k=2	m=5;k=2	m=4;k=3	m=5;k=3
Размер множества вариантов	X	6	12	20	24	60
	X*	3	5	6	8	9
Требуемое время для сравнения вариантов	T, мин	1,17	2,57	4,43	5,37	13,77
	T*, мин	0,47	0,93	1,17	1,63	1,87
Вероятность ошибочного сравнения вариантов	P	0,03	0,06	0,10	0,11	0,26
	P*	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04

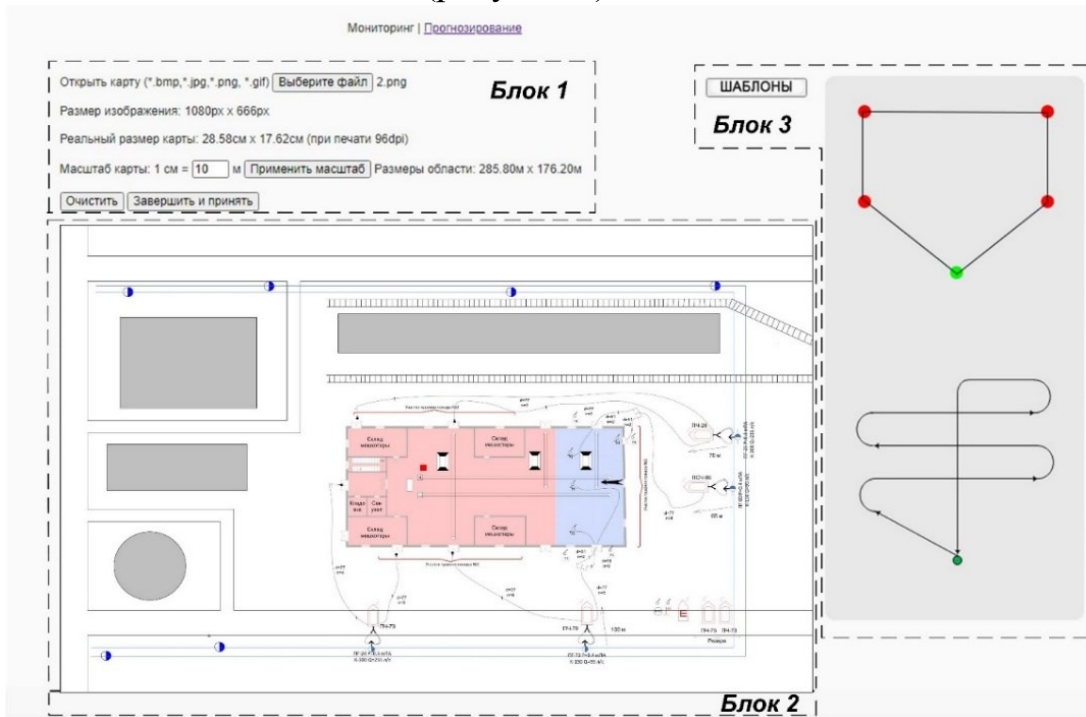
* значение показателя задачи принятия решений с применением алгоритма поддержки принятия решений.

Таким образом, с доверительной вероятностью 0,95 можно утверждать, что практическое применение алгоритма в информационной системе мониторинга крупного пожара обеспечит следующие эксплуатационные характеристики:

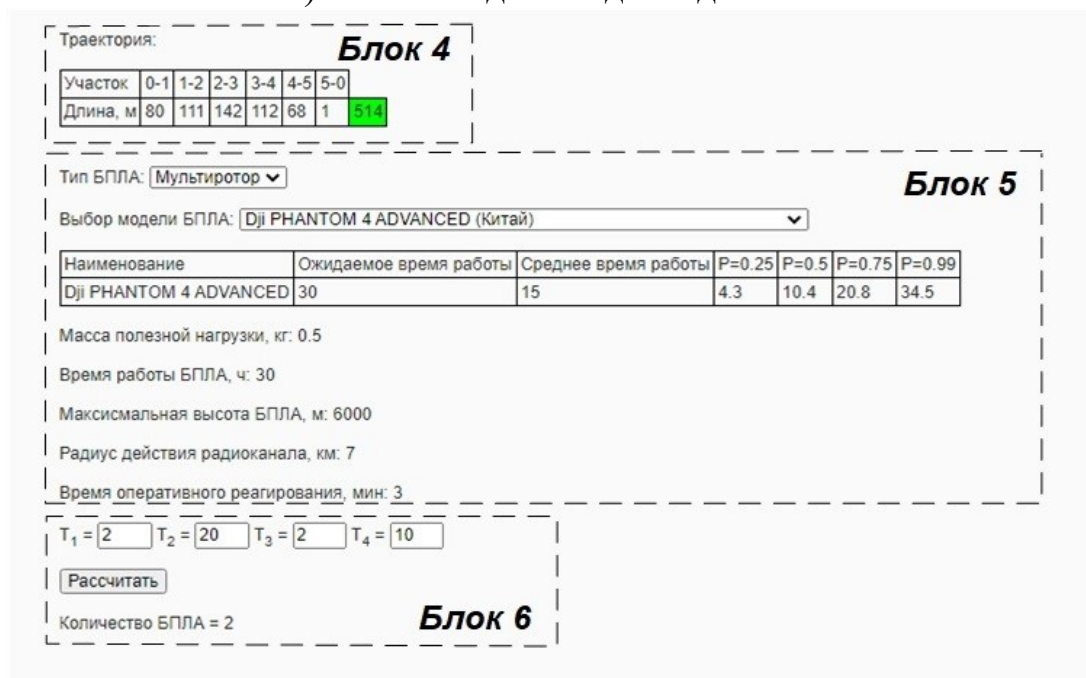
1 – множество управленческих решений будет содержать не более 9-ти вариантов; 2 – требуемое время для анализа вариантов решений оператором системы мониторинга не будет превышать 2-х минут; 3 – вероятность ошибочного сравнения вариантов решений не более 0,05.

Выполненное исследование позволяет утверждать, что разработанный алгоритм может быть эффективно использован при организации мониторинга в виде программного комплекса для поддержки принятия управленческих решений.

В четвертой главе «Программный комплекс для поддержки принятия решений при мониторинге крупных пожаров» для практического применения теоретических результатов организации мониторинга с использованием беспилотных авиационных средств разработан программный комплекс. Программный комплекс имеет блочную структуру и состоит из шести взаимосвязанных блоков (рисунок 6).



а) Блоки ввода исходных данных



б) Блоки результатов моделирования

Рисунок 6 – Интерфейс программного комплекса процедур поддержки управления при мониторинге пожаров

Первый и второй блоки программного комплекса предназначены для ввода исходных данных: загрузка схемы расположения объекта мониторинга на местности; выбор способа мониторинга над заданным объектом. В третьем блоке представлена рекомендательная информация для должностных лиц по выбору способов мониторинга. В четвертом блоке указываются числовые данные параметров мониторинга необходимые для определения количества средств мониторинга. В пятом блоке из базы данных происходит выбор мобильных средств, которыми возможно осуществление мониторинга на объекте. В шестом блоке реализованы процедуры применения теоретических результатов расчета необходимого количества средств мониторинга при заданном значении показателя качества его организации.

Разработаны процедуры решения практических задач, связанных с оценкой необходимого количества средств мониторинга, включая резерв для его качественной реализации (рисунок 7).

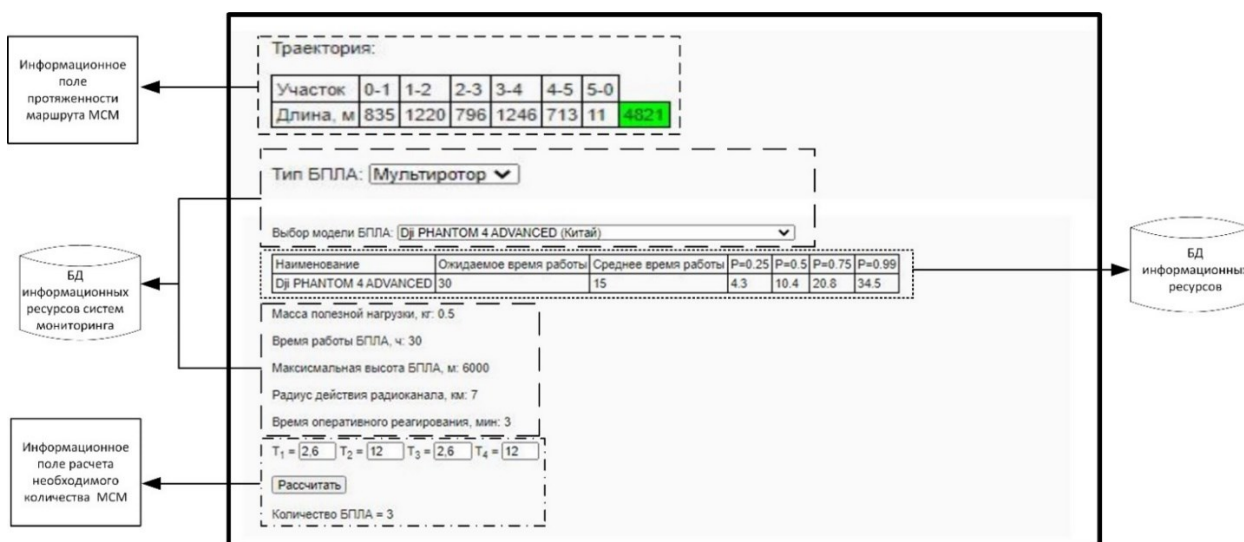


Рисунок 7 – Аналитическая подсистема программного комплекса

Таким образом, проведено совершенствование процедур поддержки принятия управленческих решений при мониторинге крупных пожаров и повышение качества информационного обеспечения системы управления.

Предложено внедрение разработанных моделей, алгоритмов и программного комплекса в процесс реализации основных функций управления пожарными подразделениями: планирование действий по тушению пожаров; организация принятия решений при тушении пожаров; принятие решений по использованию средств мониторинга в процессе тушения крупных пожаров; координация и контроль за оперативными подразделениями пожарной охраны.

В приложении к диссертации представлены статистические данные о количестве применяемой техники для тушения пожаров, фрагмент листинга программного комплекса, идентифицирующий основные научные результаты, свидетельства о Государственной регистрации программы для ЭВМ и базы данных, а также представлены акты внедрения научных результатов в практическую деятельность.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные научные и практические результаты, полученные в процессе решения научной задачи, состоящей в совершенствовании информационного обеспечения управления на крупных пожарах, путем создания моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при мониторинге крупных пожаров и их практической реализации в программном комплексе, заключаются в следующем:

1. Выполнен анализ организационной системы управления и сформированы информационные ресурсы для управления мобильными средствами мониторинга при тушении крупных пожаров. Введены категории организационной системы и выявлены основные виды информационного кризиса, встречающиеся в организационных системах управления на месте пожара, показаны основные направления их разрешения.

2. Разработана модель циклического мониторинга крупных пожаров и алгоритм поддержки принятия управленческих решений, позволяющие при заданном уровне качества его организации однозначно определить параметры для принятия решений о привлечении необходимого количества мобильных средств мониторинга. Для реализации модели и алгоритма предложен показатель качества организации мониторинга крупных пожаров.

3. Разработана модель и создан алгоритм принятия управленческих решений при организации применения средств мониторинга, основанный на принципе парето-оптимального выбора с учетом относительной важности задач мониторинга при тушении крупных пожаров. Проведено исследование алгоритма в процессе решения практических задач принятия решений в организационной системе управления. Установлено, что практическое применение алгоритма обеспечит следующие эксплуатационные характеристики: 1) множество управленческих решений будет содержать не более 9-ти вариантов; 2) требуемое время для анализа вариантов решений оператором системы не будет превышать 2-х минут, при этом вероятность ошибочного сравнения вариантов решений – не более 0,05.

4. Предложена структура программного комплекса для поддержки принятия решений при организации мониторинга крупных пожаров, отличающаяся возможностью трансформации под практические ситуации применения мобильных средств мониторинга как в оперативном режиме, так и при проведении пожарно-тактических учений. Разработан программный комплекс для поддержки принятия решений при управлении мобильными средствами мониторинга крупных пожаров на базе беспилотных авиационных систем. Проведена апробация применения программного комплекса и предложены практические рекомендации по планированию применения оперативной группы мониторинга крупных пожаров.

Практическое применение программного комплекса, реализующего разработанные модели и алгоритмы для организации мониторинга динамики оперативной обстановки на месте пожара, повышает качество информационного обеспечения системы управления, создаваемой при тушении крупных пожаров.

По мнению автора, дальнейшее развитие основных идей исследования состоит в адаптации разработанных моделей и алгоритмов к условиям использования носимых средств мониторинга динамики пожара.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. Кузнецов, А.В. Анализ структурно-логической модели резервирования средств оперативного мониторинга пожаров / А.В. Кузнецов, М.О. Баканов, Д.В. Тараканов // Технологии техносферной безопасности. – 2019. – № 2 (84). – С. 99-107.
2. Кузнецов, А.В. Информационные ресурсы системы мониторинга крупных пожаров на объектах энергетики / А.В. Кузнецов, Д.В. Тараканов, М.О. Баканов [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. – 2020. – № 4 (37). – С. 24-32.
3. Кузнецов, А.В. Модель циклического мониторинга крупных пожаров и поисково-спасательных работ / А.В. Кузнецов // Современные проблемы гражданской защиты. – 2021. – 4 (41). – С. 18-23.
4. Кузнецов, А.В. Алгоритм оценки важности задач организации мониторинга крупного пожара / А.В. Кузнецов, С.Ю. Бутузов, Д.В. Тараканов // Современные проблемы гражданской защиты. – 2022. – № 2 (43). – С. 27-33.

Научные публикации в изданиях, входящих в международные системы цитирования:

5. Kuznetsov, A.V. Model of cyclical monitoring and managing of large-scale fires and emergencies for evaluation of the required number of unmanned aircraft systems / D.V. Tarakanov, V. Prajova, M.O. Bakanov, A.V. Kuznetsov [et al.] // Science Journal. – 2020. – P. 4040-4044. – DOI: 10.17973/MMSJ.2020_10_2020059
6. Кузнецов, А.В. Многофакторный мониторинг динамики пожара в зданиях текстильной промышленности / Б.Б. Гринченко, А.В. Кузнецов, Д.В. Тараканов, М.О. Баканов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 4 (382). – С. 178–183.

Монография

7. Технологии дистанционного мониторинга крупных пожаров с использованием беспилотных авиационных систем: монография / А.В. Кузнецов, Н.Г. Топольский, и др.; под общ. ред. Н.Г. Топольского. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. – 124 с.– ISBN 978-5-6042853-5-0.

Программа для ЭВМ, патент на полезную модель, базы данных

8. Кузнецов, А.В. Программное обеспечение для информационно-аналитической системы управления беспилотными авиационными системами при мониторинге крупных пожаров: свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021619887, 18.06.2021 / А.В. Кузнецов, Н.Г. Топольский.

9. Кузнецов, А.В. Устройство информационной поддержки поиска пострадавших в природной среде: патент на полезную модель № 199887. зарегистр. 24.09.2020 / А.В. Кузнецов, Н.Г. Топольский, М.О. Баканов, Д.В. Тараканов.

10. Кузнецов, А.В. Информационные ресурсы системы мониторинга пожаров в зданиях и на открытых пространствах: свидетельство Роспатента о государственной регистрации базы данных RU № 2019622080, 14.11.2019 / А.В. Кузнецов, А.В. Суровегин, М.О. Баканов, Д.В. Тараканов.

11. Кузнецов, А.В. Информационные ресурсы для планирования мониторинга пожаров и чрезвычайных ситуаций с применением беспилотных авиационных систем: свидетельство Роспатента о государственной регистрации базы данных RU № 2020622227, 11.11.2020 / А.В. Кузнецов, Н.Г. Топольский, М.О. Баканов, Д.В. Тараканов.

Публикации в других изданиях

12. Кузнецов, А.В. Модели качества мониторинга пожаров и чрезвычайных ситуаций с учетом специфики их развития / М.О. Баканов, Д.В. Тараканов, А.В. Кузнецов [и др.] // Мониторинг. Наука и Технологии. – 2018. – № 3 (36). – С. 51-54.

13. Кузнецов, А.В. Модель циклического мониторинга природных пожаров затяжного характера / М.О. Баканов, Д.В. Тараканов, А.В. Кузнецов [и др.] // Мониторинг. Наука и Технологии. – 2019. – № 2 (40). – С. 14-19.

14. Кузнецов, А.В. Теоретическая модель периодического мониторинга природных пожаров с восстановлением / А.В. Кузнецов, М.О. Баканов, Д.В. Тараканов // Системы безопасности – 2019 сборник материалов 28 международной научно-практической конференции. – Москва: Академия Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2019. – С. 276-279.

15. Кузнецов, А.В. Математическая модель прогнозирования параметров восстановления средств мониторинга природных затяжных пожаров / А.В. Кузнецов // Пожарная и аварийная безопасность: материалы XIV Международной научно-практической конференции. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – 2019. – С.152-156.

16. Кузнецов, А.В. Маршрутизация полета беспилотных авиационных систем при проведении поисково-спасательных работ / А.В. Кузнецов, М.О. Баканов, Д.В. Тараканов // Актуальные вопросы пожаротушения: сборник

материалов Всероссийского круглого стола. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – 2020. – С. 77-85.

17. Кузнецов, А.В. Технологии обработки и получения фотоматериалов с использованием беспилотных летательных аппаратов / А.В. Кузнецов, М.О. Баканов, Д.В. Тараканов // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции. – Железногорск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – 2018. – С. 267-270.

18. Кузнецов, А.В. Планирование мониторинга затяжных пожаров на основе плотности распределения случайных величин / А.В. Кузнецов, М.О. Баканов, Д.В. Тараканов // Школа молодых ученых и специалистов МЧС России – 2019: сборник материалов. – Химки: ФГБОУ ВО Академия гражданской защиты МЧС России. – 2018. – С. 44-48.

Подписано в печать 01.02.2023. Формат 60×84 1/16
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 258
Академия ГПС МЧС России.
129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4