

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

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)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук
Тараканов Денис Вячеславович

Москва – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КРУПНЫХ ПОЖАРОВ	10
1.1 Анализ информационного кризиса в организационной системе управления при тушении крупных пожаров	11
1.2 Анализ системы мониторинга крупных пожаров	18
1.2.1 Анализ структуры системы при мониторинге крупных пожаров.....	20
1.2.2 Анализ основных задач системы мониторинга.....	23
1.3 Анализ специализированных моделей для оценки качества организации мониторинга крупных пожаров	26
1.4 Анализ информационных решений системы мониторинга крупных пожаров	30
Выводы по главе 1	36
ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ЦИКЛИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КРУПНЫХ ПОЖАРОВ	37
2.1 Постановка и решение задачи расчета необходимого количества средств мониторинга крупных пожаров	38
2.2 Разработка алгоритма принятия решений по организации мониторинга крупных пожаров	45
2.3 Анализ и сопоставление результатов моделирования	53
Выводы по главе 2.....	60
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА НА КРУПНЫХ ПОЖАРАХ.....	62
3.1 Модель для поддержки принятия решений.....	62
3.2 Анализ показателей принятия решений.....	64
3.3 Алгоритм поддержки принятия решений.....	69
3.4 Исследование алгоритма поддержки принятия решений	72

3.4.1 Модель численного эксперимента	73
3.4.2 Результаты численного эксперимента	78
Выводы по главе 3	85
ГЛАВА 4 ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ.....	86
4.1 Архитектура программного комплекса	87
4.1.1 Структура системы поддержки управления.....	87
4.1.2 Алгоритмическая структура системы поддержки принятия решений	89
4.2 Программная реализация процедур поддержки управления при мониторинге крупных пожаров	91
4.2.1 Программная реализация мониторинга крупных пожаров мобильными средствами.....	93
4.2.2 Программная реализация планирования мониторинга крупных пожаров ..	101
4.3 Внедрение программного комплекса в организационную структуру управления при мониторинге крупных пожаров.....	106
Выводы по главе 4.....	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	111
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	113
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	114
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Статистические данные о количестве применяемой техники для тушения пожаров в период с 2012 по 2021 гг.	130
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) Листинг программы для ЭВМ «Программное обеспечение для информационно-аналитической системы управления беспилотными авиационными системами при мониторинге крупных пожаров» и фрагмент базы данных «Информационные ресурсы для планирования мониторинга пожаров и чрезвычайных ситуаций с применением беспилотных авиационных систем»	132
ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) Свидетельства о государственной регистрации баз данных и программы для электронно-вычислительных машин	140
ПРИЛОЖЕНИЕ Г (обязательное) Акты внедрения	144

ВВЕДЕНИЕ

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 создание дополнительных организационных структур управления, таких как оперативный штаб на пожаре 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 диссертации 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 организации мониторинга, решаемых на участках и секторах тушения крупных пожаров.

Практическая значимость. Значение полученных результатов для практики подтверждается тем, что теоретические положения исследования реализованы в виде программного комплекса поддержки принятия управленческих решений при организации мониторинга крупных пожаров и необходимых для его использования информационных ресурсов – реляционных баз данных. Определены границы эффективного использования и предложена система практических рекомендаций по применению теоретических результатов исследования в процессе решения задач организации мониторинга при тушении крупных пожаров. 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, методы многокритериальной оптимизации, 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;

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

– в 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;

– в учебной деятельности Академии Государственной противопожарной службы МЧС России при организации и проведении учебных занятий по дисциплине «Системы поддержки принятия решений» (ФПиТБ по направлению 09.03.02).

– в 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.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КРУПНЫХ ПОЖАРОВ

При решении задач управления по организации тушения крупных пожаров, происходящих как на открытых пространствах, так и в зданиях (сооружениях), важным элементом информационного обеспечения выступает система мониторинга. Мониторинг тушения пожара обеспечивает лиц, принимающих решения, необходимой информацией на основе всесторонней оценки специфики воздействия внешней среды и особенностей применения сил и средств подразделений пожарной охраны, а также других министерств и ведомств, привлекаемых для эффективной реализации действий по тушению пожара.

В данной главе проводится анализ информационных кризисов, возникающих в организационных системах управления на месте пожара современных систем поддержки принятия решений, рассматриваются специализированные модели мониторинга пожара, раскрываются основополагающие принципы оценки качества мониторинга пожаров.

Проводится постановка задачи исследования, связанных с разработкой модели циклического мониторинга для формализации понятия качество его организации, а также создания многокритериальной модели поддержки принятия управленческих решений для количественной оценки важности задач, решаемых на участках тушения крупного пожара. Акцентируется внимание на тот факт, что практическое применение результатов решения данных задач возможно путем их алгоритмизации и программной реализации в виде программного комплекса, включающего в себя программное средство, реализующего алгоритмическую составляющую и реляционную базу данных – информационную составляющую.

1.1 Анализ информационного кризиса в организационной системе управления при тушении крупных пожаров

При тушении крупных пожаров руководитель тушения пожара сталкивается с двумя видами информационного кризиса. Первый вид информационного кризиса (кризис дефицита информации) связан с недостатком объективной информации, необходимой для принятия рациональных управленческих решений. Второй вид кризиса (кризис избытка информации) связан с избытком информации, который, в первую очередь определен развитой системой управления ее декомпозицией на участки и сектора тушения пожара (УТП; СТП). В соответствии с числом Миллера избыточный кризис информации стоит разделить на три категории: условно избыточный, представляет необходимость обработки информации при управлении до пяти объектов; избыточный от пяти до девяти объектов управления; крайне избыточный информационный кризис управления десятью и более объектами.

Стоит отметить, что в процессе развития и тушения пожара дефицитный кризис сменяется избыточным по мере нарастания количественного состава сил и средств пожарных подразделений на месте пожара. Мониторинг при дефицитном виде кризиса решает задачи информационного обеспечения с использованием стационарных средств мониторинга: автоматической пожарной сигнализации, стационарных систем видеонаблюдения и т.п. Данную информацию руководитель тушения пожара получает самостоятельно. В свою очередь, мониторинг при избыточном виде кризиса в основном реализуется с использованием мобильных средств мониторинга: носимых устройств сбора информации - видеокамер, расположенных на беспилотных авиационных системах (как правило, мультироторного типа). При этом такую информацию руководитель тушения пожара получает от должностных лиц оперативного штаба пожаротушения на месте пожара – оперативной группы мониторинга. Стоит отметить, что задачи мониторинга, которые направлены на разрешение дефицитного информационного кризиса системы управления на месте пожара, достаточно полно были рассмотрены в работах д.т.н. Тараканова Д.В. [81-88]. Таким образом, с одной

стороны, данная работа посвящена решению задач мониторинга при избыточном виде информационного кризиса на пожаре, связанного с необходимостью одновременного управления большим количеством объектов – сил и средств пожарной охраны. С другой стороны, оперативная группа мониторинга относится к силам и средствам пожарной охраны, а используемые беспилотные авиационные системы рассматриваются исключительно как пожарно-техническое оборудование, поэтому результат исследования направлен в развитие общей теории управления силами и средствами подразделений пожарной охраны.

Смена одного информационного кризиса другим происходит в момент развития системы управления на пожаре в соответствии с периодами прибытия дополнительных сил и средств пожарных подразделений. Обычно сосредоточение сил и средств происходит в соответствии с рангами пожара (номерами вызова). Однако, на практике зачастую отходят от понятия «ранги пожара» и высылают дополнительные силы и средства используя аббревиатуру «БИС», оценивая необходимое количество сил и средств. Поэтому в официальных статистических данных на учет берут случаи пожаров, потушенных с использованием $N_{техн.}$ единиц пожарной техники [69, 70] (см. Приложение А таблица А 1). В свою очередь оценить количество личного состава, участвующего в тушении пожара, можно используя приближенную оценку, состоящую в том, что на одной единице пожарной техники работают в среднем от четырех до пяти участников тушения пожара, при этом они используют от одного до трех приборов подачи огнетушащих веществ. Данные приближенные оценки достаточно хорошо коррелируют с коэффициентами критерия запущенности пожара, введенного А.В. Подгрушным [68], который предложил использовать для статистического моделирования процесса тушения пожара следующие параметры пожарных подразделений: Q – расход огнетушащих веществ; $N_{ств.}$ – количество и тип приборов подачи огнетушащих веществ; $N_{техн.}$ – количество и тип пожарной техники.

При этом нормативный расход подачи огнетушащих веществ было предложено А.В. Подгрушным оценивать по формуле:

$$Q^H = 2,23 + \left[0,09 \left(\frac{N_{чел}}{4,5} \right) + 0,72 \left(\frac{N_{ств}}{2} \right) \right] 7,1, \text{ л}\cdot\text{с}^{-1} \quad (1.1)$$

где Q^H – нормативный расход огнетушащих веществ л·с⁻¹;

$N_{чел}$ – количество участников тушения пожара;

$N_{ств}$ – количество приборов подачи огнетушащих веществ.

Стоит отметить, что дроби $\left(\frac{N_{чел}}{4,5} \right)$ и $\left(\frac{N_{ств}}{2} \right)$ характеризуют оценки по количеству пожарной техники. Следовательно, для того чтобы определить приближенную оценку количества участников тушения пожара, необходимо количество единиц пожарной техники умножить на коэффициент 4,5.

Анализируя официальные статистические данные по процентному отношению количества пожаров, потушенных с использованием N единиц пожарной техники, можно утверждать, что существует четыре основные группы – категории организационной системы управления на месте пожара. Первая категория (I K=0) предусматривает управление до девяти участников тушения пожара на двух единицах пожарной техники (первое прибывшее подразделение пожарной охраны); вторая категория (II K=1), предусматривает управление от десяти до двадцати пяти участников тушения пожара, использующих от двух до пяти единиц пожарной техники; третья категория (III K=2) это организационная система, включающая от двадцати пяти до пятидесяти участников тушения пожара и от шести до десяти единиц пожарной техники; четвертая категория (IV K=3) - это организационная система, создаваемая на пожарах, при тушении которых используются более пятидесяти участников тушения пожара и более десяти единиц пожарной техники.

Критерии категорирования организационной системы по числу единиц пожарной техники и соответствующие категории дефицитного и избыточного информационного кризиса представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Критерии организационной системы по числу единиц пожарной техники

Категория организационной системы	I	II	III	IV
Показатель К	0	1	2	3
Количество единиц пожарной техники	до 2 ед.	от 3-х до 5-ти ед.	от 6 до 10 ед.	свыше 10 ед.
Информационный кризис	Дефицитный	Условно избыточный	Избыточный	Крайне избыточный

В свою очередь, процентное отношение количества пожаров, отнесенных к той или иной категории на основе показателя К, может быть оценено по формуле:

$$N_n = N \frac{\mu^K}{K!} \exp(-\mu), \quad (N_{\%} = 100 \frac{\mu^K}{K!} \exp(-\mu), \%), \quad (1.2)$$

где $N_{\%}$ – теоретическая доля пожаров, отнесенных к категории организационных систем $K=0, 1, 2, 3$, создаваемых для управления пожарными подразделениями;

N_n - количество пожаров потушенных группой сил и средств пожарных подразделений управляемых организационной системой $K=0, 1, 2, 3$;

N – общее число пожаров;

μ – параметр распределения, отн.·единицы.

Сопоставление теоретических данных по процентному отношению пожаров, потушенных с использованием организационной системы той или иной категории в сравнении с эмпирическими данными за 2021 год, представлено на рисунке 1.1.

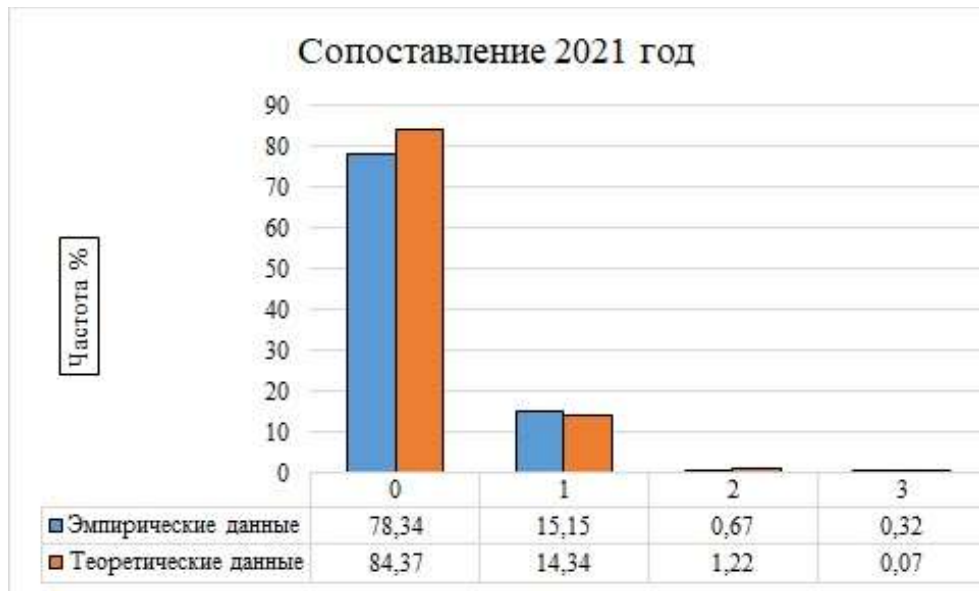


Рисунок 1.1 – Сопоставление теоретических и эмпирических данных по процентному отношению пожаров $K=0, 1, 2, 3$

Данные за период наблюдения с 2012 по 2021 годы (включительно) представлены в таблице 1.2. Верификация сходимости теоретических и эмпирических данных проведена с использованием критериев статистического согласия Пирсона и Романовского.

Таблица 1.2 – Параметры модели использования пожарной техники

К	Выборка А							Выборка В		
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Эмпирические данные										
0	61,47	61,32	59,52	60,97	62,00	62,44	61,33	84,44	81,80	78,34
1	25,31	25,12	26,74	26,02	25,61	25,60	27,51	10,90	12,27	15,15
2	3,67	3,71	3,87	3,69	3,65	3,59	4,07	1,35	1,62	2,14
3	0,57	0,56	0,71	0,62	0,59	0,49	0,61	0,23	0,23	0,32
Параметр распределения										
$\mu=$	0,34	0,34	0,37	0,35	0,35	0,34	0,37	0,14	0,16	0,2
Теоретические данные										
0	71,18	71,18	69,07	70,47	70,47	71,18	69,07	86,94	85,21	81,87
1	24,2	24,2	25,56	24,66	24,66	24,2	25,56	12,17	13,63	16,37
2	4,11	4,11	4,73	4,32	4,32	4,11	4,73	0,85	1,09	1,64
3	0,47	0,47	0,58	0,5	0,5	0,47	0,58	0,04	0,06	0,11
Критерии статистического согласия										
$\chi^2=$	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00	0,90	0,48	0,40
R=	0,30	0,30	0,20	0,30	0,40	0,40	0,40	0,30	0,50	0,60

Статистические данные, представленные в таблице, определили наличие двух выборок. Выборка А - данные с 2012 по 2018 гг. и выборка В - данные с 2019 по 2021 годы, эта статистическая особенность данных влияет лишь на количественные оценки параметра (μ) и не влияет на адекватность формулы (1.2) при оценке доли пожаров, потушенных с использованием тех или иных категорий организационной системы. Динамика значений параметра (μ) и значений критерия Романовского (R) (если $R < 3$, то статистически модель адекватна) для выборок А и В за период наблюдения с 2012 по 2021 гг. представлена на рисунке 1.2.

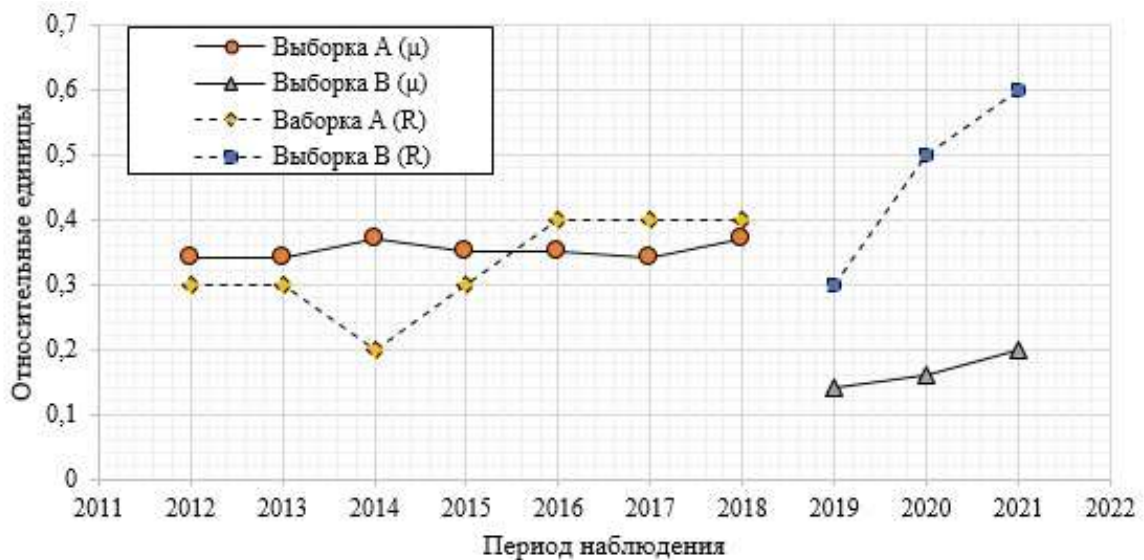


Рисунок 1.2 – Динамика параметра модели (μ) и критерия статистического согласия (R)

Результаты проведенного анализа позволяют установить границы применения оперативной группы мониторинга задействованной для решения проблемы крайне избыточного информационного кризиса, возникающего в организационной системе управления IV категории, создаваемой на месте пожара. Поэтому в работе под **крупным пожаром** понимается пожар, требующий для тушения сосредоточение большого количества сил и средств, создания для управления ими организационной системы IV типа, предусматривающей решение задач крайне избыточного информационного кризиса путем его непрерывного мониторинга.

Определение случаев возникновения крупных, с точки зрения сосредоточения сил и средств, пожаров возможно с использованием формулы (1.2). Например, ($\mu=0,35$ (2015 - 2016 годы)) и в пожарно-спасательном гарнизоне ожидается 1000 пожаров в год, то руководитель тушения пожара будет создавать организационную систему IV типа (при условии, что в гарнизоне для этого имеются ресурсы) и столкнется с необходимостью решать задачи крайне избыточного информационного кризиса в пяти случаях:

$$N_n = N \frac{\mu^K}{K!} \exp(-\mu) = 1000 \frac{0,35^3}{3!} \exp(-0,35) = 5.$$

То есть доля случаев пожаров, на которых решаются задачи крайне избыточного информационного кризиса не велика, однако, важность задач управления имеет здесь определяющее значение. Для подтверждения данного утверждения проведем аналогию с крупными пожарами по экономическим оценкам, представленную в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Экономические оценки крупных пожаров

Период наблюдения	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Количество крупных пожаров	78	64	77	90	52	56	44	49	38	43
в % к общему числу пожаров	0,05	0,04	0,05	0,06	0,04	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01
Ущерб от крупных пожаров, млн. руб	6713	5763	8379	12882	4501	4872	6308	8471	10692	6059
в % к общему числу пожаров	42,78	38,72	45,92	57,35	33,55	35,39	40,65	46,62	51,22	37,29

Анализируя данные, представленные в таблице 1.3, можно сделать вывод, что количество крупных, с экономической точки зрения, пожаров составляет 0,01 – 0,03 % от общего числа пожаров в стране, при этом ущерб от этой небольшой доли составляет от 35 до 50% общего экономического ущерба от пожаров. Динамика

доли пожаров к общему числу и доли экономического ущерба от крупных пожаров представлены на рисунке 1.3.

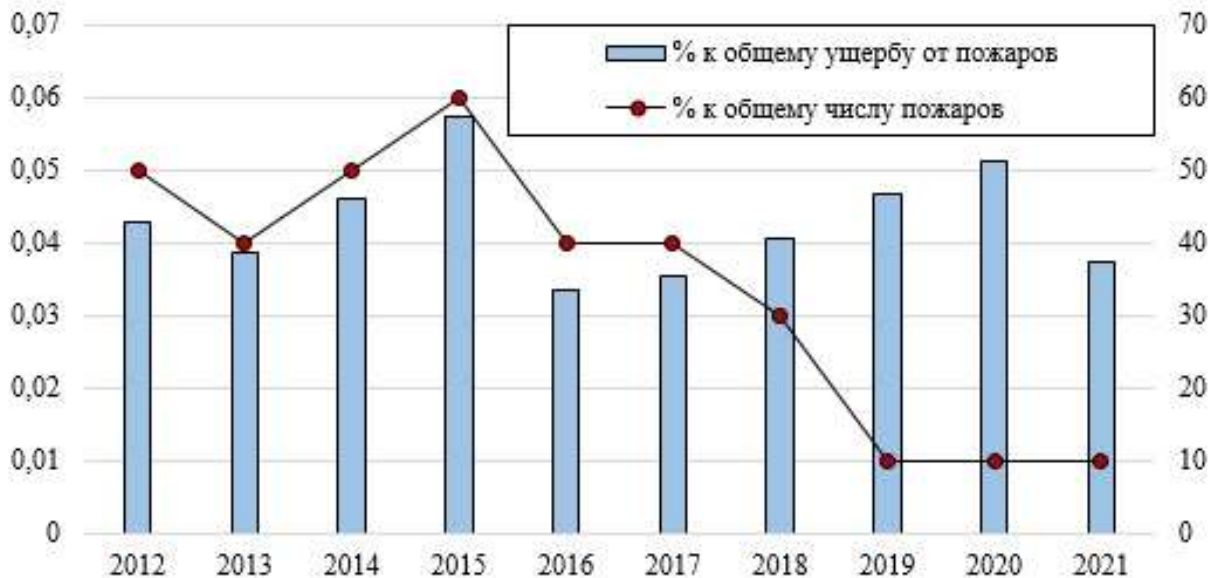


Рисунок 1.3 - Динамика относительных показателей крупных пожаров за период с 2012 по 2021 годы

Стоит отметить, что крупные пожары, с точки зрения организационной системы управления и с экономической точки зрения, это не одно и то же. Однако, крупные пожары по организационной системе управления всегда являются сложной проблемой с точки зрения тактики тушения и, как правило, имеют резонансный характер. На крупных пожарах в развитых организационных системах создаются информационно-аналитические обеспечения решения задач управления, в которых отдельная важная роль отводится результатам мониторинга показателей, определяющих оперативную обстановку на пожаре.

1.2 Анализ системы мониторинга крупных пожаров

При проведении анализа системы мониторинга, направленной на решение задач избыточного информационного кризиса, необходимо рассмотреть структуру системы мониторинга, а также основных задач, стоящих перед системой в целом.

Современное состояние системы профилактики и борьбы с крупными пожарами в техногенной среде определяет необходимость постоянного мониторинга показателей, характеризующих оперативную обстановку на месте крупного пожара. Для решения данной задачи используются различные по структуре, функциям и алгоритмическому наполнению технические и информационные системы [1, 22, 61, 64, 77, 90, 98, 100, 102, 104, 105, 109-115]. Однако в случае возникновения конкретных проблемных ситуаций, связанных с продолжительными периодами мониторинга пожаров, на практике применяют использование в режиме реального времени мобильных средств, которые, как правило, размещают на беспилотных авиационных системах [33, 38, 48, 52, 72, 93, 101]. В этой связи возникают две практические задачи оценки качества мониторинга, состоящие в следующем: с одной стороны, необходимо оценить количество средств мониторинга для его качественной реализации на практике, с другой – при заданном числе средств мониторинга необходимо вычислить характеристики системы мониторинга в целом и сделать выводы по ожидаемым свойствам системы мониторинга. В работах [8, 9, 10, 34] критерий качества мониторинга – это вероятность безотказной работы средств мониторинга, то есть интегральная функция распределения случайной величины числа «отказов» средств мониторинга. Используя данную аналогию, введем понятие показателя качества организации мониторинга крупного пожара как количественной величины, характеризующей отношение времени, при котором осуществляется мониторинг с помощью привлекаемых средств мониторинга к общему планируемому времени мониторинга.

В свою очередь, спектр способов мониторинга техногенных пожаров разнообразен [33, 40-45, 49, 51, 70, 89, 97] и предусматривает формальное описание данного процесса с использованием систем уравнений, аналогичных моделям Колмогорова, Эрланга и Гаусса. В общем случае, при моделировании мониторинга используется формальный инструмент – система отказов без восстановления, которая предусматривает, что средство мониторинга постоянно находится в работе, то есть осуществляет непрерывный мониторинг. Однако специфика

крупных пожаров, заключающаяся в циклическом дискретном мониторинге, определяет необходимость использования системы уравнений с восстановлением. Вербальная постановка задачи моделирования мониторинга представляет два состояния системы: 1 – непосредственный мониторинг; 2 – восстановление средства мониторинга, состояние приведения средства мониторинга в готовность к решению задачи по назначению [46].

1.2.1 Анализ структуры системы при мониторинге крупных пожаров

Структура информационно-аналитической системы поддержки принятия решений при мониторинге крупных пожаров представляет собой совокупность самостоятельных подсистем, взаимосвязанных между собой при помощи системных связей. Данное взаимодействие представляет возможным организацию многоуровневых процедур многокритериального выбора, позволяющее распределить множество управленческих решений по Парето оптимальному выбору и произвести ранжирование представленных вариантов решений в порядке предпочтительности для лица, принимающего окончательное решение. Общая структура взаимосвязанных подсистем информационно-аналитической системы поддержки принятия решений при мониторинге крупных пожаров представлена на рисунке 1.4.

Представленная структурная схема является теоретической основой в диссертационной работе и представляет собой систему поддержки принятия решений, предложенную для мониторинга крупных пожаров. Анализ управленческих решений реализуется в виде метода, реализация которого возможна лишь благодаря программной реализации как информационной подсистемы, так и аналитической.

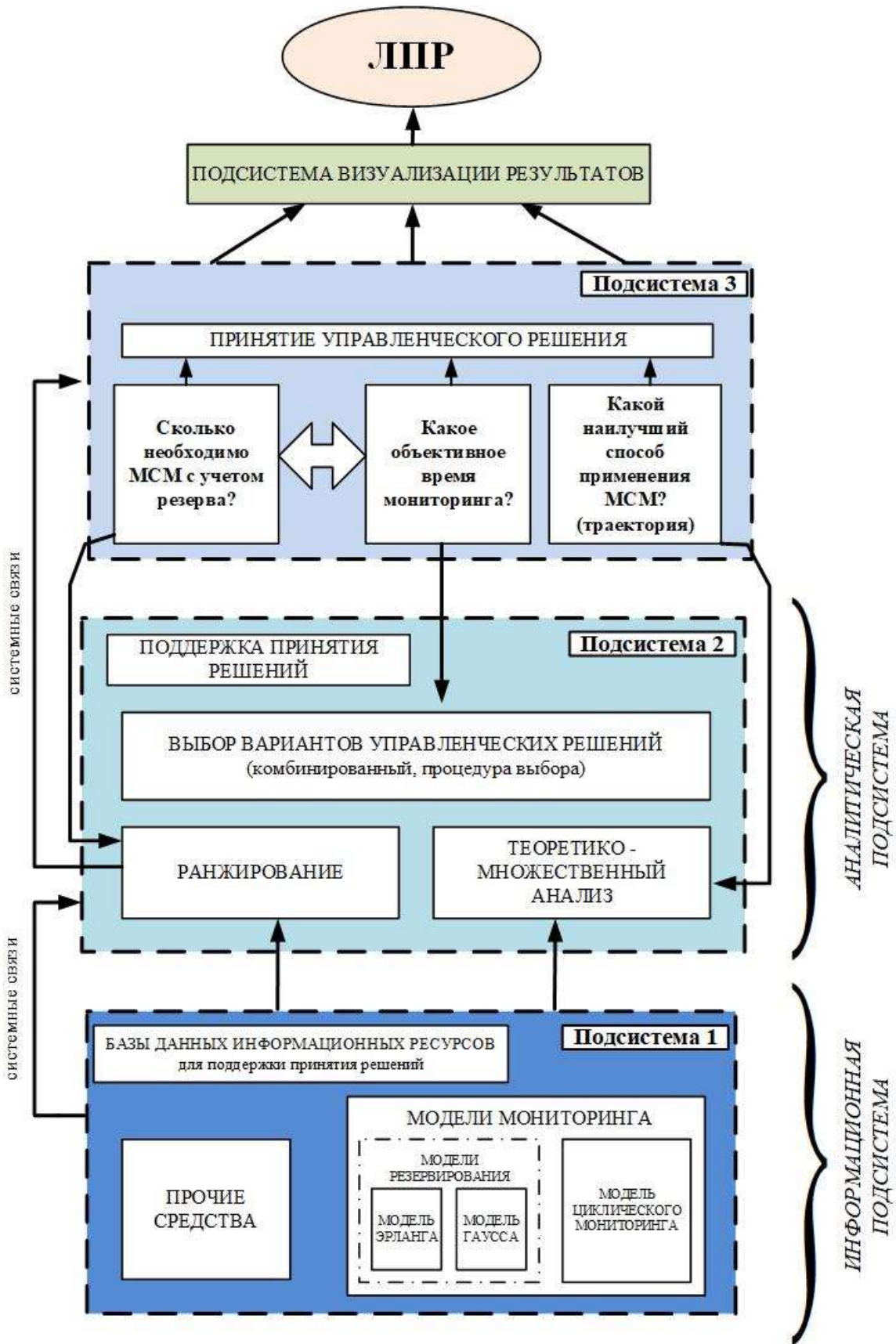


Рисунок 1.4 – Структурная схема поддержки принятия решений при мониторинге крупных пожаров

Первая подсистема, представляющая собой информационную подсистему, содержит в себе: концептуальную модель резервирования средств мониторинга на основе прогноза динамики состояний системы управления с целью прогнозирования эффективности ее функционирования при тушении крупных пожаров; информационные ресурсы для управления мобильными средствами при мониторинге крупных пожаров. К информационным ресурсам относятся две базы данных, а именно: информационные ресурсы системы мониторинга пожаров в зданиях, сооружениях и на открытых пространствах [37] и информационные ресурсы для планирования мониторинга пожаров и чрезвычайных ситуаций [35]. Первая база данных в совокупности с системой мониторинга используются для информационной поддержки оперативных должностных лиц в процессе принятия решений по выбору наиболее рациональных средств мониторинга, оценке степени развития пожара и результатах действий по его ликвидации. База данных позволяет сократить временные затраты при поиске необходимой информации для рационального выбора оптимального средства мониторинга по нескольким характеристикам для получения всей необходимой оперативно-тактической информации в процессе мониторинга пожара. Вторая база данных позволяет оперативно извлекать структурированную информацию и в совокупности с системой мониторинга используются для информационной поддержки оператора мобильных средств мониторинга в процессе принятия решений по выбору наиболее рациональных средств и способов мониторинга. База данных позволяет на этапе планирования совершить оптимальный выбор мобильных средств, тем самым повысить эффективность их применения при мониторинге пожаров и чрезвычайных ситуаций.

Во *второй подсистеме*, представляющей собой аналитическую подсистему, содержатся: алгоритм планирования резерва средств мониторинга для повышения качества информационного обеспечения действий подразделений, участвующих в ликвидации крупных пожаров; модель и алгоритм поддержки принятия решений по применению мобильных средств мониторинга для информационного обеспечения организационной системы управления при тушении крупных

пожаров. В данной подсистеме осуществляется определение необходимого количества средств мониторинга, с учетом резерва, необходимых для проведения качественного и непрерывного мониторинга на пожаре. Также осуществляется теоретико-множественный анализ способов применения мобильных средств на основе важности задач, решаемых на боевых участках тушения пожара. На основе алгоритма поддержки принятия решений при выборе способов использования мобильных средств мониторинга осуществляется исключение неэффективных вариантов по Парето оптимальному выбору. Оставшиеся варианты упорядочиваются по результатам ранжирования для окончательного выбора наилучшего варианта.

В *третьей подсистеме* осуществляется объединение всех ранее полученных результатов информационно-аналитической системы и осуществляется принятие управленческого решения ЛПР.

Подсистема визуализации результатов подразумевает под собой программную реализацию вышеуказанных подсистем [50]. Программа позволяет решить следующие задачи: построение маршрута полета МСМ для осуществления мониторинга над заданным объектом и определение необходимого количества МСМ (с учетом резерва) для успешной реализации поставленной задачи, а также построение траектории полета МСМ, опираясь на весовые коэффициенты важности задач, решаемых на участках тушения пожара.

1.2.2 Анализ основных задач системы мониторинга

Основной задачей системы мониторинга является непрерывное обеспечение должностных лиц на месте пожара объективной информацией о динамике развития оперативной обстановки и результатов применения сил и средств подразделений пожарной охраны и других министерств и ведомств. При решении данной задачи главенствующая роль отводится понятию, поддержке принятия решений, заключающаяся в анализе имеющихся вариантов применения сил и средств и построении множества вариантов решений, удовлетворяющих предпочтениям и

претендующих на окончательный выбор [3, 87, 111]. Исходя из данного формального определения для математической постановки задачи используется модель многокритериального выбора, которая в работе [95] была применена для формализации принципов определения решающего направления ведения действий по тушению пожаров.

Многокритериальная модель выбора вариантов решений является результатом применения теории множеств к задаче выбора, осуществляемого человеком на основе многомерной противоречивой информации. Многокритериальная модель включает в себя следующие основные множества: 1 – множество управленческих решений по применению мобильных средств мониторинга; 2 – множество компонент векторного критерия.

В данной математической модели лицу, принимающему решение (человеку или коллективу людей), предлагается выбрать наиболее предпочтительный вариант управленческого решения на основе анализа его векторных оценок и информация о предпочтениях, выражающих важность задач пожаротушения, решаемых на участках (секторах) тушения крупного пожара.

Для обеспечения данной модели необходимой информацией организуется система мониторинга, основными задачами которой является анализ источников информации для принятия решений на применение сил и средств подразделений, участвующих в ликвидации пожаров. Результаты оперативного мониторинга необходимы также для организации взаимодействия подразделений со службами жизнеобеспечения, в зоне ответственности которых находится социально-экономическое состояние страны. В общем случае при решении задач информационного обеспечения результаты мониторинга применяются при прогнозировании развития пожара и оценке результативности действий подразделений при ликвидации пожаров [7, 41]. В свою очередь, прогноз развития пожара осуществляется с использованием математического обеспечения на основе цифровой обработки результатов мониторинга параметров пожара. Поэтому, рассматривая систему оперативного мониторинга, необходимо учитывать ее модель в части структуры, так как математическое обеспечение в зависимости от

целей мониторинга может варьироваться. Такая постановка исследовательской задачи позволяет в той или иной степени определять направления развития системы и совершенствования ее отдельных элементов, например резерва средств мониторинга. При этом расчет резерва средств мониторинга имеет дуалистический характер и сводится к решению двух связанных между собой задач: 1 – оценка необходимого количества средств мониторинга для заданного уровня его качества; 2 – определение уровня качества мониторинга при фиксированном количестве средств мониторинга в системе [41]. Первая задача считается прямой (основной) задачей оценки резерва, вторую же принято считать обратной (второстепенной) задачей.

Принятие решений о необходимом количестве средств мониторинга основывается на решении основной задачи и осуществляется при планировании применения средств мониторинга в единой системе. В случае, если система является простой и неделимой, то решение основной задачи резерва сводится к анализу общеизвестных моделей надежности социотехнической системы. Если же система является сложной, состоит из ряда подсистем, то основная задача неразрешима с использованием тривиальных методов и требует дополнительных данных и вычислительных процедур. Практика мониторинга пожаров определяет, что подсистемы системы мониторинга функционируют в разных условиях развития пожара, поэтому при анализе резерва мониторинга необходимо использовать детализированные методы, имеющие большее число степеней свободы при моделировании и планировании эффективной реализации оперативного мониторинга пожара. Поэтому научная задача, решаемая в работе, сводится к определению предельных состояний системы оперативного мониторинга на основе анализа структурно-логической модели резерва средств мониторинга. Методы решения поставленной задачи представляют собой процедуру анализа вероятностей состояния системы мониторинга в совокупности с процедурами принятия решений в условиях риска и неопределенности, позволяющих сделать оптимистичный и пессимистичный прогнозы относительно динамики состояний системы в целом.

Потребителями результатов мониторинга пожара являются должностные лица управления подразделениями, это определяет рассмотрение системы мониторинга как социотехническую сложную систему. Структура взаимодействия должностных лиц при ликвидации пожаров построена по иерархическому принципу, что накладывает ряд ограничений на модель резерва средств мониторинга, так как информация от каждой подсистемы системы мониторинга востребована должностным лицом, осуществляющим управление на заданном участке работ по ликвидации пожара; в свою очередь, руководитель тушения пожара должен получать укрупненные данные в целом по системе. Этими формальными принципами определяется существенное влияние человеческого фактора на процесс функционирования системы управления и ее источника объективной информации – системы оперативного мониторинга. В этой связи социальная составляющая системы определяет необходимость методического обеспечения потребителей мониторинга, а техническая составляющая системы определяет развитие в части резервирования средств мониторинга. Объединение двух этих составляющих инициировало эволюцию системы мониторинга в иерархическом направлении.

1.3 Анализ специализированных моделей для оценки качества организации мониторинга крупных пожаров

Одним из решений, позволяющих снизить материальные потери от крупных пожаров, является проведение оперативного и качественного мониторинга обстановки, обеспечивающего информационную и методическую поддержку должностных лиц управления при организации борьбы с крупными пожарами [8, 74, 75, 84, 88, 93].

Анализ аспектов управления в условиях крупных пожаров (рассматриваемых как чрезвычайная ситуация) показал, что система управления должна функционировать в четырех режимах: повседневной деятельности, повышенной готовности, чрезвычайного режима, постчрезвычайного режима [8, 54, 55]. Далее

рассматриваются режимы повседневной деятельности и повышенной готовности, на которых реализуются мероприятия по планированию проведения мониторинга. Не умаляя важности всей совокупности решаемых вопросов планирования мониторинга, авторы ограничиваются двумя взаимосвязанными задачами, носящими основополагающий характер. Это задачи определения необходимого количества средств мониторинга и оценки времени их качественного использования на основе знаний о необходимом уровне надежности используемых средств мониторинга и уровне воздействия внешних факторов природной среды.

В общей совокупности подходов и реализующих их способов существует многочисленный набор средств мониторинга пожаров, транспортировка которых в зоне ответственности осуществляется с применением средств мониторинга [4, 6, 8, 10,14, 15, 20-24, 93, 101, 112].

Вопросами применения мобильных средств для мониторинга техногенных пожаров различных видов и классификаций занимались как отечественные, так и зарубежные ученые [36, 39, 53, 66, 67, 70, 71 93, 103, 106, 107, 108].

Авторами в работе [8] утверждается следующее: «Качество мониторинга в процессе оперативного управления определяется вероятностью безотказной работы системы мониторинга. Данное утверждение справедливо в том случае, если другие показатели качества мониторинга удовлетворяют требованиям, определенным в процессе планирования мониторинга. В этом случае вероятность отказа системы мониторинга является количественным критерием качества мониторинга, с помощью которого определяют необходимое число средств мониторинга для решения поставленных задач». Таким образом, оценивая вероятность отказа системы мониторинга в целом, имеется возможность ответить на 2 практических вопроса:

- 1) Сколько необходимо мобильных средств при заданном уровне качества мониторинга?
- 2) При ограниченном количестве мобильных средств, какое стоит ожидать качество мониторинга?

В работе [8] коллективом авторов отмечено, что: «Классический подход к расчету временной зависимости вероятности безотказной работы для восстанавливаемой системы с конечным числом элементов предусматривает расчет значений вероятности безотказной работы для каждого элемента системы в заданный момент времени и на основе полученных значений расчет вероятности безотказной работы системы в целом». Очевидно, что данный подход применим и для решения поставленной задачи [9].

Относительно каждой подсистемы системы оперативного мониторинга в работах [2, 7, 41, 94] была сформулирована модель расчета необходимого количества средств мониторинга с точки зрения его резерва. Процедура расчета необходимого количества средств мониторинга сводится к анализу следующей структуры параметров:

$$\langle m, P_m, \lambda, \tau \rangle, \quad (1.3)$$

где m – количество средств мониторинга в ее подсистеме;

P_m – критерий принятия решений – вероятность успешной реализации мониторинга с использованием m -средств мониторинга за время τ ;

λ – параметр среды мониторинга.

Оперативные должностные лица, принимающие решения, применяют данную модель для реализации двух основных задач:

– прямая задача, которая сводится к определению требуемого количества средств мониторинга (m) для получения информации при заданной вероятности (P_m) за определенную продолжительность мониторинга (τ);

– обратная задача, которая позволяет определить, с какой вероятностью (P_m) будет получен требуемый объем информации от m -средств мониторинга в процессе мониторинга продолжительностью (τ).

Итак, каждая подсистема системы мониторинга с конечным числом резервных средств мониторинга имеет конечное число состояний:

$$\{S_1, S_2, \dots, S_k\}. \quad (1.4)$$

Каждому из рассматриваемых состояний соответствует критическое значение критерия мониторинга – вероятности успешной реализации мониторинга:

$$\{P_1^*, P_2^*, \dots, P_k^*, 1\}. \quad (1.5)$$

То есть система находится в состоянии S_k , если прогнозируемая вероятность принадлежит интервалу $P_k \in [P_{k-1}^*; P_k^*]$, тогда каждое прогнозируемое состояние в режиме реального времени каждой подсистемы системы мониторинга определяется на основе выражения (1.6) с учетом исходных данных параметров кортежа (1.3).

$$P_k(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^k}{k!} \exp(-\lambda\tau), \quad (1.6)$$

где k – количество отказавших средств оперативного мониторинга пожара.

Интервальная природа прогнозирования состояний системы мониторинга определяет ситуацию, заключающуюся в том, что формальный анализ соотношений необходимо проводить на основе методов принятия решений в условиях риска и неопределенности, позволяющих сделать оптимистичный и пессимистичный прогнозы относительно динамики состояний системы в целом [41].

Анализируя зависимости, когда средства мониторинга объединены в единую систему, можно сделать вывод, что при длительном мониторинге система Эрланга стремится к нормальной Гауссовой модели. Поэтому при разработке альтернативной модели организации мониторинга крупных пожаров на практике пользуются плотностью распределения нормальной случайной величины. Таким образом, структура вероятностного подхода к решению задачи организации мониторинга при формальной постановке задачи исходит из следующего допущения [41]: «Система мониторинга может рассматриваться как восстанавливаемая система с конечным числом элементов. Данное допущение обосновано для случая оперативного мониторинга практикой его реализации».

На основе предложенной концептуальной модели исследователями получены решения прямой и обратной задачи организации мониторинга при заданном уровне качества. Однако, отсутствует инструментарий, позволяющий:

1 – интерпретировать результаты вероятностей оценки в виде показателя качества организации мониторинга путем введения категорий для формализации состояний системы мониторинга;

2 - отсутствует возможность оценить необходимое количество средств мониторинга при циклической схеме его организации при заданной категории качества.

Предложенные авторами анализируемых работ модели для организации мониторинга крупных пожаров реализуются как правило в виде информационно-аналитических систем, включающих в себя базы данных и программные средства, именуемые далее информационные решения для мониторинга.

1.4 Анализ информационных решений системы мониторинга крупных пожаров

С развитием информационных технологий и внедрения систем поддержки принятия управленческих решений в различные социальные и экономические системы появляются новые возможности в поддержке борьбы с крупными пожарами [5, 24, 29-31, 59, 62, 63, 73, 78, 79, 92].

Программный комплекс [27] предназначен для прогнозирования и определения количества лесных пожаров путем использования метеорологических данных и применения данных о мониторинге термоточек земной поверхности с космоса. Авторами данного ПК в 2017 г. была разработана программа для ЭВМ [28], отличительной особенностью которой является прогнозирование крупных пожаров как в муниципальных образованиях, так и в субъектах Российской Федерации диапазоном в 6 суток. Программа основана на математическом моделировании с применением методов машинного обучения.

При прогнозировании крупных пожаров основополагающую роль играют мониторинг, математический аппарат и статистический анализ данных. Однако при мониторинге и анализе статистических данных могут возникнуть аномальные значения различного характера. На этот случай было разработано веб-приложение [57], позволяющее выявить аномальные значения в данных, используемых для прогнозирования пожаров.

В работах [11, 12] автором применяется детерминированное моделирование антропогенной нагрузки от различного рода источников. Применение данных программ возможно при прогнозировании количества пожаров в определенном месте в зависимости от времени.

Проблема крупных пожаров для нашей страны остается весьма актуальной. Пути решения проблемы по обеспечению пожарной безопасности играют важную роль в настоящее время. Коллективом авторов [91] была разработана программа для ЭВМ, основная задача которой – мониторинг и прогнозирование пожаров. Отличительной особенностью программного средства является то, что она способна в автоматическом режиме осуществлять мониторинг данных по лесным пожарам из открытых источников, снимкам со спутников и по показателю Fire Radiative Power (FRP). Программа позволяет спрогнозировать развитие пожара на территории Российской Федерации сроком на 5 дней.

Особенность крупных пожаров – выгорание больших площадей лесных насаждений и, соответственно, причинение крупного материального ущерба для страны. Прогнозирование как материального ущерба, так и последствий от лесного пожара является неотъемлемой частью предупреждения и ликвидации ЧС природного характера. В этих целях были разработаны программы для ЭВМ [25, 58], позволяющие в оперативном режиме провести расчет следующих параметров: доля поврежденного и непригодного древостоя; степень повреждения древесного покрова; скорость распространения пожара. Данные, полученные при прогнозировании последствий пожара, могут быть использованы как для профилактики, так и для предупреждения от ЧС характера.

Одним из методов прогнозирования деструктивных событий является разработка документов предварительного планирования. Система поддержки принятия решений при составлении такого рода документов является неотъемлемой частью процесса прогнозирования. Авторами [60] разработано программное средство, позволяющее на этапах прогнозирования развития пожара определить необходимое количество сил и средств, требуемых на его тушение, а также осуществить расчет основных параметров развития пожара. Также в 2015 г. была разработана программа для ЭВМ, предназначенная для разработки электронных документов предварительного планирования [87]. Отличительной чертой программного средства является то, что имеется возможность указания важных характеристик объектов экономики с точки зрения тактики тушения пожаров.

В 2018 г. была разработана программа для ЭВМ, основной задачей которой является прогнозирование и оценка риска наступления деструктивных событий различного характера, формирование сил и средств, а также система поддержки принятия решений по защите населений и территорий [80]. Функционал программного средства позволяет автоматизировать процессы моделирования ЧС и техногенного характера. Апробация программного средства была проведена на массовых скоплениях людей при проведении Чемпионата мира по футболу 2018 года в Российской Федерации.

Возникновение пожаров на военных объектах, а именно на объектах складирования оружейного арсенала, представляет большую опасность как для населения, так и целиком для страны. Развитие пожара на данных объектах идет с сопутствующими проявлениями: взрывы и их поражающие факторы, резкое увеличение площади пожара, сложность тушения и применение специальной аварийно-спасательной техники. Авторами [76] разработан программный комплекс «Арсенал», позволяющий спрогнозировать динамику развития пожара на военных объектах хранения средств поражения.

Еще одним из значимых объектов экономики, пожары на которых приводят как к большому материальному и экологическому ущербу, так и к человеческим

жертвам, является объект по переработке, транспортировке и хранении нефтепродуктов. Программное средство [96] было разработано авторским коллективом для моделирования развития и ликвидации ЧС на объектах, связанных непосредственно с нефтепродуктами. Программа позволяет спрогнозировать развитие пожара на таких объектах, как отдельно стоящий резервуар, группа резервуаров, розлив нефтепродуктов в обвалование, сливноналивные железнодорожные эстакады и технологические станции. Также программа позволяет произвести расчет сил и средств, необходимый для тушения пожаров на данных объектах.

Автоматизация процессов обнаружения очага возгорания на нефтяных объектах также является актуальной задачей по предупреждению крупных пожаров. В работах [16, 17, 18] коллективом авторов были разработаны программные средства, позволяющие в автоматическом режиме обследовать линейные объекты нефтяной отрасли на наличие пламенного горения. Благодаря мобильным средствам мониторинга в виде беспилотных воздушных систем, в автоматическом режиме осуществляется сбор данных и анализ полученных видеоматериалов на наличие открытых источников горения на объектах транспортировки нефтепродуктов. Также авторами был разработан ряд программ, позволяющих определять розлив нефтепродуктов на акватории с борта беспилотного летательного аппарата.

Предупреждение деструктивных событий является неотъемлемой частью общей концепции безопасности страны. Основная задача предупреждения – максимально возможное уменьшение риска возникновения чрезвычайных ситуаций, а также сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба окружающей среде и материальных потерь в случае их возникновения.

Программный комплекс [99], разработанный ФГБУ ВНИИПО МЧС России, предназначен для подготовки и предупреждения населения, а также повышения методического обеспечения за счет распределения на группы по различным факторам.

Применение систем поддержки принятия решений также играет важную роль и в сфере акустико-эмиссионного мониторинга зданий и сооружений. Так, в 2014 году был разработан программный комплекс [56], основной целью которого является предупреждение и предотвращения катастрофического разрушения зданий различного назначения.

Применение систем поддержки принятия решений непосредственно в оперативном режиме, как при ликвидации ЧС, так и при тушении пожаров, играет важную роль в выборе правильных управленческих решений. На сегодняшний день существует колоссальное множество различных информационно-аналитических систем поддержки принятия решений в различных сферах деятельности.

Программное средство [19] представляет собой электронный справочник руководителя тушения пожара и предназначен для получения в интерактивном режиме различного рода необходимой информации на пожаре.

При возникновении пожаров поддержка принятия управленческих решений является неотъемлемой частью для должностных лиц, задействованных в тушении. Коллективом авторов была разработана программа для ЭВМ [65], позволяющая обнаружить пожар на стадии раннего развития при помощи систем видеонаблюдения и осуществить поддержку управления силами и средствами противопожарного назначения.

Распространение пожара внутри зданий также представляет собой сложную систему, зависящую от множества факторов. Авторами [86] была разработана программа, позволяющая в оперативном режиме привести оценку динамики пожара внутри здания по данным систем мониторинга температурных полей. Функционал программного средства позволяет определить необходимое количество личного состава для локализации пожара, а также имеется возможность определения времени ликвидации пожара внутри здания.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что системы поддержки принятия решений активно внедряются в обеспечение пожарной безопасности различных социально-экономических явлений. В свою очередь, основными

задачами создания информационных систем являются сбор информации, проведение аналитической обработки для получения вариантов принятия решений.

Результаты анализа организационной системы управления и возникающего в ней информационного кризиса, показали специфику мониторинга крупных пожаров, состоящую в циклическом характере наблюдения за динамикой оперативной обстановки на месте пожара, основанную на важности задач, решаемых на участках тушения крупного пожара. Поэтому для совершенствования системы мониторинга необходима:

1. Разработка циклической модели мониторинга крупного пожара для оценки необходимого количества средств мониторинга с целью обеспечения заданного качества его организации. Решение данной задачи включает в себя оценку этапов мониторинга, разработку показателя качества организации мониторинга, алгоритма его расчета и подготовке информационных ресурсов в матричной и номографической форме;

2. Разработка многокритериальной модели поддержки принятия решений по применению средств мониторинга. Решение данной задачи включает в себя формализацию понятия важность задач, решаемых на участках тушения крупного пожара путем формулирования утверждения об оценке важности и его доказательство с использованием теоретических положений многокритериальной оптимизации;

3. Алгоритмизация и программная реализация процедур поддержки принятия управленческих решений при мониторинге крупных пожаров. Процесс решения данной задачи включает в себя разработку алгоритма для поддержки принятия решений, создание модели численного эксперимента для оценки эксплуатационных характеристик практического применения алгоритма и создание программного комплекса для поддержки принятия решений, включающего программное средство и реляционную базу данных.

Выводы по главе 1

Результаты выполненного анализа определили направление для развития системы мониторинга крупных пожаров. Опыт математического описания состояний системы мониторинга в целом, определяет фиксированный набор параметров мониторинга и состояний организационной системы управления. В результате исследования получены следующие основные научные результаты:

1. Проведен анализ организационной системы управления, создаваемой на крупных пожарах. Введены категории организационной системы и определены количественные характеристики отнесения организационной системы к выбранной категории. Выявлены основные виды информационного кризиса, встречающиеся в организационных системах управления на месте пожара и показаны основные направления их разрешения.

2. 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 возникновение и развитие крупных пожаров. Показаны основные допущения и требования к моделям организационных процессов мониторинга крупных пожаров.

3. Проведен анализ информационных решений, направленных на совершенствование системы мониторинга крупных пожаров. Выявлена необходимость алгоритмизации и программной реализации теоретических моделей мониторинга крупных пожаров.

4. 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.

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ЦИКЛИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КРУПНЫХ ПОЖАРОВ

В главе рассмотрен вероятностный подход к оценке качества организации мониторинга крупных пожаров. Под показателем качества организации мониторинга крупного пожара понимается отношение времени, при котором осуществляется мониторинг с помощью привлекаемых средств мониторинга к общему планируемому времени мониторинга. Так как продолжительность тушения крупных пожаров позволяет осуществлять мониторинг циклами, то в работе введено понятие циклического мониторинга, при котором часть средств мониторинга находится в работе, а часть на восстановлении и в некоторых обоснованных случаях часть средств мониторинга находится в резерве. Для оценки качества организации циклического мониторинга на крупных пожарах разработаны аналитические зависимости. Представлена система процедур, позволяющая решить практические задачи по оценке требуемого количества мобильных средств для организации качественного, непрерывного мониторинга.

Научная новизна предлагаемых информационно-технических решений организации мониторинга крупных пожаров заключается в том, что проведено моделирование ситуаций, при которых возникает необходимость привлечения резервных средств мониторинга в их требуемом количестве. Тогда основная гипотеза исследования состоит в том, что обоснованное количество средств мониторинга в системе информационного обеспечения действий по тушению крупных пожаров позволит обеспечить необходимый уровень информационного обеспечения участников оперативного мониторинга и требуемый уровень функциональной надежности общей системы мониторинга. Для решения поставленных задач планирования и организации мониторинга крупных пожаров в работе использован научный метод аналогии с аналитическими зависимостями

оценки вероятности состояния сложных информационных систем при возможности их восстановления.

Результаты работы по разработке модели и алгоритма поддержки принятия решений по организации циклического мониторинга крупных пожаров были обсуждены и опубликованы в единоличной статье ВАК России [45] и совместной монографии [42].

2.1 Постановка и решение задачи расчета необходимого количества средств мониторинга крупных пожаров

В работе [36] авторами вводится следующее утверждение: «Модель циклического мониторинга основана на принципах непрерывного получения информации с места пожара. При планировании циклического мониторинга весь процесс сбора информации, необходимой для принятия решений, декомпозируют на циклы. При этом для каждого средства мониторинга формируется циклограмма, состоящая из этапов. *Циклограмма мониторинга* – диаграмма времени, реализации этапов применения средств мониторинга при организации задач сбора информации с места ЧС и этапов восстановления средств мониторинга, включая их техническое обслуживание». Схема мониторинга представляет собой набор правил организации мониторинга, выраженная конкретными значениями всех параметров циклического мониторинга или некоторой фиксированной их части.

Под циклическим мониторингом понимаем процесс, характеризующийся постоянным наличием на месте мониторинга хотя бы одного средства мониторинга. Устойчивость мониторинга достигается реализацией мер, обеспечивающих при возникновении непредвиденных ситуаций непрерывность мониторинга, что достигается наличием как минимум одного средства мониторинга в пункте восстановления.

В работе [36] предлагается следующая схема: «Пусть имеется продолжительность одного цикла мониторинга T (мин.), включающего следующие этапы: T_1 – продолжительность этапа следования средства мониторинга к месту ЧС

(мин.); T_2 – продолжительность мониторинга на месте ЧС (мин.); T_3 – продолжительность следования средства мониторинга к месту его восстановления (пункту организации мониторинга) (мин.); T_4 – продолжительность восстановления средства мониторинга (мин.)». Анализируемая схема мониторинга представлена на рисунке 2.1.

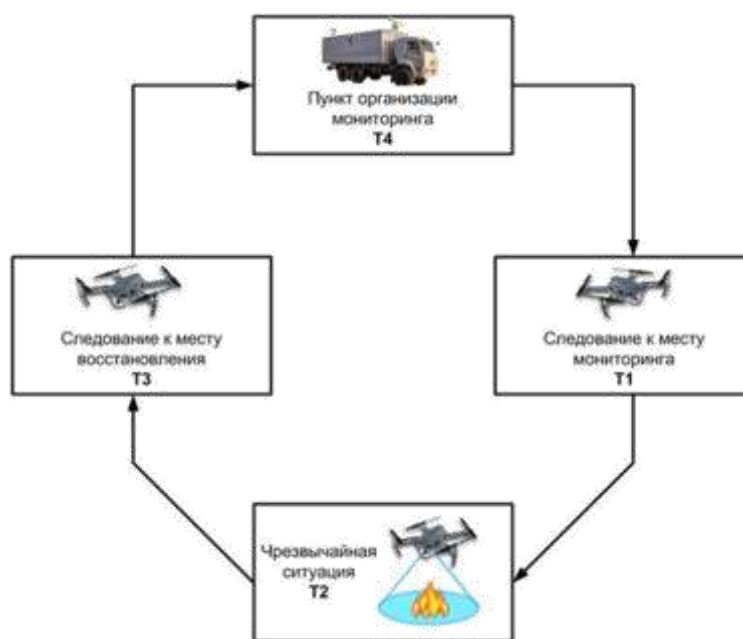


Рисунок 2.1 – Структурная схема циклического мониторинга [36]

Тогда если известны продолжительность цикла мониторинга T , и T_1 и T_3 – следование к месту мониторинга и обратно, определяемые на основе технических характеристик средств мониторинга (скорости движения и времени работы), необходимо определить продолжительности этапов мониторинга и восстановления средств мониторинга при заданном количестве средств мониторинга K , обеспечивающих непрерывный и устойчивый мониторинг.

Для обеспечения устойчивости циклического мониторинга должно быть принято решение о необходимости применения резервных средств мониторинга. Процедура принятия решения основана на оценке вероятности события, заключающегося в том, что на восстановлении нет ни одного средства мониторинга. Для этого представим кортеж параметров организации циклического мониторинга:

$$\langle T, T_p, T_b, \alpha, K, P_m, P_K \rangle, \quad (2.1)$$

где T – продолжительность одного цикла мониторинга, мин;

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

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

α – показатель занятости средств мониторинга;

m – число состояний системы мониторинга;

K – необходимое для циклического мониторинга количество средств мониторинга;

P_m – вероятность события состоящего в том, что система мониторинга находится в состоянии m ;

P_K – показателя качества организации мониторинга при использовании группы мониторинга, включающей в себя K средств.

Пусть время мониторинга, то есть время работы, является величиной T_p (мин.), тогда время восстановления средства мониторинга T_b (мин.), которое определяет наличие средств мониторинга в работе и при восстановлении. Рассмотрим вероятность присутствия средства мониторинга в работе, которая будет характеризовать показатель качества организации мониторинга крупного пожара. Для моделирования состояний мониторинга предлагается система уравнений, представляет собой следующую совокупность:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0(T)}{dT} = -\frac{1}{T_p} P_0(T) + \frac{1}{T_b} P_1(T) \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_k(T)}{dT} = -\frac{1}{T_p} P_k(T) - \frac{1}{T_b} P_k(T) + \frac{1}{T_p} P_{k-1}(T) + \frac{1}{T_b} P_{k+1}(T), \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_m(T)}{dT} = -\frac{1}{T_b} P_m(T) + \frac{1}{T_p} P_{m-1}(T) \end{array} \right. \quad (2.2)$$

где T_p – время, при котором средство мониторинга находится в работе;

T_b – время, при котором средство мониторинга на восстановлении;

k – количество средств мониторинга, находящихся в работе;

P_k – вероятность состояния системы, при котором k из m средств мониторинга находится в работе.

Допущениями модели является предположение: система мониторинга включает в себя одинаковые по характеристикам средства мониторинга, что позволяет предположить, что время работы в условиях непосредственного мониторинга и время восстановления имеют одинаковые значения для всех средств мониторинга, и, следовательно, ситуация обоснования предельных характеристик системы мониторинга сводится к определению предельных состояний системы уравнений Эрланга с восстановлением [46].

Решение системы уравнений (2.2) в ее предельном состоянии P_k , когда производные соответствующих вероятностей состояний системы мониторинга равны 0, т.е.

$$\frac{dP_k(T)}{dT} = 0, \quad (2.3)$$

целесообразно проводить с использованием безразмерного показателя α , представляющего собой отношение времени работы к времени восстановления $\alpha = \frac{T_p}{T_v}$, тогда аналитическое решение системы уравнений (2.2) удобно представить

в виде:

$$P_k = \frac{\Delta_k}{\Delta}, \quad \Delta_k = \alpha^{m-k}, \quad \Delta = \sum_{k=0}^m \Delta_k, \quad k=0,1,\dots,m, \quad (2.4)$$

где K – общее число средств мониторинга;

Δ_k – определитель матрицы, соответствующей поиску предельной вероятности для состояния k , характеризующегося нахождением в работе k из m средств мониторинга.

Допущение (2.3) требует оценки, так как фактически при его использовании в процессе решения системы уравнений (2.2) речь идет о том, что изменения вероятностей состояний системы во времени не происходит, и они находятся в своих предельных состояниях (таблица 2.1). Данное допущение принято из

соображений продолжительности мониторинга крупных пожаров существенно превышающей время работы и время восстановления средств мониторинга.

Таблица 2.1 – Предельные состояний системы мониторинга (СМ)

Количество состояний СМ	$m=1$	$m=2$	$m=3$
Определители матриц			
Δ_0	α	α^2	α^3
Δ_1	1	α	α^2
Δ_2	–	1	α
Δ_3	–	–	1
Δ	$1+\alpha$	$1+\alpha+\alpha^2$	$1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3$
Искомые вероятности состояний системы			
Состояние 0	$P_0 = \frac{\alpha}{1+\alpha}$	$P_0 = \frac{\alpha^2}{1+\alpha+\alpha^2}$	$P_0 = \frac{\alpha^3}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3}$
Состояние 1	$P_1 = \frac{1}{1+\alpha}$	$P_1 = \frac{\alpha}{1+\alpha+\alpha^2}$	$P_1 = \frac{\alpha^2}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3}$
Состояние 2		$P_2 = \frac{1}{1+\alpha+\alpha^2}$	$P_2 = \frac{\alpha}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3}$
Состояние 3			$P_3 = \frac{1}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3}$
Количество состояний СМ	$m=4$		$m=5$
Определители матриц			
Δ_0	α^4		α^5
Δ_1	α^3		α^4
Δ_2	α^2		α^3
Δ_3	α		α^2
Δ_4	1		α
Δ_5	–		1
Δ	$1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3+\alpha^4$		$1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3+\alpha^4+\alpha^5$
Искомые вероятности состояний системы			
Состояние 0	$P_0 = \frac{\alpha^4}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3+\alpha^4}$		$P_0 = \frac{\alpha^5}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3+\alpha^4+\alpha^5}$
Состояние 1	$P_1 = \frac{\alpha^3}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3+\alpha^4}$		$P_1 = \frac{\alpha^4}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3+\alpha^4+\alpha^5}$
Состояние 2	$P_2 = \frac{\alpha^2}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3+\alpha^4}$		$P_2 = \frac{\alpha^3}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3+\alpha^4+\alpha^5}$
Состояние 3	$P_3 = \frac{\alpha}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3+\alpha^4}$		$P_3 = \frac{\alpha^2}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3+\alpha^4+\alpha^5}$
Состояние 4	$P_4 = \frac{1}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3+\alpha^4}$		$P_4 = \frac{\alpha}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3+\alpha^4+\alpha^5}$
Состояние 5	–		$P_5 = \frac{1}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3+\alpha^4+\alpha^5}$

Показатель качества организации мониторинга $Q_K = 1 - \frac{1}{P_m}$, где $m=K-1$

Оценим допущение (2.3) состоящее в том, что т.е. $\frac{dP_k(T)}{dT} = 0$, тогда система уравнений (2.2) может быть решена с применением численных процедур, например, методом Эйлера. Для этого ее целесообразно записать в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{1}{\beta} \right) \frac{dP_0(T)}{dT} = -P_0(T) + \alpha P_1(T) \\ \dots\dots\dots \\ \left(\frac{1}{\beta} \right) \frac{dP_k(T)}{dT} = -P_k(T) - \alpha P_k(T) + P_{k-1}(T) + \alpha P_{k+1}(T) \\ \dots\dots\dots \\ \left(\frac{1}{\beta} \right) \frac{dP_m(T)}{dT} = -\alpha P_m(T) + P_{m-1}(T) \end{array} \right. , \quad (2.5)$$

где

$$\beta = \frac{1}{T_p} \text{ и } \alpha = \frac{T_p}{T_B}.$$

Проведем сравнение стационарного решения системы уравнений (2.5) с нестационарным решением, полученным с использованием метода Эйлера. Пусть $T_p=20$ (мин.); $T_B=10$ (мин.); $\alpha=T_p/T_B \rightarrow \alpha=2$; $\beta=1/T_p \rightarrow \beta=0,05$ и начальным условиям при $T=0 \rightarrow P_0(T)=1$; $P_1(T)=0$; $P_2(T)=0$. Шаг численного метода $i=\Delta T = 10$ (мин.). Решение системы уравнений (2.4) представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты решения системы уравнений методом Эйлера

T	P ₀ (T)	P ₁ (T)	P ₂ (T)	ΔP ₀	ΔP ₁	ΔP ₂
0	1,000	0,000	0,000	0,429	0,286	0,143
10	0,727	0,223	0,051	0,155	0,063	0,092
20	0,637	0,264	0,098	0,066	0,021	0,045
30	0,601	0,277	0,122	0,029	0,009	0,021
40	0,585	0,282	0,134	0,013	0,004	0,009
50	0,577	0,284	0,139	0,006	0,002	0,004
60	0,574	0,285	0,141	0,003	0,001	0,002
70	0,573	0,285	0,142	0,001	0,000	0,001
80	0,572	0,286	0,142	0,001	0,000	0,000
90	0,572	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000
100	0,572	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000
110	0,571	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000
120	0,571	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000

продолжение таблицы 2.2

T	P ₀ (T)	P ₁ (T)	P ₂ (T)	ΔP ₀	ΔP ₁	ΔP ₂
130	0,571	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000
140	0,571	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000
150	0,571	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000
160	0,571	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000
170	0,571	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000
180	0,571	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000

Стационарное решение определим по формулам из таблицы 2.1 для m=2:

$$\begin{aligned}
 & \text{– для состояния } k=0: P_0 = \frac{\alpha^2}{\alpha^2 + \alpha + 1} = \frac{2^2}{2^2 + 2 + 1} = 0,571; \\
 & \text{– для состояния } k=1: P_1 = \frac{\alpha}{\alpha^2 + \alpha + 1} = \frac{2}{2^2 + 2 + 1} = 0,286; \\
 & \text{– для состояния } k=2: P_2 = \frac{1}{\alpha^2 + \alpha + 1} = \frac{1}{2^2 + 2 + 1} = 0,143.
 \end{aligned}$$

Результаты сопоставления стационарного и нестационарного решения системы уравнений представлены на рисунках 2.2. и 2.3.

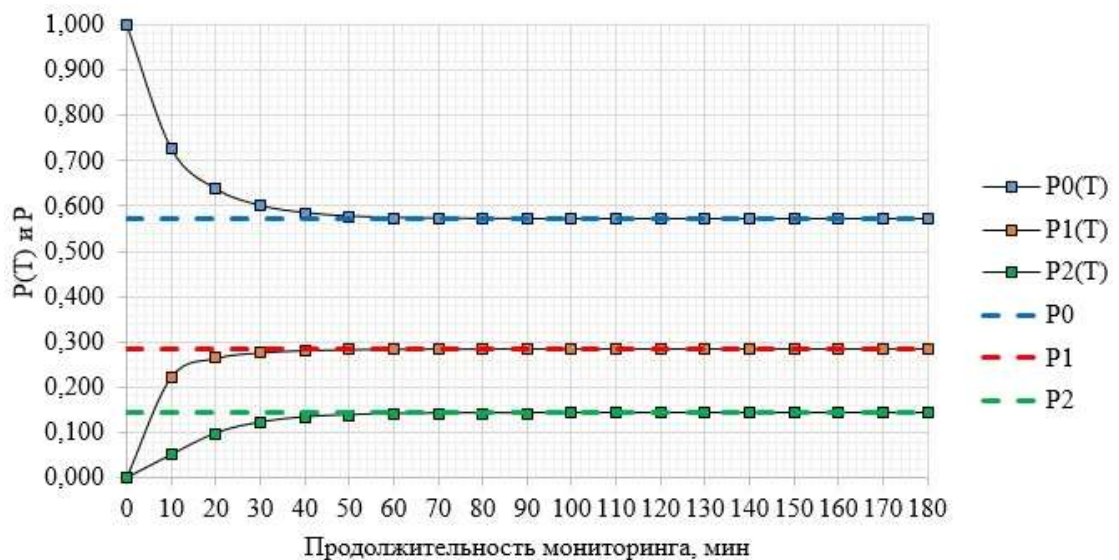


Рисунок 2.2 – Анализ стационарного и нестационарного решения системы



Рисунок 2.3 – Расхождение стационарного и нестационарного решения

Анализируя результаты решения системы уравнений, можно сделать вывод, что отличие стационарного и нестационарного решений наблюдается при реализации первого цикла мониторинга. Однако на 50-й минуте мониторинга отличие стационарного и нестационарного решения несущественно. Поэтому в дальнейшем решение практических задач организации мониторинга целесообразно проводить с использованием упрощенных формул, полученных при решении системы уравнений (2.2).

2.2 Разработка алгоритма принятия решений по организации мониторинга крупных пожаров

Алгоритм принятия решений о привлечении необходимого количества мобильных средств мониторинга при заданном показателе качества организации.

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

$$T_p \geq T_v, \quad (2.6)$$

- условие достижения минимального качества организации мониторинга:

$$0,80 \leq Q < 1,00. \quad (2.7)$$

Условие (2.6) может быть выражено через значения показателя занятости средств мониторинга, который определяется по формуле:

$$\alpha = T_p / T_v \quad (2.8)$$

где T_p – время работы мобильного средства мониторинга, мин;

T_v – время восстановления мобильного средства мониторинга после работы, мин.

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

$$\alpha \geq 1 \quad (2.9)$$

Этап 3. Расчет количества основных мобильных средств мониторинга. На данном этапе алгоритма в частном случае двух этапов (1 – этап работы; 2 – этап восстановления) для расчета основных МСМ используется формула:

$$N = 2 + [\alpha^{-1}], \quad (2.10)$$

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

Тогда исходя из условия работоспособности выбранной схемы мониторинга (2.9), выраженного через область допустимых значений показателя занятости средств мониторинга можно предложить две основные схемы проведения мониторинга:

- схема, предусматривающая использование трех средств:

$$\alpha = 1 \rightarrow N=3; \quad (2.11)$$

- схема мониторинга, предусматривающая использование двух средств:

$$\alpha > 1 \rightarrow N=2. \quad (2.12)$$

Этап 4. Расчет общего количества мобильных средств мониторинга. На данном этапе общее количество мобильных средств мониторинга (K) определяется на основе сравнения фактического и требуемого показателя качества организации мониторинга крупного пожара.

Для этого осуществляется вычислительный цикл:

- вычисляем фактическое значение показателя качества организации мониторинга:

$$Q_K = 1 - \frac{1}{P_m}, m=K - 1, \quad (2.13)$$

где K – общее количество занятых средств мониторинга.

- сравнение фактического значения показателя качества с требуемым:

если $Q_K \geq Q$, то K средств мониторинга достаточно для качественного его проведения, в противном случае принимаем $K+1$ и выполняем расчет по формуле (2.13) заново до тех пор, пока не будет выполнено условие $Q_K \geq Q$.

В некоторых практических случаях, когда группировка средств мониторинга ограничена, расчет фактического значения показателя качества проводится для всех вариаций K , в таком случае по требуемому значению показателя качества мониторинга выбирают удовлетворяющее значение K . Фактические значения показателя при фиксированных значениях α и количестве средств мониторинга от 2 до 6 представлены в табл. 2.3.

Таблица 2.3 – Значения показателя качества организации мониторинга

$K \backslash \alpha$	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 (2.7)

Этап 5. Расчет резервного количества мобильных средств мониторинга. На данном этапе алгоритма определяют сколько мобильных средств мониторинга будет находиться в резерве:

$$R = K - N, \quad (2.14)$$

где N – количество основных мобильных средств мониторинга;

K – общее количество средств мониторинга в группе;

R – количество резервных средств мониторинга.

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

Блок - схема алгоритма организации мониторинга с учетом резерва представлена на рисунке 2.4.

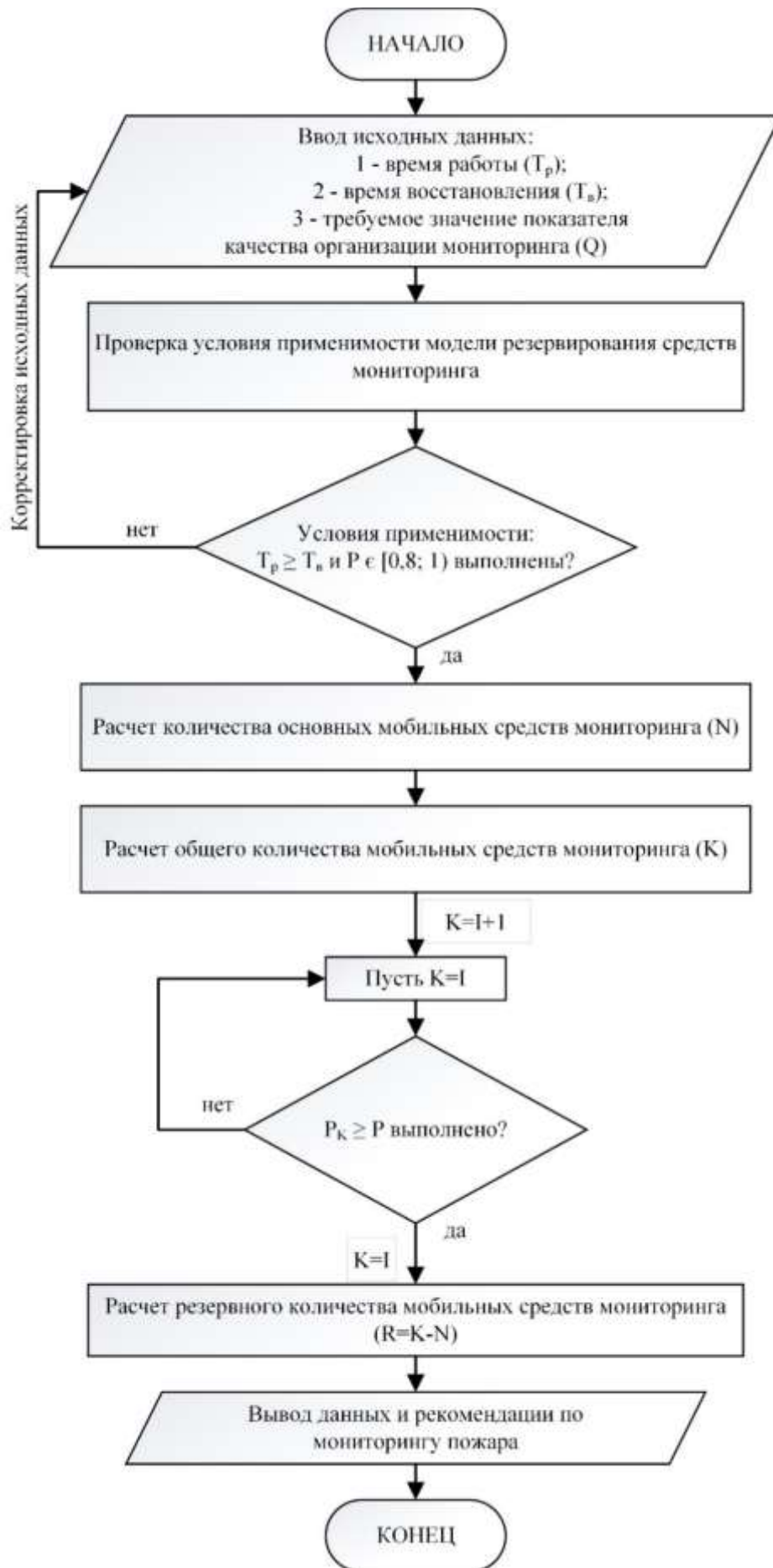


Рисунок 2.4 – Блок - схема алгоритма организации мониторинга крупного пожара

С использованием разработанного алгоритма определен численный состав малых групп мониторинга крупных пожаров в городах и городских агломерациях. Малые группы мониторинга развернуты на базе специализированных пожарных частей и высылаются для организации мониторинга пожара по плану привлечения сил и средств пожарной охраны.

Исходные данные. Лексические переменные показателя качества организации мониторинга: очень низкое качество – $Q=0,8$; низкое качество – $Q=0,85$; среднее качество мониторинга – $Q=0,90$; высокое качество – $Q=0,95$; очень высокое качество мониторинга $Q=0,99$. Значение параметра $\alpha=1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5$. Стоит отметить, что если $\alpha=1$, то это соответствует ситуации, когда время работы равно времени восстановления, а $\alpha=2 \rightarrow$ время работы в два раза превышает время восстановления и т.п.

С учетом условия (2.6) возможно два способа организации мобильного мониторинга:

1 способ – в две смены:

$$T_p > T_g \rightarrow \alpha > 1 \rightarrow N = 2 \quad (2.15)$$

2 способ – в три смены:

$$T_p = T_g \rightarrow \alpha = 1 \rightarrow N = 3 \quad (2.16)$$

При решении практических задач операторы группы мониторинга, как правило, выбирают первый способ реализации мониторинга в две смены, то есть одно мобильное средство мониторинга находится на восстановлении, другое осуществляет мониторинг. Покажем применение модели резервирования средств мониторинга для двухсменного способа его организации.

Следовательно, принимаем $N=2$ и определяем искомые фактические значения показателя качества организации мониторинга при условии, что общая группировка не превышает шести средств, то есть $K \leq 6$. В этом случае вычислим фактические значения показателя качества организации мониторинга и представим их в виде диаграммы на рисунке 2.5.

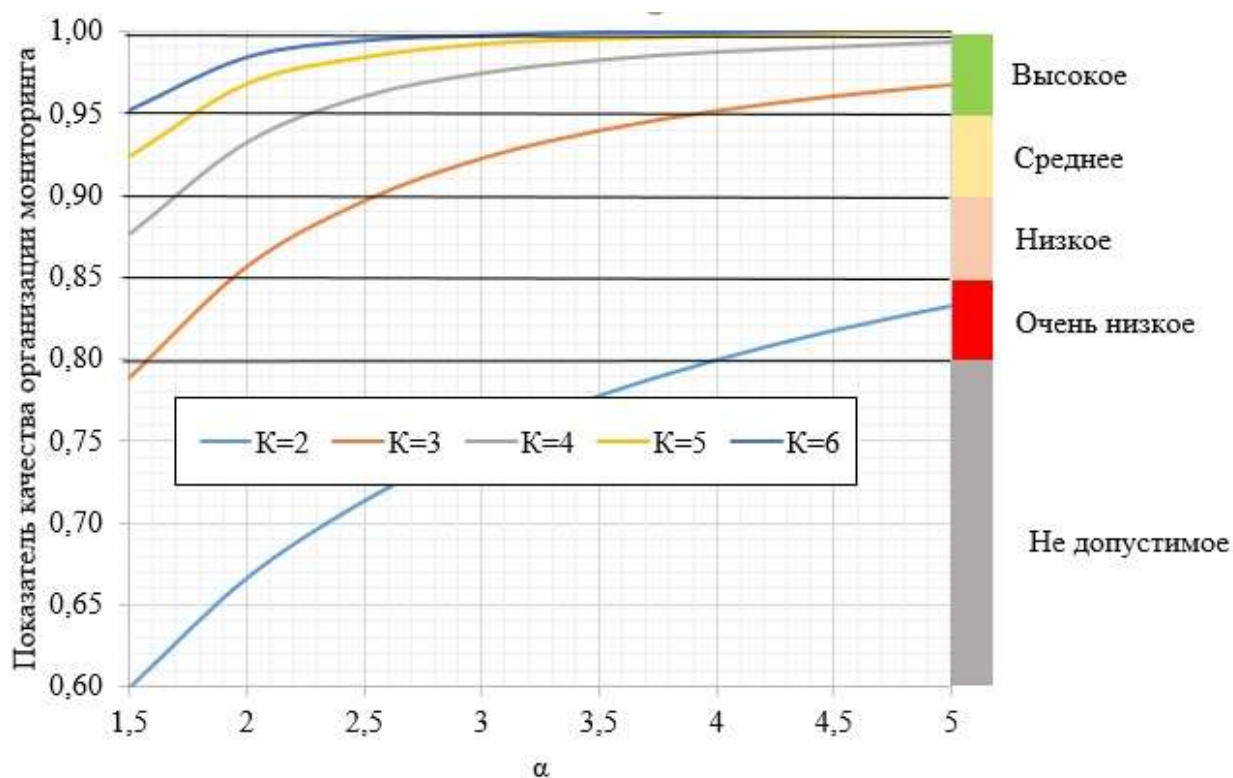


Рисунок 2.5 – Диаграмма для определения фактического значения показателя качества организации мониторинга

С использованием диаграммы, представленной на рисунке 2.3. или с использованием таблицы 2.1, построим таблицу 2.4 с количественным составом групп мониторинга удовлетворяющим заданному показателю качества при условии, что $N=2$, а $R=K-2$.

Таблица 2.4 – Количественный состав групп мониторинга крупного пожара

Качество организации мониторинга	Очень низкая			Низкая			Средняя			Высокая			Очень высокая		
	P=0,80			P=0,85			P=0,90			P=0,95			P=0,99		
α	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)

Покажем способ расчета количественного состава групп мониторинга, указанных в таблице 2.3. на примере значения (N=2; R=1; K=3) при $\alpha=4$ и $Q=0,85$. Так в таблице 2.3 при $\alpha=4$ и K=2 выбираем значение $Q_2=0,800$, которое было определено по формуле:

$$Q_2 = 1 - \frac{1}{1 + \sum_{i=2}^2 (\alpha_i)^{i-1}} = 1 - \frac{1}{1 + \alpha} = 1 - \frac{1}{1 + 4} = 0,800.$$

Так как $Q_2 < Q$, то $K=2+1=3$, тогда из таблицы 2.3. выбираем $Q_3=0,952$, которое так же можно рассчитать по формуле:

$$Q_3 = 1 - \frac{1}{1 + \sum_{i=2}^3 (\alpha_i)^{i-1}} = 1 - \frac{1}{1 + \alpha + \alpha^2} = 1 - \frac{1}{1 + 4 + 16} = 0,952.$$

Так как $Q_3 > Q$, то $K=3 \rightarrow N=2$, следовательно $R = 3 - 2 = 1$.

Остальные данные в таблице 2.4. получены аналогичным способом. С использованием полученной методики на практике решаются две основные задачи: прямая задача организации мониторинга позволяет ответить, какой уровень качества мониторинга следует ожидать от применения группы мониторинга в количественном составе N, R, K; обратная задача позволяет ответить на вопрос, какой состав группы мониторинга необходимо иметь, чтобы, получить необходимое качество его организации.

Например, в случае если у оперативной группы мониторинга имеется три мобильных средства, то для того чтобы обеспечить высокое качество мониторинга, им необходимо организовать его таким образом, чтобы время работы было в четыре раза больше времени восстановления, то есть если используемое средство

мониторинга восстанавливается в течение 10 минут, то время работы должно составлять 40 минут. В свою очередь, обратная задача организации мониторинга позволяет утверждать, что, если время восстановления средства мониторинга 20 минут, а требуемое время работы 40 минут, то с использованием одного резервного средства можно добиться лишь низкого качества организации мониторинга ($Q=0,85$).

В таблице 2.4 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. Такая ситуация может быть использована при мониторинге на решающем направлении ведения действий по тушению пожара в случае его проведения по участкам ведения действий в отдельности. Так же состояние S_3 рекомендуется применять в системах мониторинга безопасности участников тушения пожара. Состояния S_5 и S_6 являются избыточными и представлены в таблице 2.4 для иллюстрации ситуаций, когда необходимо добиться сверхвысоких значений показателя качества организации мониторинга и количественной оценки «ценности» сверхкачественного 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 увеличении числа сотрудников оперативной группы мониторинга.

2.3 Анализ и сопоставление результатов моделирования

Анализ результатов моделирования выполним путем сравнения результатов с общеизвестной моделью принятия решений о привлечении резервных средств мониторинга основанной на предположении, состоящем в том, что время работы

средства мониторинга является нормально распределённой случайной величиной (далее А – модель: альтернативная модель).

При выборе альтернативной модели резервирования средств мониторинга исходили из того, что плотность нормальной случайной величины имеет экспоненциальный вид:

$$f(T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(T_p - T_e)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2.17)$$

где T_p – время работы средства мониторинга (среднее время работы средства мониторинга), мин; σ – стандартное отклонение времени работы средства мониторинга, мин; T_e – время восстановления средства мониторинга, мин.

Тогда показатель качества организации мониторинга крупного пожара удобно представить с использованием табулированной функции ошибок по формуле:

$$Q = 1 - \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf}\left(-\frac{T_p - T_e}{\sigma\sqrt{2}}\right) \right], \quad (2.18)$$

где $\operatorname{erf}(Z)$ – функция ошибок, в которой в качестве аргумента используется величина Z .

Для расчета данного показателя по А-модели организации мониторинга необходимо иметь представление о значении стандартного отклонения времени работы, которое может быть накоплено только после достаточно продолжительного использования модели на практике. Здесь с целью сравнения двух моделей К-модели и А-модели примем оценку сверху для стандартного отклонения в 35% от среднего значения. Зададимся временем восстановления $T_e = 10$ минут и значениями $\alpha = 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5$, которым будут

соответствовать средние значения времени работы $T_p=15;20;25;30;35;40;45;50$ минут соответственно.

Тогда плотность распределения времени работы представим на рисунке 2.6.

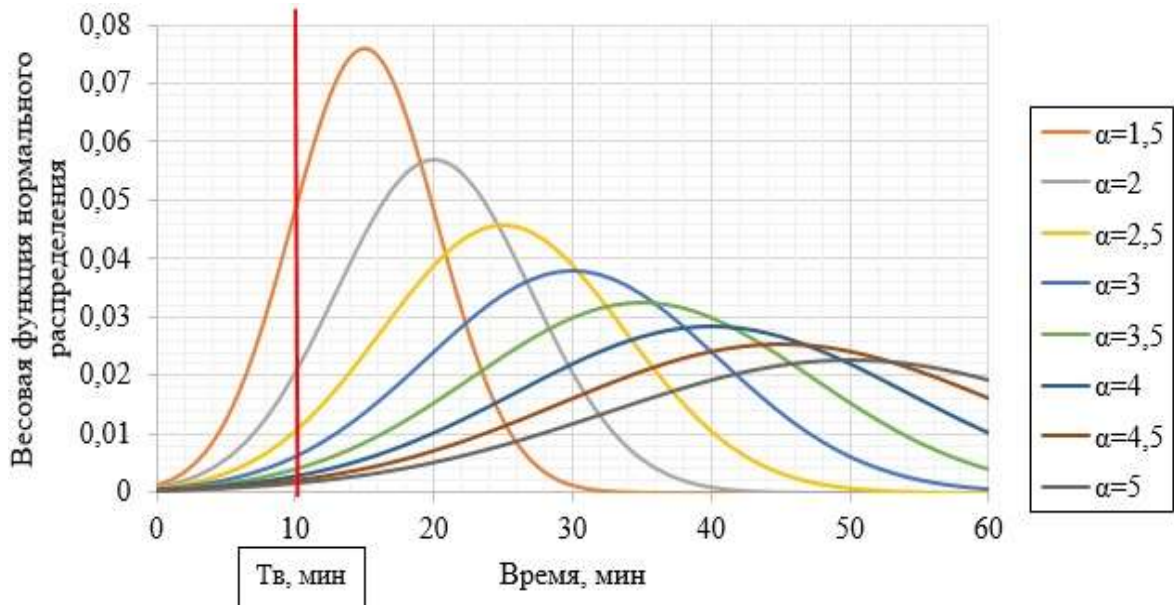


Рисунок 2.6 – Весовая функция распределения А-Модель

Фактические значения показателя качества организации мониторинга крупных пожаров, рассчитанные по формуле (2.13) для заданных значений параметра α , представим на рисунке 2.7.

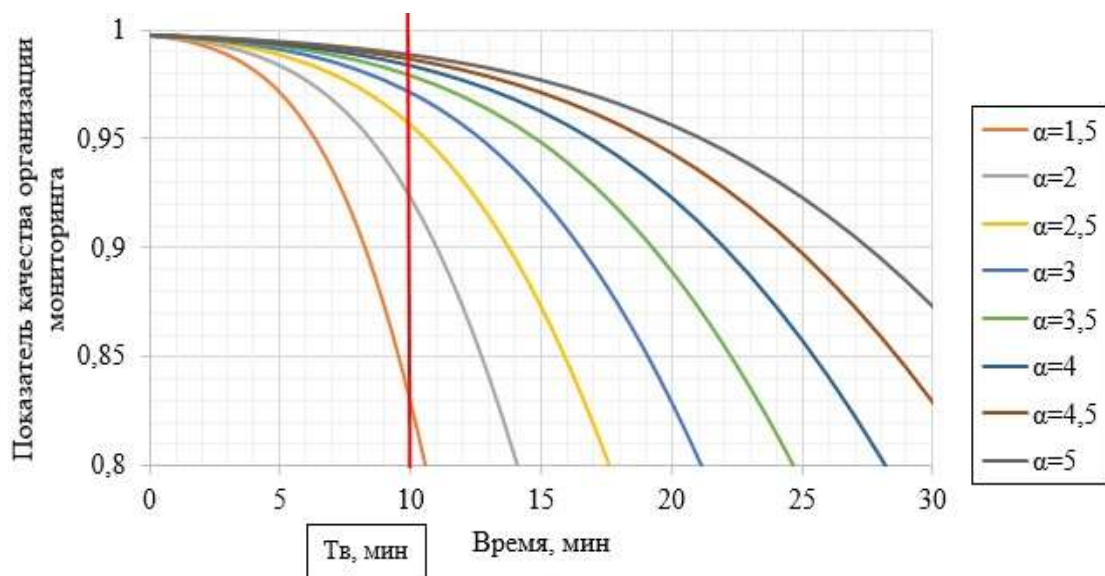


Рисунок 2.7 – Фактические значение показателя качества организации мониторинга (А-Модель)

На рисунке 2.7 фактические значения показателя качества организации мониторинга с использованием А-Модели – это координаты точек пересечения линии (T_b) с соответствующими кривыми α . Например ($\alpha=1,5$), для значения:

$$\alpha=1,5 \rightarrow Q=0,83.$$

В свою очередь наиболее близким результатом моделирования показателя качества организации мониторинга с использованием К-Модели является Q_4 по данным таблицы 2.3. Поэтому сведем результаты моделирования по двум моделям (А-Модель и К-Модель) в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 – Данные для сравнения результатов моделирования

№	Параметры мониторинга			α	А-Модель	К-Модель
	Тр	σ	Тв		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

Представим сопоставление результатов моделирования по двум моделям оценки показателя качества организации мониторинга на рисунке 2.8.

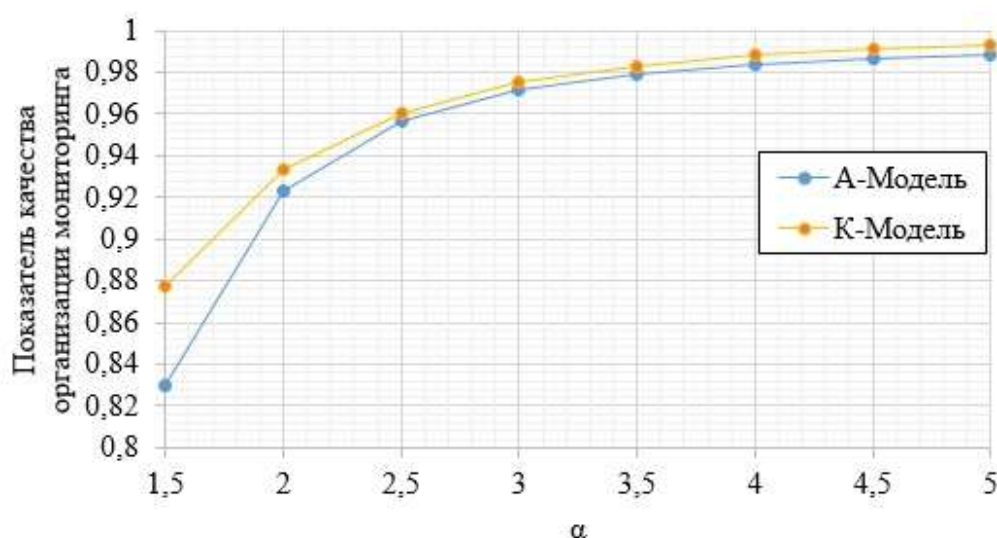


Рисунок 2.8 – Сопоставление результатов моделирования по основной (К-Модель) и альтернативной (А-Модель) моделям

Для количественной оценки сходимости результатов моделирования, полученных с использованием разработанной и альтернативной моделей, воспользуемся коэффициентом детерминации (R). В свою очередь, интерпретация полученных результатов осуществим с использованием шкалы Чеддока (таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Шкала корреляции Чеддока

R ²	[0,1; 0,3)	[0,3; 0,5)	[0,5; 0,7)	[0,7; 0,9)	[0,9; 1,0)
Интерпретация	Слабая	Умеренная	Заметная	Высокая	Оч. Высокая

Пусть А – результат моделирования по альтернативной модели (А-Модель), тогда К – результат моделирования, полученный с использованием разработанной модели (К-Модель), тогда коэффициент детерминации рассчитывается по формуле

$$R_{AK} = \frac{\bar{C} - \bar{A} \cdot \bar{K}}{\sigma(A) \cdot \sigma(K)}, \quad (2.19)$$

где \bar{A} и \bar{K} – средние значения величин К и А соответственно; \bar{C} – среднее значение от произведения величин А и К; $\sigma(A)$ и $\sigma(K)$ – стандартные отклонения величин А и К соответственно.

Средние значения и стандартные отклонения определяются по формулам:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i, \quad \bar{B} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i \quad \text{и} \quad \bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i \cdot B_i \quad (2.20)$$

$$\sigma(A) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i^2 - (\bar{A})^2} \quad \text{и} \quad \sigma(B) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i^2 - (\bar{B})^2}, \quad (2.21)$$

где n – число сравниваемых значений результатов моделирования.

Произведем предварительные вычисления и представим результаты сравнения по моделям в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Результаты сопоставления моделей

№	A	K	A*K	A ²	K ²
1	0,830	0,877	0,728	0,689	0,769
2	0,923	0,933	0,861	0,852	0,870
3	0,957	0,961	0,920	0,916	0,924
4	0,972	0,975	0,948	0,945	0,951
5	0,979	0,983	0,962	0,958	0,966
6	0,984	0,988	0,972	0,968	0,976
7	0,987	0,991	0,978	0,974	0,982
8	0,989	0,994	0,983	0,978	0,988
Суммы	7,621	7,702	7,352	7,280	7,426

Оценим средние значения и стандартные отклонения сравниваемых величин по формулам:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i = \frac{1}{8} \cdot 7,621 = 0,95,$$

$$\bar{B} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i = \frac{1}{8} \cdot 7,702 = 0,96,$$

$$\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i \cdot B_i = \frac{1}{8} \cdot 7,352 = 0,92,$$

$$\sigma(A) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i^2 - (\bar{A})^2} = \sqrt{\frac{1}{8} \cdot 7,28 - (0,95)^2} = 0,050,$$

$$\sigma(B) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i^2 - (\bar{B})^2} = \sqrt{\frac{1}{8} \cdot 7,426 - (0,96)^2} = 0,037.$$

Определим коэффициент детерминации

$$R_{AK} = \frac{\bar{C} - \bar{A} \cdot \bar{B}}{\sigma(A) \cdot \sigma(B)} = \frac{0,92 - 0,95 \cdot 0,96}{0,050 \cdot 0,037} = 0,99.$$

Интерпретируем полученный результат, используя шкалу Чеддока. Результаты моделирования показывают высокую сходимость, так как коэффициент детерминации Пирсона для рассматриваемого случая составляет величину равную 0,99. Этот факт позволяет сделать вывод, что разработанная модель оценки показателя качества организации мониторинга соответствует известной модели, основанной на предположении, состоящем в том, что время работы представляет собой нормально распределённую случайную величину.

Однако, разработанная модель и предложенный алгоритм принятия решений о привлечении резервных средств мобильного мониторинга крупного пожара обладает рядом преимуществ по сравнению с известной моделью:

1 – К-Модель в сравнении с А-Моделью может быть реализована без учета дополнительной информации о значениях стандартного отклонения времени работы средств мониторинга;

2 – К-Модель и разработанный алгоритм позволяют определить не только необходимость применения резервных средств мониторинга, но и их количественный состав, что, в свою очередь, определяет возможность использования К-Модели при решении прямой и обратной задачи организации мониторинга.

Таким образом, результаты моделирования показали, что разработанная модель и алгоритм являются теоретическим обобщением вероятностных методов оценки организации мониторинга крупных пожаров и удовлетворяют специфике реализации мониторинга, состоящей в том, что абсолютно непрерывное наблюдение за параметрами, характеризующими обстановку на пожаре одним средством мониторинга, невозможно на практике достаточно обеспечить реализацию циклического мониторинга, где одно средство мониторинга сменяет другое, и в зависимости от важности задач тушения пожара определяется необходимость привлечения резервных средств. В свою очередь оценка важности задач тушения пожара предусматривает рассмотрение каждого участка ведения действий по тушению пожаров как отдельной задачи мониторинга.

Выводы по главе 2

Таким образом, в данной главе получены следующие основные научные и практические результаты:

1. Разработана аналитическая модель для оценки необходимого количества средств мониторинга, обеспечивающих непрерывный мониторинг показателей, характеризующих обстановку при тушении крупных пожаров. При разработке модели использовалась вероятностная постановка задачи мониторинга и допущение, состоящее в том, что изменением значений вероятностных характеристик во времени мониторинга можно пренебречь, то есть при планировании мониторинга необходимо рассматривать стационарный режим работы системы мониторинга в целом. Данное допущение оценено путем сравнения полученных результатов с результатами моделирования в нестационарном режиме, показано, что после 40-а минут работы система мониторинга функционирует в стационарном режиме.

2. Разработан количественный показатель качества организации мониторинга крупных пожаров. Показатель представляет собой отношение времени, при котором осуществляется мониторинг с помощью привлекаемых средств мониторинга к общему планируемому времени мониторинга крупного пожара. Дана интерпретация количественных значений показателя качества по пяти группам: очень низкое качество – $Q=0,8$; низкое качество – $Q=0,85$; среднее качество мониторинга – $Q=0,90$; высокое качество – $Q=0,95$; очень высокое качество мониторинга $Q=0,99$.

3. Предложен алгоритм принятия решений по определению необходимого количества средств мониторинга с учетом резервных средств, обеспечивающих необходимое качество организации мониторинга. Для практического применения алгоритма предложена номограмма для расчета значений показателя качества организации мониторинга и разработана таблица с конкретными количественными характеристиками групп мониторинга в зависимости от качества его организации и значений показателя занятости средств мониторинга при его осуществлении.

4. Выполнено сравнение результатов моделирования с помощью разработанных модели и алгоритма с результатами моделирования использующих в качестве теоретической основы функцию ошибок. Результаты сравнения на количественном уровне выполнены с помощью коэффициента детерминации, который показал высокую сходимость анализируемых данных. На вербальном уровне показано основное преимущество разработанной модели, состоящее в возможности определить не только необходимости привлечения резерва, но и количественный состав группы мониторинга при решении прямой и обратной задачи его качественной организации.

5. Даны рекомендации по решению прямой и обратной задачи организации мониторинга для его качественной реализации, для чего относительно привлекаемого резерва средств мониторинга введены рекомендуемые, допустимые и избыточные состояния системы мониторинга. Даны рекомендации по функционированию системы мониторинга в данных состояниях в зависимости от важности задач, решаемых на участках тушения пожара. Специфика применения состояний системы мониторинга при решении практических задач и общее применение результатов моделирования качества организации мониторинга являются побудительным мотивом к разработке модели и алгоритма, необходимых для оценки важности задач, решаемых на участках тушения пожара.

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА НА КРУПНЫХ ПОЖАРАХ

В данной главе рассматривается решение третьей задачи исследования, состоящей в разработке модели и алгоритма поддержки принятия решений по использованию мобильных средств при мониторинге крупных пожаров. Отличительной особенностью предлагаемых модели и алгоритма является учет важности элементов организационной структуры системы управления, создаваемой на крупном техногенном пожаре. Элементами данной структуры являются участки и сектора тушения пожара, на которых проводится работа силами и средствами пожарных подразделений. Для обоснования эксплуатационных характеристик информационной системы, использующей создаваемые модель и алгоритм, необходима разработка модели численного эксперимента в рамках реализации метода теоретико-опытного исследования сложных информационных систем, а также методика обработки и анализа результатов экспериментального исследования.

Результаты работы по разработке модели и алгоритма поддержки принятия решений по применению мобильных средств мониторинга на крупных пожарах были обсуждены и опубликованы в совместной статье ВАК России [32].

3.1 Модель для поддержки принятия решений

Для разработки модели и алгоритма поддержки принятия решений по эффективному использованию мобильных средств мониторинга для информационного обеспечения действий по тушению крупного пожара воспользуемся многокритериальной моделью, которая в работе [95] была применена для формализованного представления принципов определения решающего направления ведения действий по тушению пожаров. Принципы

решающего направления были формализованы через важность задач, решаемых на участках тушения пожара. Применение многокритериальной модели позволит учесть важность задач, решаемых на участках (секторах) тушения крупного пожара в процессе выбора способов применения мобильных средств мониторинга.

Многокритериальная модель выбора вариантов управленческих решений на основе их векторных оценок включает основные и дополнительные (порожденные) множества. Основные множества – это:

– множество управленческих решений по применению мобильных средств мониторинга:

$$X_n = \{x_1, \dots, x_s, \dots, x_n\}, \quad s = 1, 2, \dots, n, \quad n \geq 2; \quad (3.1)$$

– множество компонент векторного критерия:

$$F_m = \{f_1, \dots, f_k, \dots, f_m\}, \quad s = 1, 2, \dots, m, \quad m \geq 2. \quad (3.2)$$

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

Дополнительное (вспомогательное) множество получают путем порождения основных множеств, и это множество векторных оценок вариантов управленческих решений, полученное путем объединения множеств X_n и F_m :

$$F_m(X_n) = f_1(X_n) \times f_2(X_n) \times \dots \times f_m(X_n), \quad (3.3)$$

где $f_1(X_n)$ – множество всех оценок вариантов управленческих решений по использованию мобильных средств мониторинга на участке тушения пожара с номером 1, то есть $f_1(X_n) = \{f_1(x_1), f_1(x_2), \dots, f_1(x_n)\}$, тогда $F_m(x_s) = \{f_1(x_s), f_2(x_s), \dots, f_m(x_s)\}$ – векторная оценка варианта управленческого решения с номером s из множества $F_m(X_n)$, а $f_k(x_s)$ оценка варианта управленческого решения с номером s на участке тушения пожара с номером k .

Лицу, принимающему решение (ЛПР), предлагается выбрать наиболее предпочтительный вариант управленческого решения на основе анализа его векторных оценок. Для решения данной задачи в практике многокритериального выбора требуется дополнительная информация о предпочтениях лица,

принимающего решения, выраженная важностью компонент векторного критерия, в нашем случае важностью задач пожаротушения, решаемых на участках (секторах) тушения крупного пожара, и дополнительных правил выбора. Совокупностью основных множеств многокритериальной модели, дополнительной информации о предпочтениях лица, принимающего решения, и правил выбора вариантов управленческих решений образуют многокритериальные модели поддержки принятия решения.

3.2 Анализ показателей принятия решений

В соответствии с [68] введем понятия следующих теоретических моделей поддержки принятия решений:

- модель ранжирования вариантов управленческих решений A ;
- модель теоретико-множественного анализа управленческих решений B .

Представим данные модели следующим кортежем:

$$A = \langle X_n, F_m, R, \omega_m \rangle \quad (3.4)$$

$$B = \langle X_n, F_m, N, \Theta_m \rangle, \quad (3.5)$$

где X_n – множество, состоящее из n -вариантов управленческих решений;
 F_m – векторный критерий, состоящий из m частных компонент, каждая из которых оценивает тактический потенциал пожарных подразделений, работающих на соответствующем участке тушения пожара;
 R – функция (правило) ранжирования вариантов управленческих решений;
 ω_m – показатели важности компонент векторного критерия F_m ;
 N – правило теоретико-множественного анализа вариантов управленческих решений;
 Θ_m – коэффициенты относительной важности компонент векторного критерия;
 $n \times m$ – размерность модели поддержки принятия решений.

Рассмотрим модель B , которая используется для теоретико-множественного анализа векторных оценок вариантов, заключающегося в последовательном включении множеств парето-оптимальных векторных оценок вариантов управленческих решений, а именно:

$$C(X) \subset P_g(X) \subset P_f(X) \subset X, \quad (3.6)$$

где X – исходное множество векторных оценок вариантов управленческих решений; $P_f(X)$ – множество парето-оптимальных векторных оценок вариантов управленческих решений относительно исходного векторного критерия $F_m = \{f_1; f_2; \dots; f_m\}$; $P_g(X)$ – множество парето-оптимальных векторных оценок вариантов управленческих решений относительно векторного критерия $G_m = \{g_1; g_2; \dots; g_m\}$, учитывающего предпочтения лица, принимающего решения.

В модели B лицу, принимающему решения, рекомендуется производить окончательный выбор из множества $C(X)$.

Модификация векторного критерия F в новый векторный критерий G проводится по формулам, разработанным д.ф.м.н. Ногиным В.Д., которые для рассматриваемого случая одной компоненты векторного критерия с номером i новая компонента $g_i = f_i$ для всех остальных компонент векторного критерия, то есть компонент с номерами j , новые компоненты векторного критерия рассчитываются по формулам:

$$g_j = \Theta_j f_j + \Theta_i f_i, \quad (3.7)$$

где $\Theta_i = 1$; $\Theta_j < 1$ коэффициенты относительной важности, количественно выражающие предпочтения лица, принимающего решения.

С другой стороны, модель A предусматривает наличие функции Φ , которая определяется по формуле:

$$\Phi = \sum_{k=1}^m \omega_k f_k, \quad (3.8)$$

где ω_k – коэффициент важности компоненты векторного критерия F с номером k , совокупность $\omega_1, \dots, \omega_k, \dots, \omega_m$ определяет предпочтения лица, принимающего решения, при этом $\sum_{k=1}^m \omega_k = 1$.

В этом случае правило выбора модели A предлагает лицу, принимающему решения, выбрать вариант управленческого решения, чья векторная оценка имеет максимальное значение функции Φ .

Утверждение. Пусть в многокритериальной модели поддержки принятия решений $B = \langle X_n, F_m, N, \Theta_m \rangle$ задано множество I -номеров компонент векторного критерия. Мощность множества I составляет величину m , равную мощности множества F_m , то есть количеству компонент векторного критерия. Пусть в множестве I существует одна наиболее важная компонента векторного критерия с номером i и остальные менее важные компоненты с номерами $j \in I/i$. В модели B существует множество коэффициентов относительной важности Θ_m , определяющее превосходство в важности компоненты векторного критерия i над компонентами векторного критерия с номерами j . Тогда показатели важности ω_m для многокритериальной модели поддержки принятия решений $A = \langle X_n, F_m, R, \omega_m \rangle$ будут определяться по формулам:

для компоненты F с номером i :

$$\omega_i = \frac{m}{m + \Theta - 1}; \quad (3.9)$$

для всех компонент F с номерами j

$$\omega_j = \frac{\Theta_j}{m + \Theta - 1}, \quad (3.10)$$

где $\Theta = \sum_{k=1}^m \Theta_k, k = 1, 2, \dots, m$.

Следствие. Для указанного случая систематизации моделей поддержки принятия решений существует комплекс ограничений, из которых следует, что:

1) общее количество критериев в модели определяется по формуле $m = 1 + b$;

2) для коэффициентов относительной важности компонент векторного критерия с номером i и компонент с номерами j выполняются следующие условия:

$$\Theta_i=1; \Theta_j < 1, \text{ тогда } \Theta - \Theta_i = \Theta - 1 = \sum_{j=1}^b \Theta_j; \text{ где } \Theta = \sum_{k=1}^m \Theta_k, k=1,2,\dots,m.$$

Доказательство. При доказательстве утверждения необходимо получить формулы расчета коэффициентов ω модели А на основе коэффициентов относительной важности Θ модели В. Пусть новый векторный критерий модели В рассчитывается в соответствии с правилом N. Введем для группы компонент векторного критерия с номерами $j=1,2, \dots,b$, тогда обобщенный критерий модели А, представляющий собой сумму частных критериев g_j и критерия f_i , запишем следующим образом:

$$G = \Theta_i f_i + \Theta_1 f_1 + \Theta \dots f \dots + \Theta_b f_b + b \cdot \Theta_i f_i. \quad (3.11)$$

Объединим множитель перед компонентой векторного критерия с номером i , тогда формула (3.11) будет иметь следующий вид:

$$G = \Theta_i (1+b) f_i + \Theta_1 f_1 + \Theta \dots f \dots + \Theta_b f_b. \quad (3.12)$$

Нормируем коэффициенты важности перед компонентами векторного критерия, для этого вычислим их общую сумму по формуле:

$$(1+b)\Theta_i + \Theta_1 + \Theta \dots + \Theta_b = (1+b)\Theta_i + \sum_{j=1}^b \Theta_j. \quad (3.13)$$

Тогда функция ранжирования векторных оценок вариантов управленческих решений модели А будет записана с использованием предпочтений лица, принимающего решения, выраженных через коэффициенты относительной важности Θ следующим образом:

$$\begin{aligned} \Phi = & \frac{(1+b)\Theta_i}{(1+b)\Theta_i + \sum_{j=1}^b \Theta_j} f_i + \frac{\Theta_1}{(1+b)\Theta_i + \sum_{j=1}^b \Theta_j} f_1 + \\ & + \frac{\Theta \dots}{(1+b)\Theta_i + \sum_{j=1}^b \Theta_j} f \dots + \frac{\Theta_b}{(1+b)\Theta_i + \sum_{j=1}^b \Theta_j} f_b \end{aligned} \quad (3.14)$$

С другой стороны, данная функция, выражающая предпочтения лица, принимающего решения, через коэффициенты ω представлена формулой:

$$\Phi = \omega_i f_i + \omega_1 f_1 + \omega_{\dots} f_{\dots} + \omega_b f_b. \quad (3.15)$$

Обобщая формулы (3.14) и (3.15), вычислим коэффициенты важности ω через коэффициенты относительной важности Θ следующим образом:

для компоненты векторного критерия с номером i определяется по формуле:

$$\omega_i = \frac{(1+b)\Theta_i}{(1+b)\Theta_i + \sum_{j=1}^b \Theta_j}, \quad (3.16)$$

в свою очередь для компонент векторного критерия с номерами $j=1,2,\dots,b$, соответственно, по формуле:

$$\omega_j = \frac{\Theta_j}{(1+b)\Theta_i + \sum_{j=1}^b \Theta_j}. \quad (3.17)$$

Учитывая следствие (допущение) к утверждению, считается, что

- 1) общее количество критериев в модели определяется по формуле $m = 1 + b$;
- 2) для коэффициентов относительной важности компонент векторного критерия с номером i и компонент с номерами j выполняются следующие условия:

$$\Theta_i = 1; \Theta_j > 1, \text{ тогда } \Theta - \Theta_i = \Theta - 1 = \sum_{j=1}^b \Theta_j; \text{ где } \Theta = \sum_{k=1}^m \Theta_k, k=1,2,\dots,m.$$

Перейдем к изначальной нумерации компонент векторного критерия, тогда формулу (3.15) запишем следующим образом:

$$\Phi = \omega_1 f_1 + \omega_{\dots} f_{\dots} + \omega_k f_k + \omega_{\dots} f_{\dots} + \omega_m f_m. \quad (3.18)$$

Тогда коэффициенты важности для компоненты векторного критерия с номером i определяются по формуле:

$$\omega_i = \frac{m}{m + \Theta - 1}, \quad (3.19)$$

для компонент векторного критерия с номерами j по формуле:

$$\omega_j = \frac{\Theta_j}{m + \Theta - 1}, \quad (3.20)$$

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

Утверждение доказано.

Таким образом, систематизация двух многокритериальных моделей поддержки принятия решений проведена. Это позволяет создать алгоритм расчета коэффициентов важности задач, решаемых на участках тушения пожара с использованием критерия тактических возможностей пожарных подразделений и коэффициентов относительной важности.

3.3 Алгоритм поддержки принятия решений

При организации мониторинга крупного пожара нужно учитывать «важность» каждого участка тушения пожара. Исходя из этого, возникает важный практический вопрос для оператора системы мониторинга – лица, принимающего решения о применении мобильных средств мониторинга на участках тушения пожара с учетом результатов оценки важности задач на данных участках. Для определения важности задач на участках тушения пожара, по условию определения 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. Настоящий критерий определяется на каждый участок тушения пожара (УТП) при помощи линейной зависимости [68]:

$$E = f(Q; N_{\text{чел}}; N_{\text{ств}}), \quad Q = f(N_{\text{чел}}; N_{\text{ств}}), \quad (3.21)$$

где Q – расход огнетушащего вещества, л/с.

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

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

Соответственно, при возникновении на крупном пожаре нескольких участков тушения принятие управленческого решения будет характеризоваться векторной

оценкой. Каждый элемент, приведенный выше, представляет степень достижения основной задачи пожарных подразделений, которая решается на определенном участке, которую в дальнейшем будем считать «относительной важностью» задач пожаротушения, решаемых на указанном участке (секторе). Для формализованного описания оценки относительной важности задач пожаротушения воспользуемся процедурой, разработанной в [95] на основе теории многокритериальной оптимизации, и выполним адаптацию данной процедуры в виде алгоритма.

Таким образом, для оценки важности задач, решаемых на участках тушения пожара при его мониторинге, необходимо выполнить следующий алгоритм:

1. На первом этапе необходимо для каждого участка тушения пожара рассчитать значения критерия тактических возможностей. На данном этапе путем подсчета количества работающих участников тушения пожара и работающих приборов подачи огнетушащих веществ рассчитывают скорость локализации пожара на каждом участке тушения пожара в отдельности.

2. На втором этапе определяют участок тушения пожара, на котором решают задачу решающего направления ведения действий, для данного участка скорость локализации пожара будет максимальной, то есть будет также максимально соотношение количества участников тушения пожара и приборов подачи огнетушащих веществ. Данному участку присваивают номер i , остальным участкам присваивают номера j .

3. На третьем этапе рассчитывают набор коэффициентов относительной важности по формуле Θ_m :

$$\Theta_k = \frac{E_k}{E_i}, k=1,2, \dots, m. \quad (3.22)$$

Стоит отметить, что допущения модели говорят о том, что для участка тушения пожара с номером i коэффициент относительной важности 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 Θ_m и формул (3.9), (3.10) определяют показатели важности задач, решаемых на участке тушения

пожара, которые в дальнейшем используются при выборе способов применения БАС для мониторинга пожара.

В качестве примера рассмотрим оценку важности задач на четырех участках тушения пожара по критерию [68].

$$E = 1,23 + 0,012N_{\text{чел}} + 0,09N_{\text{ств}} .$$

Исходные данные и результаты решения задачи представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Оценка важности задач на участках тушения крупного пожара

m	Исходные данные		Результаты расчета			
	$N_{\text{чел}}$	$N_{\text{ств}}$	E	I	Θ	ω
1	7	2	1,49	j	0,72	0,12
2	12	5	1,82	j	0,88	0,14
3	18	7	2,08	i	1,00	0,64
4	3	1	1,36	j	0,65	0,10
Сумма:	40	15		Сумма:	3,25	1,00

В результате представленный алгоритм по оценке важности задач на участках тушения пожара является важным элементом в общей организационной структуре системы поддержки принятия решений по применению мобильных средств мониторинга (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Алгоритм поддержки принятия решений при выборе способов использования мобильных средств мониторинга.

Применение данного алгоритма для поддержки принятия решений позволит должностным лицам на пожаре определить важность задач, решаемых на участках тушения пожаров, и выполнить их ранжирование. Оператору БАС на основе многопараметрического выбора необходимо определить множество вариантов по применению мобильных систем мониторинга в рациональной иерархии, благодаря чему происходит сокращение времени на принятие обоснованного решения.

Подводя итоги, стоит отметить, что предложенный алгоритм оценки важности задач представляет из себя основной элемент в общей организационной структуре системы поддержки принятия решений по применению мобильных средств при организации мониторинга крупных пожаров. Алгоритм, основанный на теории многокритериальной оптимизации, позволяет определить систему предпочтений по применению способов мониторинга крупных пожаров и идентифицировать рациональный вариант решения задач управления. Для рационального применения алгоритма в информационных системах необходимо исследование его основных параметров практического применения – анализа вариантов управленческих решений.

3.4 Исследование алгоритма поддержки принятия решений

Исследования алгоритма поддержки принятия управленческих решений по использованию мобильных средств мониторинга выполнено для решения двух задач.

Первая задача состоит в определении границ эффективного применения алгоритма поддержки принятия решений, исходя из размерности множества участков тушения крупного пожара и множества мобильных средств мониторинга, имеющих в распоряжении оператора информационной системы мониторинга крупного пожара.

Вторая задача заключается в обосновании отдельных эксплуатационных характеристик информационной системы мониторинга крупного пожара,

построенной с использованием разработанного алгоритма поддержки принятия решений. Здесь отдельными эксплуатационными характеристиками считаются:

T – необходимое время на принятие решений оператором системы путем парного сравнения вариантов решений;

P – вероятность ошибочного сравнения имеющихся вариантов решений.

Для решения первой задачи исследования, состоящей в определении границ применения алгоритма, принято, что количество выбранных с его помощью вариантов решений не должно превышать верхнюю границу числа Миллера (7 ± 2), то есть 9-ти вариантов.

Для решения второй задачи необходимо построить закон распределения случайной величины – количество выбранных вариантов и при заданной вероятности ($P=0,95$) определить случаи эффективного применения алгоритма.

Для решения задач исследования выбран опытно-теоретический метод исследования, подразумевающий использование модели численного эксперимента.

3.4.1 Модель численного эксперимента

Модель численного эксперимента построена с учетом методических положений теоретико-множественного исследования сложных информационных систем [2] по аналогии с исследованиями эффективности агентной системы принятия решений. Так, концептуально в вычислительном эксперименте предлагается построить исходное множество X – множество вариантов управленческих решений по использованию мобильных средств мониторинга на заданном количестве участков тушения пожара.

С учетом набора коэффициентов относительной важности Θ_m модифицировать исходный векторный критерий F в новый векторный критерий G , а затем построить множество $C(X)$ – множество вариантов управленческих решений, которые предлагаются ЛПР для осуществления окончательного выбора на основе предложенного алгоритма поддержки принятия решений. Вычислительный эксперимент состоит из 10 опытов, сформированных на основе

сочетаний ($m=3, 4, 5, 6$ – участки тушения крупного пожара; $k=2, 3, 4$ – мобильные средства мониторинга).

Каждый вычислительный опыт имеет 100 повторений, на основе которого формируется дискретный закон распределения случайной величины p – количество выбранных вариантов управленческих решений. Затем на основе данного дискретного закона распределения вычисляется математическое ожидание времени, необходимого оператору системы мониторинга – ЛПР на окончательный выбор варианта управленческого решения по применению мобильных средств мониторинга на участках тушения крупного пожара. Полученное в ходе исследования математическое ожидание времени, необходимого на принятие решения, в сравнении с временем выбора вариантов решений на границах возможностей человека (9 вариантов управленческих решений – 7 ± 2 (число Миллера)) позволит оценить эффективность применения алгоритма поддержки принятия решений и определить границы его применения с заданной вероятностью ($p=0,95$).

Для решения поставленных задач исследования в рамках опытно-теоретического метода разработана модель. Модель является основой для проведения численных экспериментов. Схема модели показана на рисунке 3.2. В основу алгоритмической структуры модели положены теоретические результаты, полученные в первых двух главах работы.

В блоке 1 **«Исходные данные для проведения численного эксперимента»** вводятся следующие значения: k – количество мобильных средств, используемых для мониторинга крупного пожара на m – участках его тушения. Для каждого участка тушения указывается количество приборов подачи огнетушащих веществ ($N_{\text{ств}}$) и количество участников тушения пожара ($N_{\text{лс}}$). С использованием полученных данных для каждого участка тушения пожара определяется показатель реализации тактических возможностей E , который в блоке 3 применяется для расчета коэффициентов относительной важности Θ .



Рисунок 3.2 – Схема модели численного эксперимента

В блоке 2 «**Построение модели поддержки принятия управленческих решений**» осуществляется формальная постановка задачи поддержки принятия решений, состоящая из n -вариантов решений и m -компонентов векторного критерия. Вычисление n – размера исходного множества вариантов управленческих решений X – проводится по формуле:

$$n = \frac{k!}{(m-1)!}, \quad (3.23)$$

где k – количество мобильных средств, используемых для мониторинга крупного пожара;

m – количество участков тушения пожара.

Таким образом, совокупность вариантов управленческих решений представляет собой размещение k -средств мониторинга по m -участкам тушения пожара.

Блок 3 «**Коэффициенты важности – система предпочтений ЛПР**» предназначен для расчета набора коэффициентов относительной важности Θ_m по формуле:

$$\Theta_i = \frac{E_i}{E^*}, \quad (3.24)$$

где Θ_i – коэффициент относительной важности для i -го участка тушения пожара;
 E_i – оценка по критерию реализации тактических возможностей пожарных подразделений на i -м участке тушения пожара;
 E^* – максимальная среди оценок всех рассматриваемых участков тушения пожара.

Совокупность коэффициентов Θ_m формирует систему предпочтений руководителя тушения пожара, то есть показывает относительную важность задач (по мнению руководителя тушения пожара), решаемых на конкретных участках тушения пожара.

В блоке 4 **«Векторные оценки вариантов мобильных средств мониторинга»** для сформированных вариантов управленческих решений формируются их векторные оценки с использованием исходного векторного критерия F , далее осуществляется проверка их парето-оптимальности, и, если все варианты в исходной задаче оказались парето-оптимальными, то опыт эксперимента продолжается, в противном случае векторные оценки вариантов формируются заново.

В блоке 5 **«Модификация векторного критерия»** с учетом коэффициентов относительной важности Θ_m , характеризующих важность задач, решаемых на участках тушения пожара, осуществляется формирование нового векторного критерия G на основе компонент исходного векторного критерия F по формуле:

$$g_j = \Theta_j f_j + \Theta_i f_i, \quad (3.25)$$

где $\Theta_i=1$; $\Theta_j<1$ коэффициенты относительной важности, количественно выражающие предпочтения лица, принимающего решения.

В блоке 6 **«Построение множества векторных оценок вариантов с использованием модифицированного критерия»** на основе модифицированного векторного критерия G в блоке 5 с учетом исходного множества вариантов управленческих решений сформированы новые векторные оценки.

В блоке 7 «Расчет количества вариантов во множестве» происходит построение множества выбранных вариантов управленческих решений $C(X)$ в соответствии с правилом:

$$C(X) \subset P_g(X) \subset X,$$

где X – исходное множество векторных оценок вариантов решений; $P_g(X)$ – множество парето-оптимальных векторных оценок вариантов управленческих решений относительно векторного критерия $G_m = \{g_1; g_2; \dots; g_m\}$, учитывающего предпочтения лица, принимающего решения, выраженные набором коэффициентов относительной важности $\Theta_m = \{\Theta_1; \Theta_2; \dots; \Theta_m\}$.

Разработанный алгоритм поддержки принятия решений предлагает ЛПР производить окончательный выбор из множества $C(X)$.

В блоке 8 «Расчет значений параметров задачи принятия решений» проводится подсчет исходного количества вариантов X и количества вариантов, выбранных с использованием алгоритма X^* , далее определяется время, необходимое на принятие решений по формуле:

$$T = 14 \cdot (X - 1) \text{ и } T^* = 14 \cdot (X^* - 1), \quad (3.26)$$

где T – время на принятие решений без использования алгоритма;

T^* – время на принятие решений с использованием алгоритма.

Затем аналогично вычисляется вероятность ошибки при принятии решений по формулам:

$$P = 1 - \exp\left(-q \frac{(X - 1)}{M}\right) \quad (3.27)$$

$$P^* = 1 - \exp\left(-q \frac{(X^* - 1)}{M}\right),$$

где $M=100$ – количество повторений в опыте; $q=0,5$ – вероятность выбора неверного варианта из пары.

В блоке 9 «Расчет показателей эффективности задачи принятия решений» с учетом математического ожидания времени, требуемого на выбор окончательного варианта решения ЛПР, вычисляется эффективность применения алгоритма по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{D - D^*}{D} 100\%, \quad (3.28)$$

где D , D^* – значения параметра задачи принятия решений без применения алгоритма и с применением.

В блоке 10 «Оценка границ применения алгоритма» на основе многократного повторения опыта строится закон распределения случайной величины и с выбранной вероятностью (0,95 или 0,99) определяется максимальное количество выбранных вариантов, если данное число превышает 9 (7 ± 2 (число Миллера)), то алгоритм применяться не может.

В блоке 11 «Анализ результатов численного эксперимента» выводятся окончательные значения: соотношение исходного количества вариантов управленческих решений к количеству вариантов управленческих решений, рекомендованных для выбора алгоритмом; соотношение времени, необходимого на сравнение исходного множества вариантов, и времени на сравнение вариантов, рекомендованных алгоритмом; соотношение вероятности ошибки при выборе из исходного множества вариантов и из множества, рекомендованного алгоритмом поддержки принятия решений.

3.4.2 Результаты численного эксперимента

Детально рассмотрим результаты численного эксперимента для задачи поддержки принятия решений размерностью ($m=4$; $k=2$), то есть при работе 2-х средств мониторинга на 4-х участках тушения пожара (таблицы 3.2–3.3).

Выдвигается статистическая гипотеза H_0 : дискретная случайная величина p подчиняется распределению Пуассона с плотностью:

$$p = \frac{\lambda^k}{k!} \exp(-\lambda). \quad (3.29)$$

Тогда теоретическое количество повторений вычислительного опыта ($N_{теор}$), при котором случайная величина ρ будет иметь значение, равное k , вычислим по формуле:

$$N_{теор} = M \cdot \left(\frac{\lambda^k}{k!} \exp(-\lambda) \right), \quad (3.30)$$

где M – общее число повторений вычислительного опыта ($M=100$).

Таблица 3.2 – Результаты вычислительного опыта ($m=4; k=2$)

СВ	β	ρ
Результаты вычислительного опыта ($m=4; k=2$)	1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 2; 3; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 6; 6; 6; 7; 7	0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 1; 2; 3; 3; 3; 3; 3; 3; 3; 3; 3; 3; 3; 3; 3; 3; 3; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 5; 5; 5; 6; 6
Среднее	2,86	1,86

Таблица 3.3 – Сгруппированные результаты вычислительного опыта

β	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Сумма
ρ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
$N_{эмп}$	15	32	25	15	8	3	2	0	0	100
$N_{теор}$	15,57	28,96	26,93	16,7	7,76	2,89	0,9	0,24	0,06	100,00
χ^2	0,02	0,32	0,14	0,17	0,01	0,00	1,34	0,24	0,06	2,30

Сходимость эмпирических и теоретических результатов (рисунок 3.3) оценим с использованием критерия Пирсона (χ^2):

$$\chi_i^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(N_i - N_i^*)^2}{N_i^*}, \quad (3.31)$$

где N_i – эмпирическая частота реализации вычислительного опыта;

N_i^* – теоретическая частота реализации вычислительного опыта;

K – общее число анализируемых значений случайной величины ρ .

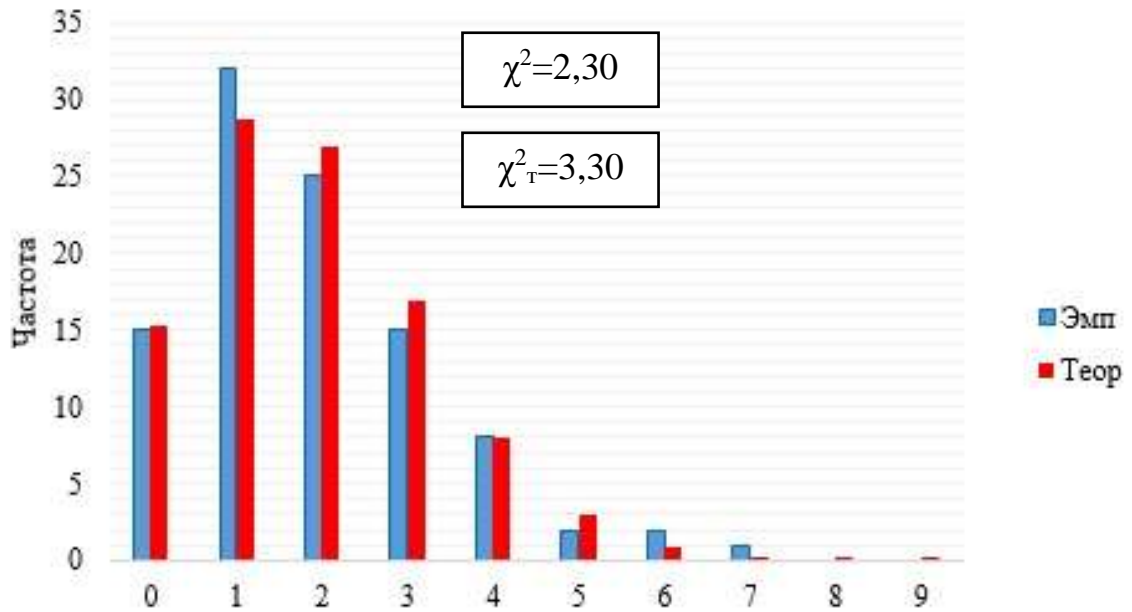


Рисунок 3.3 – Гистограмма теоретических и эмпирических значений СВ

Таким образом, гипотеза H_0 о принадлежности случайной величины ρ по распределению Пуассона принимается. Аналогичным образом определяем необходимые параметры для задач принятия решений с другой размерностью.

Далее определяем значение времени, необходимого на выбор варианта применения МСМ при мониторинге крупного пожара (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Распределение случайных величин ρ и β

Количество вариантов	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество сравнений	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Размерность задачи принятия решений ($m=3; k=2$)									
Весовая функция	0,42	0,36	0,16	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Интегральная функция	0,42	0,79	0,95	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Размерность задачи принятия решений ($m=4; k=2$)									
Весовая функция	0,16	0,29	0,27	0,17	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00
Интегральная функция	0,16	0,45	0,71	0,88	0,96	0,99	1,00	1,00	1,00
Размерность задачи принятия решений ($m=5; k=2$)									
Весовая функция	0,08	0,21	0,26	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00
Интегральная функция	0,08	0,29	0,54	0,76	0,89	0,96	0,99	1,00	1,00
Размерность задачи принятия решений ($m=4; k=3$)									
Весовая функция	0,03	0,1	0,18	0,21	0,19	0,14	0,08	0,04	0,02
Интегральная функция	0,03	0,13	0,3	0,52	0,71	0,84	0,93	0,97	0,99
Размерность задачи принятия решений ($m=5; k=3$)									
Весовая функция	0,01	0,05	0,11	0,16	0,19	0,17	0,13	0,09	0,05

Продолжение таблицы 3.4

Интегральная функция	0,01	0,06	0,16	0,33	0,51	0,69	0,82	0,90	0,95
<i>Размерность задачи принятия решений (m=5; k=4)</i>									
Весовая функция	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07
Интегральная функция	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,11	0,18

Графическая интерпретация данных, данных в таблице 3.2, представлена на рисунках 3.4 и 3.5.

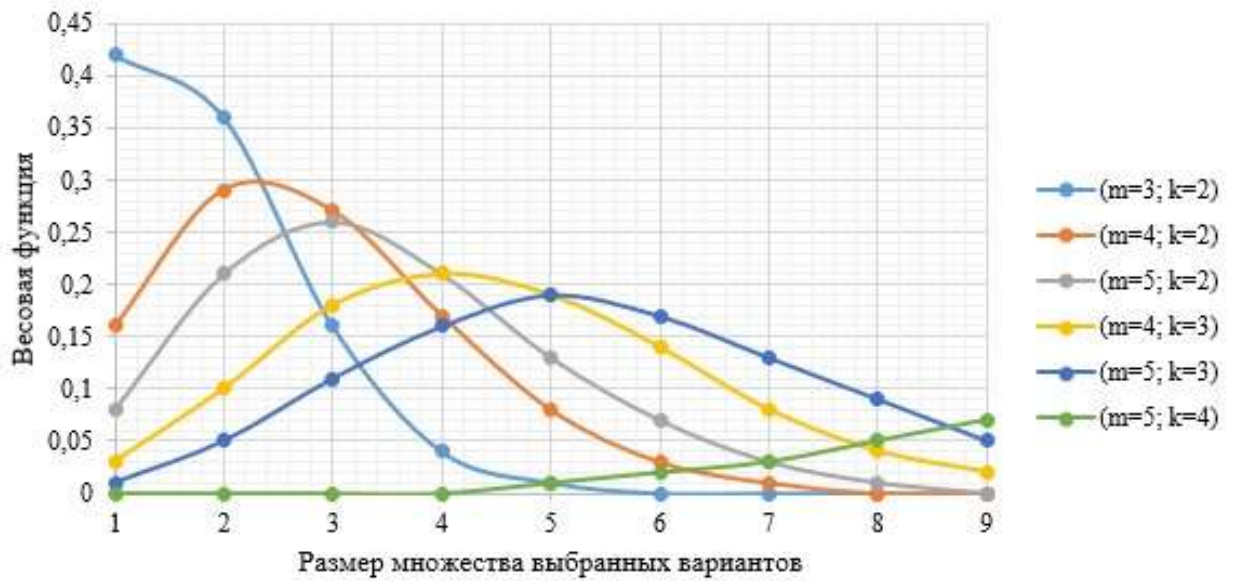


Рисунок 3.4 – Значения весовой функции распределения

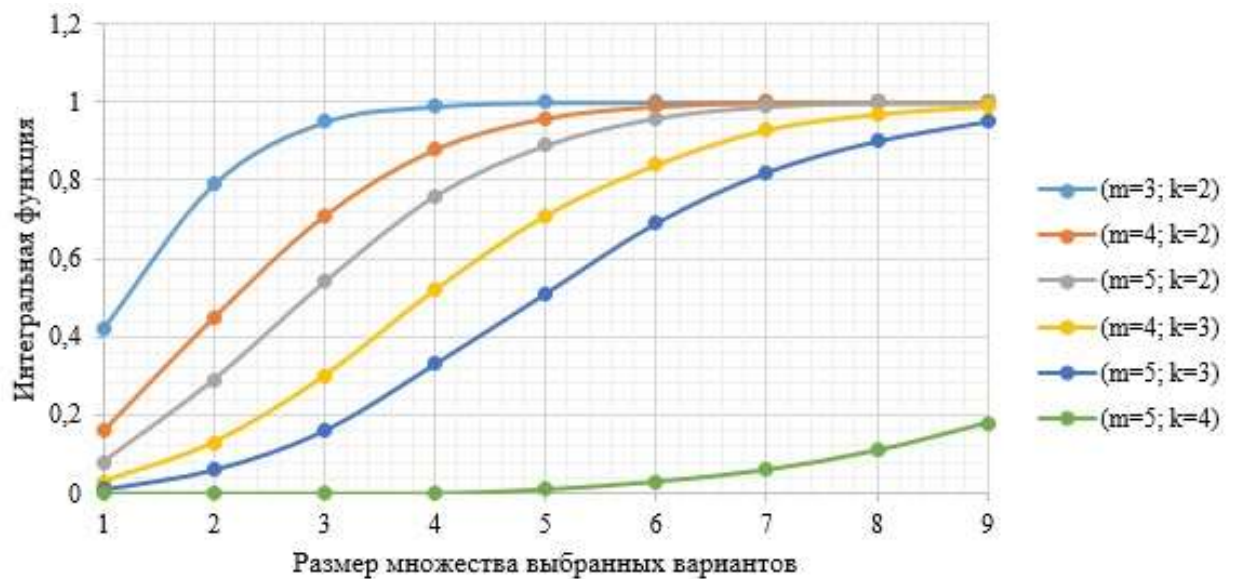


Рисунок 3.5 – Значения интегральной функции распределения

Тогда границы применения алгоритма поддержки принятия решений при доверительной вероятности 0,95 и 0,99 представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – 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
P=0,99	4	6	7	9	>9	>9
Вывод:	+	+	+	+	+	-

Примечание: + алгоритм применим; – алгоритм не применим.

Считается, что алгоритм не применим, если множество выбранных вариантов содержит более 9 (7 ± 2) вариантов управленческих решений. Следовательно, с вероятностью 0,95 можно утверждать, что применение алгоритма поддержки принятия решений в задаче распределения трех мобильных средств мониторинга по пяти участкам тушения пожара обеспечит уверенность в том, что множество выбранных решений не будет превышать 9-ти вариантов. В случае превышения размерности задачи принятия решений, то есть $m > 5$ и/или $k > 3$, необходимо создавать сектора тушения пожара и разворачивать систему мониторинга на базе разработанного алгоритма для каждого сектора в отдельности (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – 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
Показатели эффективности	Эх, %	50	58	70	67	85
	Эт, %	60	64	74	70	86
	Эр, %	67	67	70	64	85

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

На рисунке 3.6 представлено сопоставление результатов оценки эффективности применения алгоритма поддержки принятия решений.

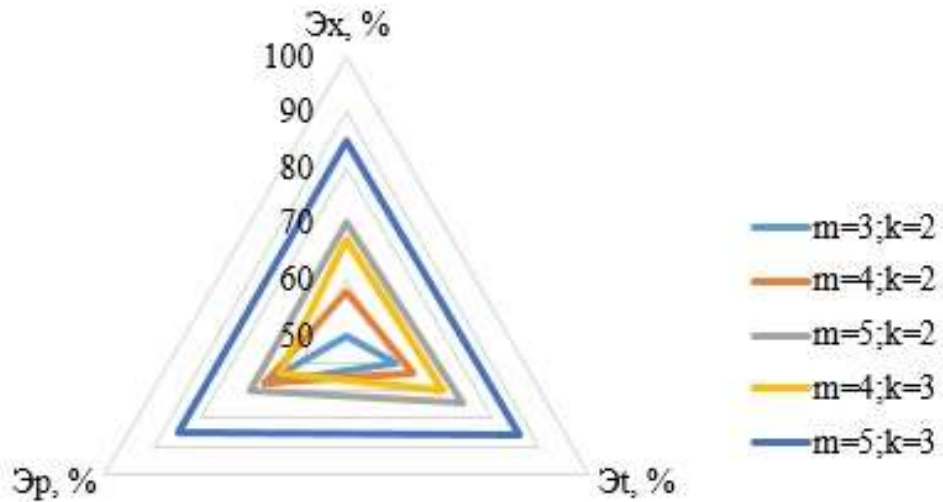
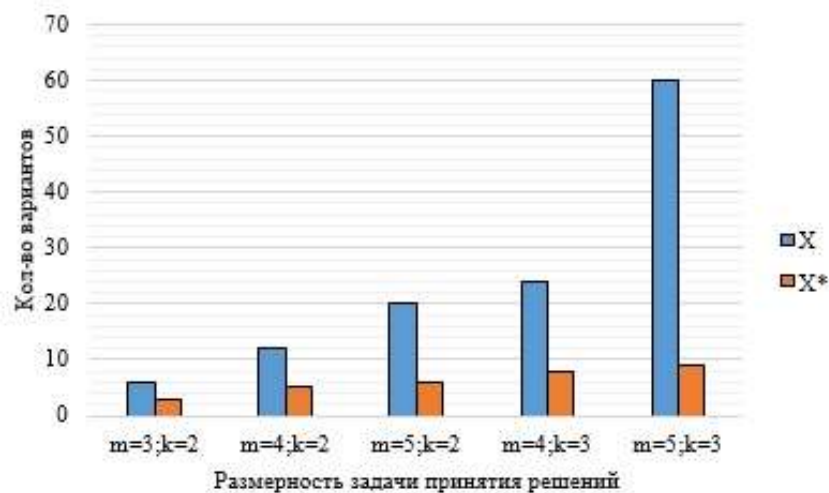


Рисунок 3.6 – Безразмерные показатели эффективности применения алгоритма для задач принятия решений

На рисунке 3.7 представлены результаты анализа эффективности применения алгоритма:

- соотношение количества вариантов;
- соотношение времени, необходимого на сравнение вариантов;
- вероятность ошибки при выборе вариантов управленческих решений.



а

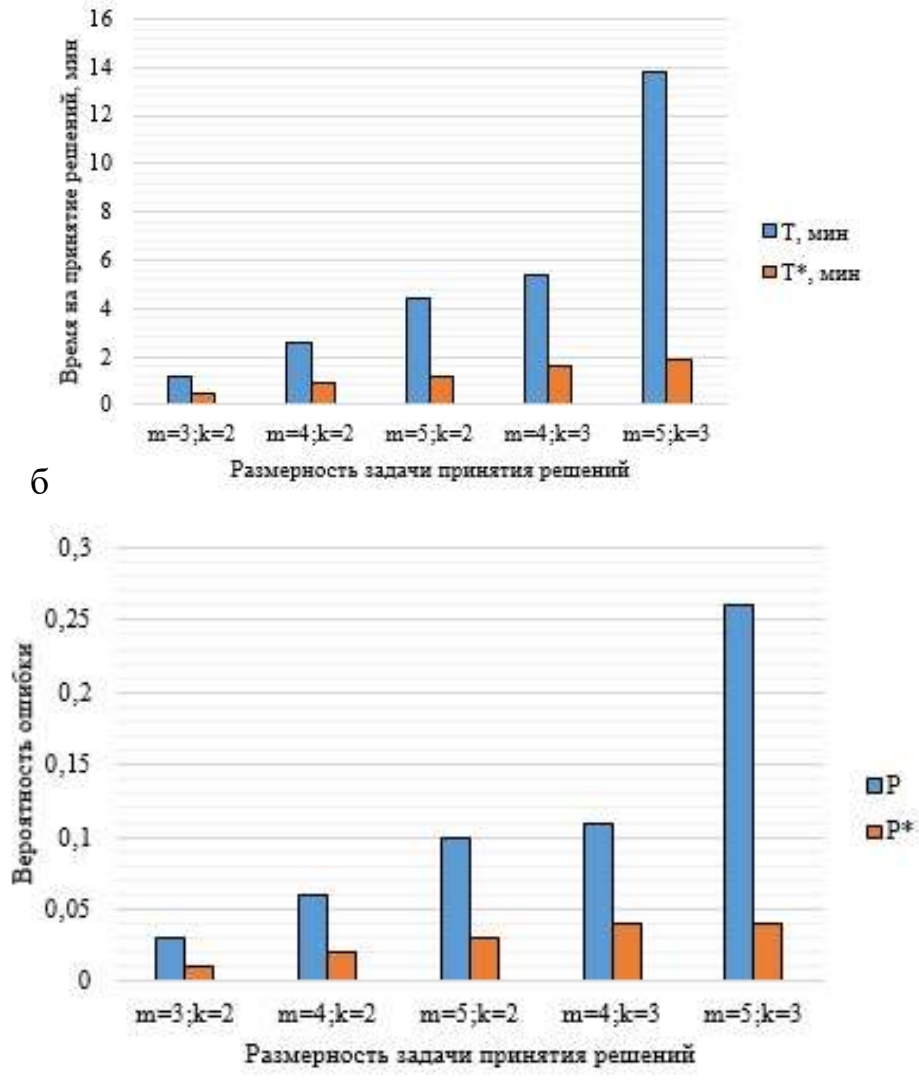


Рисунок 3.7 – Результаты численного эксперимента

Таким образом, при применении разработанного алгоритма поддержки принятия решений в информационной системе мониторинга крупного пожара с доверительной вероятностью 0,95 будут обеспечены следующие эксплуатационные характеристики: 1 – множество управленческих решений будет содержать не более 9-ти вариантов; 2 – требуемое время для анализа вариантов решений путем их парного сравнения оператором системы мониторинга не будет превышать 2-х минут, при этом вероятность ошибочного сравнения вариантов решений – не более 0,05.

Выводы по главе 3

В главе решена третья задача исследования, состоящая в разработке модели и алгоритма поддержки принятия решений по использованию мобильных средств при мониторинге крупных пожаров. При решении данной задачи получены следующие основные научные результаты:

1. Разработана модель поддержки принятия решений для эффективного применения мобильных средств при мониторинге крупных пожаров. Отличительной особенностью модели является учет важности элементов организационной структуры системы управления – участков и секторов тушения крупных пожаров.

2. На основе модели создан алгоритм оценки важности задач, решаемых на участках и секторах тушения пожара, алгоритм позволяет исключить неэффективные варианты управленческих решений и тем самым существенно снизить время, необходимое на принятие решений, а также снизить вероятность выбора неверного варианта решения.

3. Проведено исследование алгоритма поддержки принятия решений по эффективному использованию мобильных средств при мониторинге крупных техногенных пожаров. Разработана модель численного эксперимента, получены экспериментальные данные, проведен их анализ и обсуждение.

3.1. Выявлено, что эффективное использование алгоритма возможно при количестве участков тушения пожара в организационной структуре управления не более 5-ти и не более 3-х мобильных средств мониторинга (за исключением резерва).

3.2. 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, при этом вероятность ошибочного сравнения вариантов решений – не более 0,05.

ГЛАВА 4 ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ

В четвертой главе диссертации разрабатывается информационно-аналитическая система поддержки управления, основанная на реализации программного комплекса, целью которого является комплексная оценка качества системы мониторинга, созданной на базе мобильных средств мониторинга.

Необходимость разработки программного комплекса обеспечения информационной поддержки принятия управленческих решений обуславливается спецификой информационного обеспечения, которое поступает должностному лицу при совершении мониторинга, созданного на базе мобильных средств мониторинга. Применение разработанных теоретических аспектов поддержки принятия управленческих решений позволит обеспечить важной информацией процесс принятия решений в сложных условиях ведения действий по тушению крупных и затяжных пожаров.

Таким образом, за счет разработки программного комплекса на основе созданной теоретической базы произведено совершенствование процедуры поддержки принятия управленческих решений при мониторинге крупных пожаров на планирующих этапах и повышение качества информационной составляющей в оперативном режиме работы.

Программный комплекс представляет собой объединение информационных ресурсов системы мониторинга пожаров в зданиях и на открытых пространствах [37], информационных ресурсов для планирования мониторинга пожаров и чрезвычайных ситуаций с применением беспилотных авиационных систем [35] и программное обеспечение для информационно-аналитической системы управления беспилотными авиационными системами при мониторинге крупных пожаров [50], зарегистрированных в Роспатенте.

4.1 Архитектура программного комплекса

С целью практической реализации теоретических моделей и алгоритмов разработана система поддержки управления, представляющая собой программный комплекс (ПК). Программная компонента ПК представляет собой информационно-аналитическую систему, построенную на основе теории информационно-аналитической поддержки управления, и включает в себя две основные подсистемы: аналитическая подсистема и информационная подсистема. Аналитическая подсистема предназначена для реализации процедур поддержки принятия решений в части выбора вариантов управленческих решений путем их ранжирования и теоретико-множественного анализа. Информационная подсистема включает в себя: информационные ресурсы, объединенные в базу данных; модели мониторинга и средства для информационной поддержки.

4.1.1 Структура системы поддержки управления

Система поддержки управления представляет собой иерархическую структуру, состоящую из следующих ступеней: высший уровень, средний уровень и низший уровень, содержащих в себе набор подсистем (рисунок 4.1).

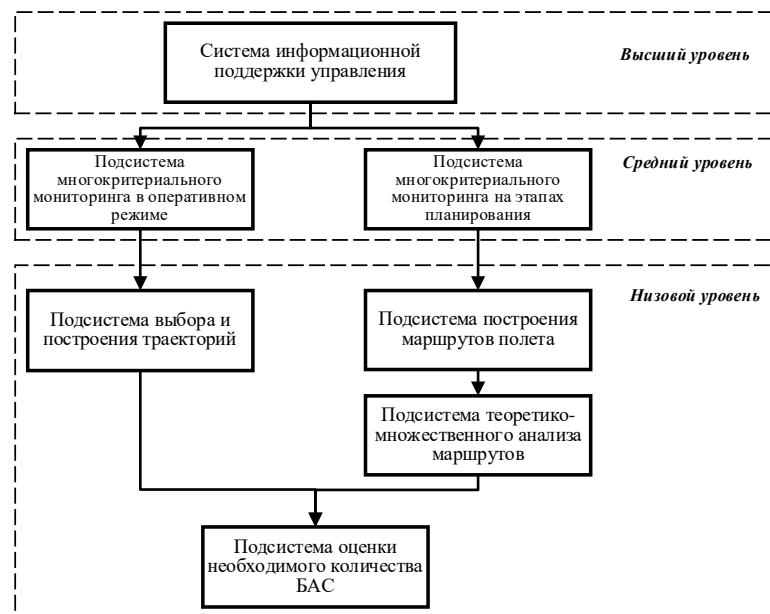


Рисунок 4.1 – Функциональная структура программного комплекса

Подсистема 1. Подсистема многокритериального мониторинга в оперативном режиме работы:

– подсистема выбора и построения траекторий. Данная подсистема предназначена для создания траекторий полета мобильного средства при совершении мониторинга над заданным объектом (местностью). Основной задачей подсистемы является информационное обеспечение должностного лица и предоставление выбора управленческих решений в оперативном режиме работы, непосредственно на месте тушения пожара. В данной подсистеме представлена база данных, содержащая в себе совокупность дискретных данных о времени работы беспилотных летательных аппаратов с делением на четыре уровня вероятности успешной реализации мониторинга [35].

Подсистема 2. Подсистема многокритериального мониторинга на этапах планирования:

– подсистема построения маршрутов полета предназначена для составления маршрутов полета МСМ в зависимости от важности задач на участках тушения крупного пожара [13, 32];

– подсистема теоретико-множественного анализа маршрутов. В данной подсистеме происходит ранжирование построенных маршрутов беспилотных летательных аппаратов по комплексу относительных показателей важности и выявление парето-оптимальной структуры множества исходных вариантов. Результатом анализа данной подсистемы является множество ранжированных вариантов управленческих решений для должностного лица;

– подсистема оценки необходимого количества БАС. В рамках данной подсистемы представлена структура применения вероятностного подхода к решению задач планирования средств мониторинга при реализации качественного информационного обеспечения должностных лиц при ликвидации крупных пожаров.

Для реализации функциональных подсистем и визуализации полученных результатов предлагается разработка программного комплекса для

информационно-аналитической системы управления мобильными средствами при мониторинге крупных пожаров.

4.1.2 Алгоритмическая структура системы поддержки принятия решений

На основе функциональной структуры системы поддержки управления был разработан алгоритм и реализован программный комплекс системы поддержки принятия решений для работы по двум основным направлениям (рисунок 4.2).

Оперативный режим работы представляет из себя совокупность мероприятий и действий, направленных на своевременную и качественную организацию мониторинга на пожаре. В данной функциональной системе осуществляется реализация взаимодействия модели циклического мониторинга и алгоритма поддержки принятия решений о привлечении необходимого количества мобильных средств мониторинга крупных пожаров. Основной функцией подсистемы является определение количества мобильных средств мониторинга.

Система проведения пожарно-тактических учений подразумевает под собой реализацию взаимодействия модели и алгоритма поддержки принятия решений по применению мобильных средств мониторинга для информационного обеспечения организационной системы управления при тушении крупных пожаров. Отличительной особенностью модели является учет важности элементов организационной структуры системы управления – участков и секторов тушения крупных пожаров, а алгоритм позволяет исключить неэффективные варианты управленческих решений и тем самым существенно снизить время, необходимое для принятия решений, а также снизить вероятность выбора неверного варианта решения. Также в данной системе осуществляется реализация взаимодействия модели циклического мониторинга и алгоритма поддержки принятия решений о привлечении необходимого количества мобильных средств мониторинга крупных пожаров.

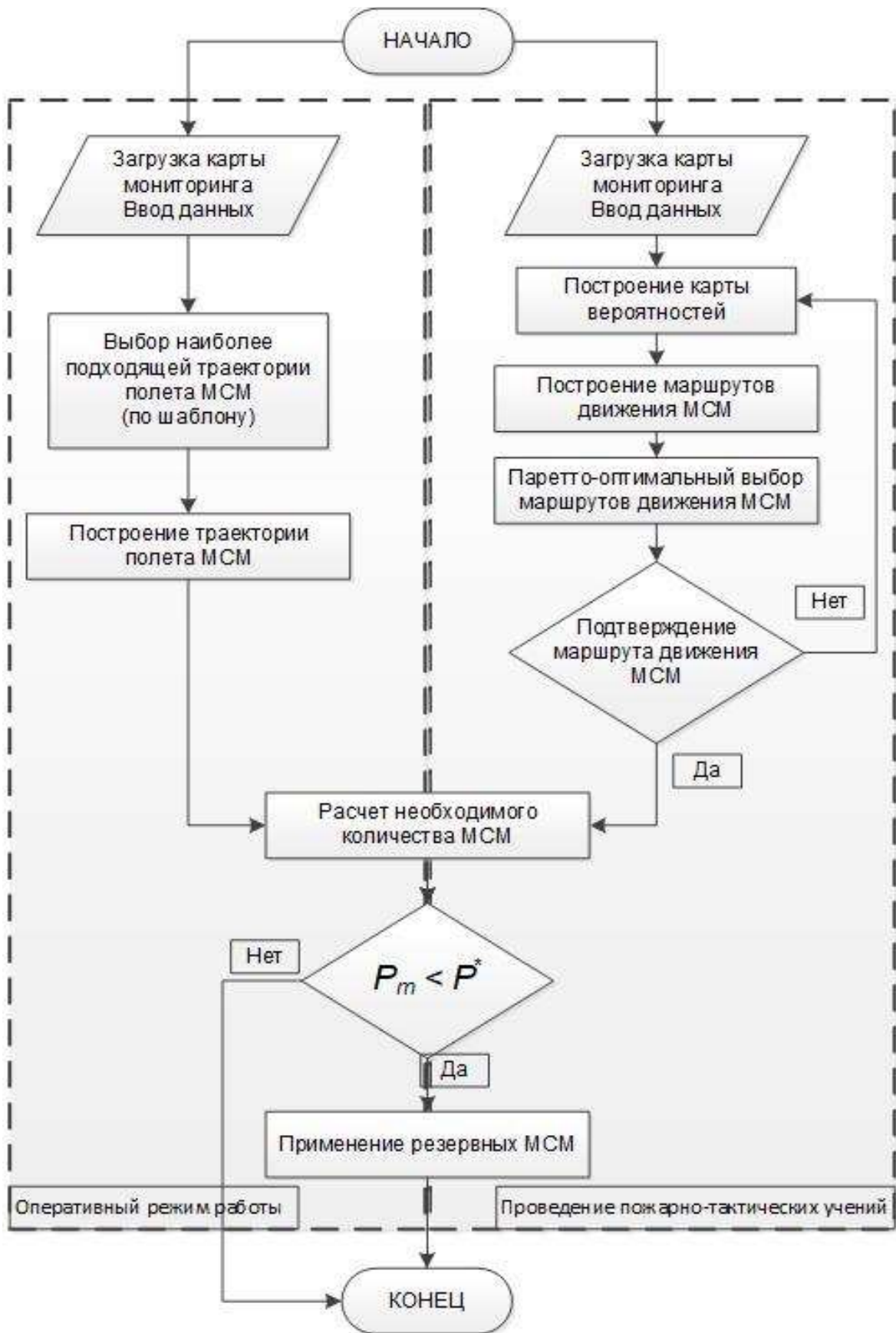


Рисунок 4.2 – Принципиальная схема алгоритмической структуры системы поддержки управления

4.2 Программная реализация процедур поддержки управления при мониторинге крупных пожаров

Программный комплекс предназначен для определения необходимого количества беспилотных летательных аппаратов при совершении мониторинга крупных пожаров по заданным траекториям. На планирующих этапах или же в режиме реального времени оператор беспилотного летательного аппарата (БПЛА) при помощи программного средства определяет необходимое количество мобильных средств мониторинга на основе беспилотных авиационных систем и выбирает наилучший маршрут движения БВС для качественного информационного обеспечения должностных лиц на пожаре (рисунок 4.3).

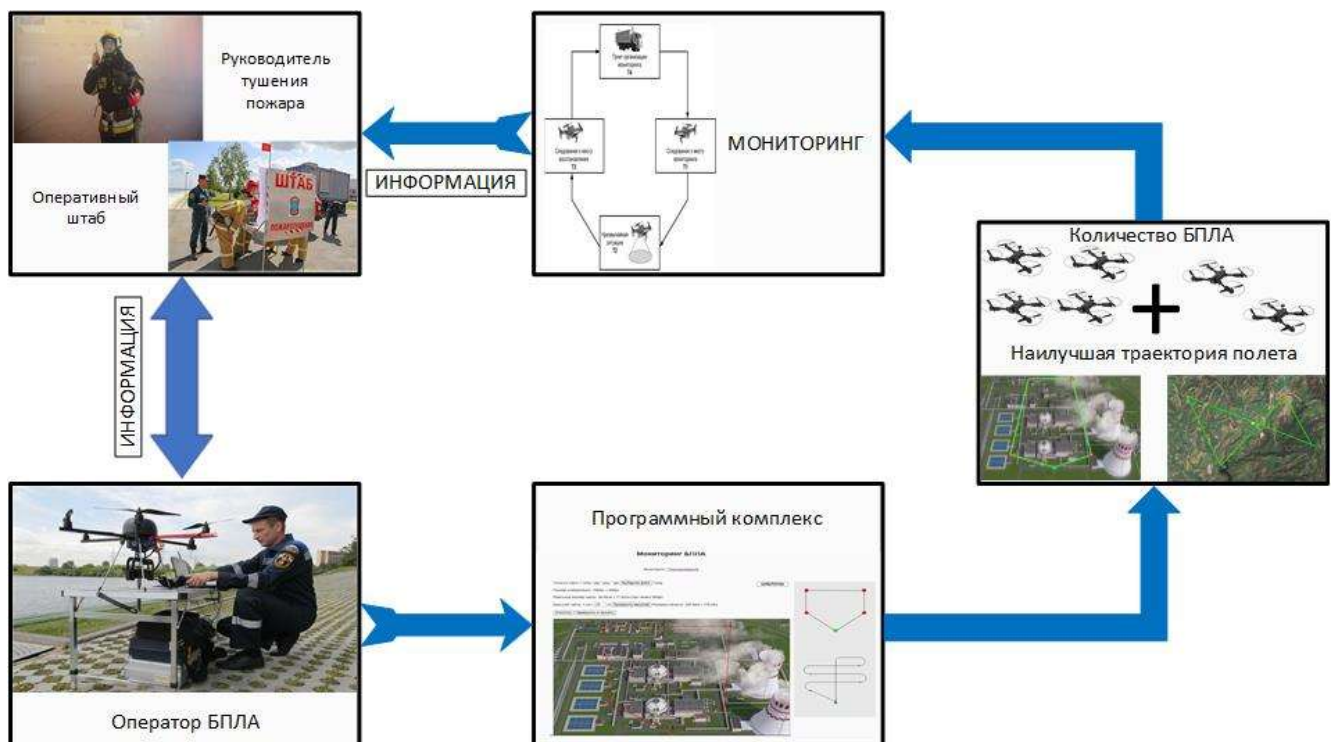


Рисунок 4.3 – Принципиальная схема работы с программным комплексом

Программный комплекс состоит из двух основных направлений:

1. Построение маршрутов движения мобильных средств при совершении мониторинга над заданным объектом и предложения по принятию решений о необходимом количестве средств мониторинга на основе беспилотных

авиационных систем с учетом привлечения резервных средств для осуществления непрерывного и устойчивого мониторинга.

2. Построение маршрутов полета мобильных средств мониторинга относительно показателей важности задач, выполняемых на каждом боевом участке тушения пожара, выбор наилучшей траектории по парето-оптимальным векторным оценкам и определение необходимого количества мобильных средств для непрерывного и качественного информационного обеспечения должностных лиц на пожаре.

Первое направление работы программного комплекса необходимо оператору беспилотного летательного аппарата непосредственно по прибытию на место пожара и организации своевременного мониторинга. Оценив обстановку на пожаре и получив задачи по организации мониторинга от должностных лиц на пожаре, оператор БПЛА выбирает наилучший маршрут движения БВС (либо по имеющимся шаблонам, либо по траекториям, отработанным на пожарно-тактических учениях). После этого выбирается мобильное средство мониторинга из имеющейся базы данных информационных ресурсов системы мониторинга пожаров с учетом имеющихся средств на вооружении в пожарно-спасательном гарнизоне.

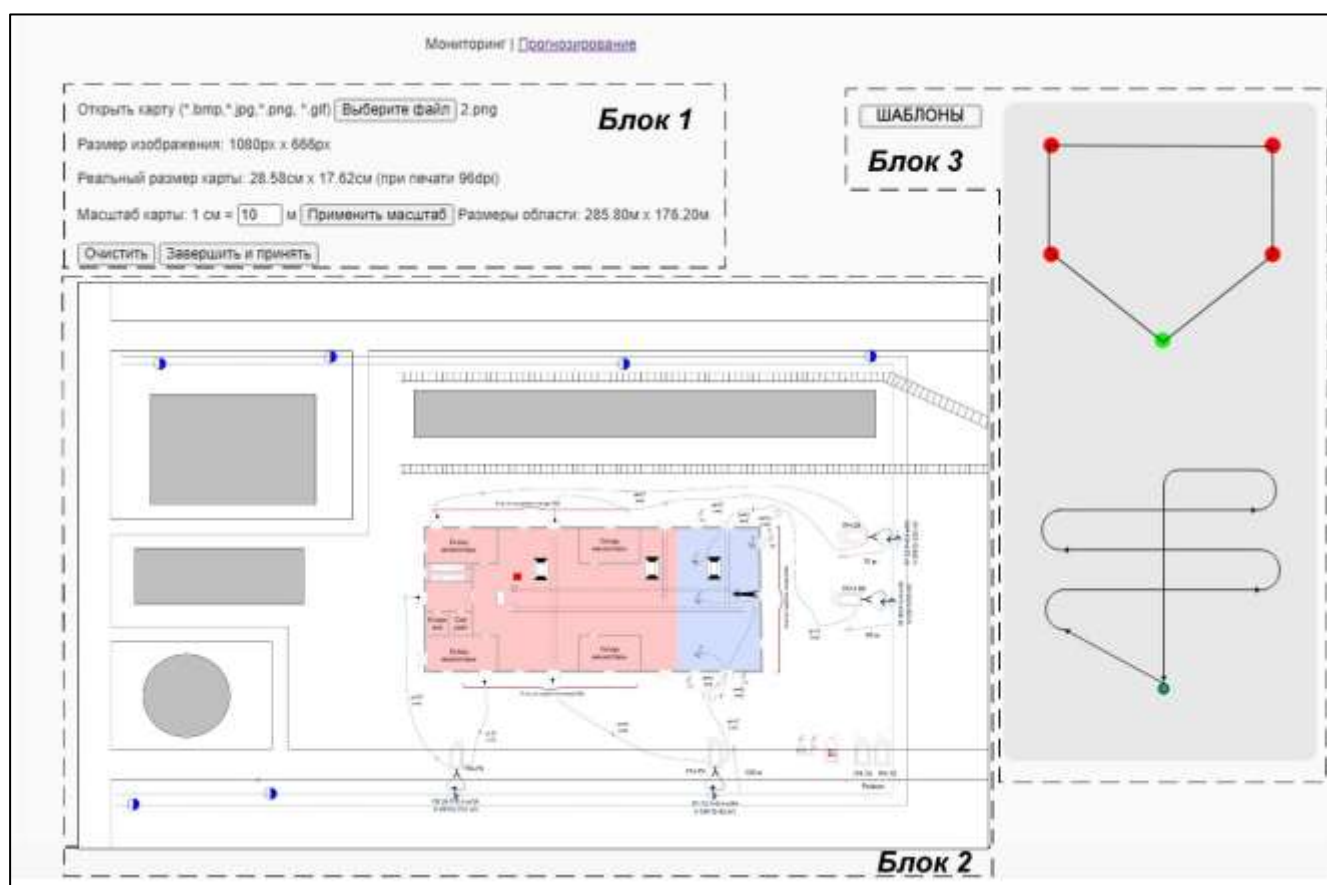
После выбора необходимых мобильных средств оператор БПЛА осуществляет циклический мониторинг над объектом пожара, тем самым обеспечивает должностные лица на пожаре всей необходимой информацией при крупных пожарах.

Второе направление предназначено, в первую очередь, для организации и проведения мониторинга на пожарно-тактических учениях. В зависимости от тактического замысла или же обстановки на крупном пожаре создается ряд участков тушения пожара (секторов). Используя алгоритм оценки важности задач организации мониторинга крупного пожара, оператор БПЛА сможет определить важность задач, решаемых на участках тушения пожаров, и выполнить их ранжирование. Основываясь на многопараметрический выбор, оператор определяет множество вариантов по применению мобильных средств мониторинга

в рациональной иерархии, благодаря чему происходит сокращение времени на принятие обоснованного решения. Далее после выбора наилучшей траектории мобильных средств реализуется выбор необходимого количества средств мониторинга (с учетом резерва) в зависимости от имеющихся средств мониторинга на вооружении пожарно-спасательного гарнизона и осуществляется циклический мониторинг над заданным объектом.

4.2.1 Программная реализация мониторинга крупных пожаров мобильными средствами

При реализации процедур по первому направлению программный комплекс имеет следующий вид (рисунок 4.4 а, б):



а) блоки ввода данных и построения маршрутов

Блок 4

Траектория:

Участок:	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-0
Длина, м:	80	111	142	112	68	1

Тип БПЛА:

Выбор модели БПЛА:

Блок 5

Наименование	Ожидаемое время работы	Среднее время работы	P=0.25	P=0.5	P=0.75	P=0.99
DJI PHANTOM 4 ADVANCED	30	15	4.3	10.4	20.8	34.5

Масса полезной нагрузки, кг: 0.5
 Время работы БПЛА, ч: 30
 Максимальная высота БПЛА, м: 6000
 Радиус действия радиоканала, км: 7
 Время оперативного реагирования, мин: 3

$T_1 = 2$ $T_2 = 20$ $T_3 = 2$ $T_4 = 10$

Количество БПЛА = 2

Блок 6

б) расчетные блоки и блок результата

Рисунок 4.4 – Интерфейс программного комплекса процедур поддержки управления при мониторинге пожаров

Первый блок предназначен для ввода данных: загрузка подложки (расположение объекта мониторинга на местности (спутниковые карты, 3D-карты объекта, схемы объекта)); определение масштаба на загруженной подложке.

Во втором блоке происходит построение маршрутов полета БАС над заданным объектом. Нанесение на подложку схемы полета БВС возможно осуществлять в произвольном порядке, но рекомендуется для должностных лиц опираться на блок №3.

В третьем блоке представлена рекомендательная информация для должностных лиц о построении маршрутов полета БВС при осуществлении мониторинга крупных пожаров. В данном блоке находится набор шаблонов, схемы которого применимы под мониторинг определенного объекта (таблица 4.1).

Четвертый блок является информационным. В блоке указываются числовые данные о протяженности маршрутов полета БВС, в дальнейшем необходимые для подсчета количества БВС при осуществлении мониторинга по заданному маршруту.

В пятом блоке происходит выбор средств мониторинга на основе беспилотных авиационных систем, которыми возможно осуществление мониторинга над заданным объектом. Выбор беспилотного летательного аппарата происходит из базы данных [37]. Также в данном блоке представлена вероятностная модель времени работы беспилотных авиационных систем (показательный закон непрерывной случайной величины времени работы БВС).

В шестом блоке реализованы процедуры применения теоретических результатов расчета необходимого количества средств мониторинга на основе беспилотных авиационных систем.

Для работы с программным комплексом необходимо открыть системный файл, после чего открывается следующий интерфейс программы (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 – Интерфейс программного комплекса

В зависимости от поставленной задачи оператор выбирает нужное окно в следующей вкладке (рисунок 4.6):



Рисунок 4.6 – Выбор режима работы программы

Вкладка «Мониторинг» выполняет комплекс задач, направленный на построение маршрутов движения БВС при мониторинге крупного пожара над заданным объектом и определении необходимого количества средств мониторинга (с учетом резерва) для поддержания качественного информационного обеспечения должностных руководящих лиц на пожаре.

Вкладка «Прогнозирование» необходима для планирования применения мобильных средств мониторинга при отработке пожарно-тактических учений и в дальнейшем для успешной реализации на крупных пожарах. Функционал программного средства позволяет произвести многопараметрический выбор наилучшего маршрута движения МСМ и предоставить лицу, принимающему решение, выбор вариантов в ранжированном порядке. Программный комплекс выбирает наиболее оптимальную траекторию полета БВС при мониторинге и определяет количество БВС для совершения непрерывного и качественного информационного обеспечения должностных лиц.

Программный комплекс состоит из двух основных блоков: информационного и аналитического (рисунок 4.7).

Информационный блок включает в себя вкладки «Выбрать файл», «Шаблоны», а также вкладку о масштабировании карты.

Аналитический блок включает в себя поле построения маршрутов движения БВС при осуществлении воздушного мониторинга. Далее находится поле данных в виде «информационной доски» о значениях длины маршрута. Также в аналитическом блоке находится поле выборы средств мониторинга на основе беспилотных авиационных систем и информационное поле, содержащее в себе вероятностные значения времени работы БВС. Завершающим полем является область определения необходимого количества средств БВС для совершения воздушного мониторинга.

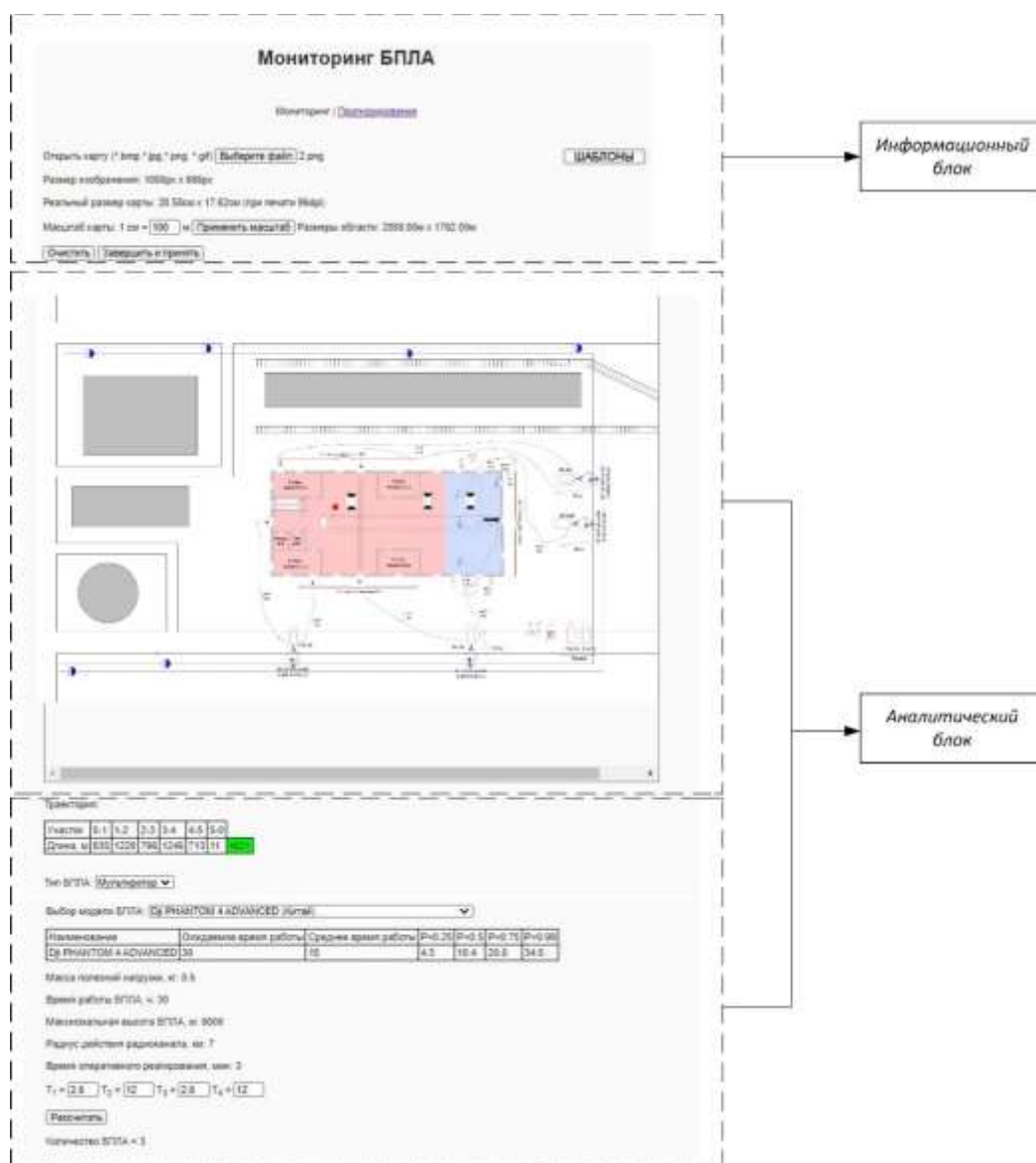


Рисунок 4.7 – Информационный и аналитический блоки программы

Вкладка «Выбор файла» позволяет загрузить подложку в программу, которая реализуется в виде схем объекта, снимков со спутника, 3D-карт объекта в форматах *.bmp, *.jpg, *.png, *.gif (рисунок 4.8).

Вкладка «Шаблоны» предназначена для информационной поддержки оператора БПЛА при построении маршрутов полета БВС. В данной вкладке указаны основные траектории полета БВС при совершении воздушного мониторинга [47]. Данные шаблоны предназначены для построения оптимальных траекторий полета БВС, что, в свою очередь, обеспечивает выполнение

качественного, надежного, информативного воздушного мониторинга. Описательная часть шаблонов представлена в таблице 4.1.

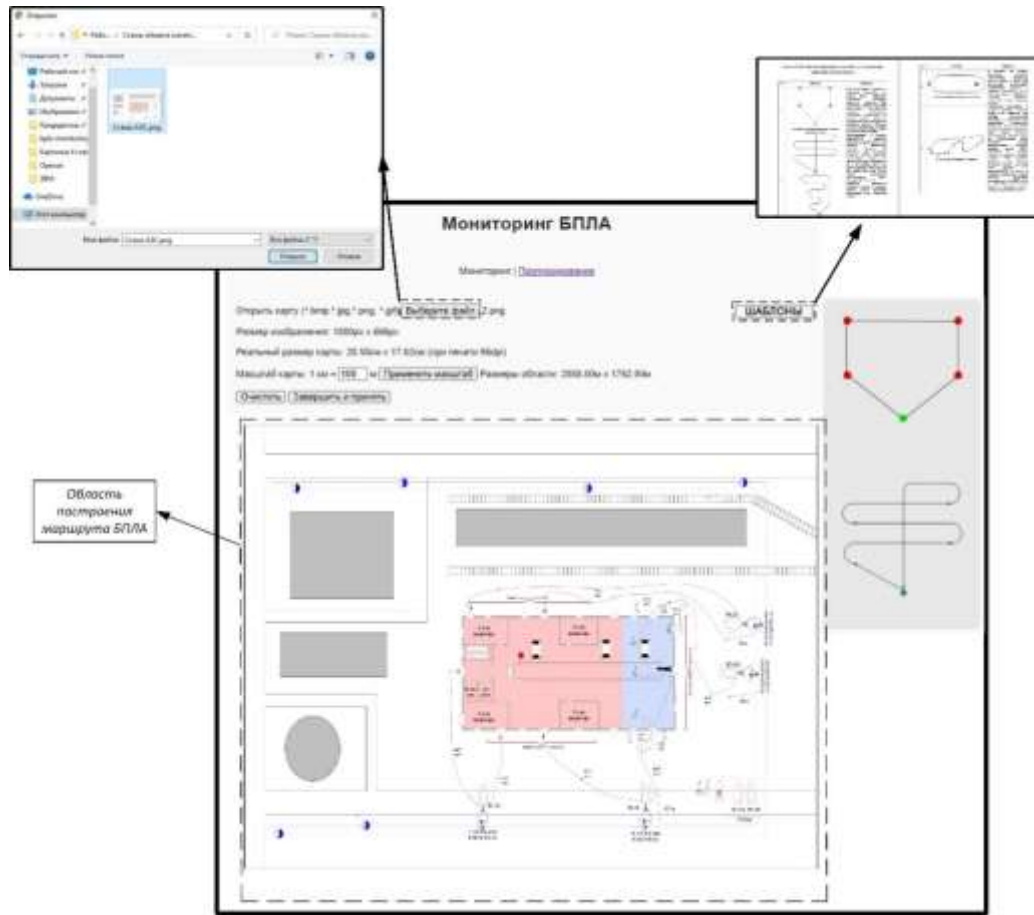
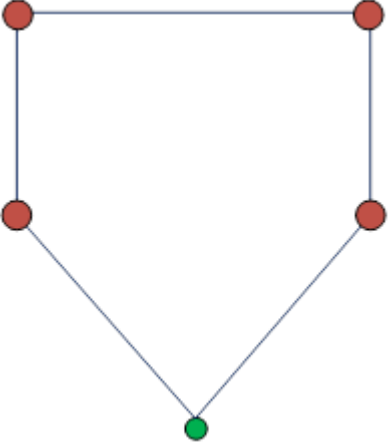
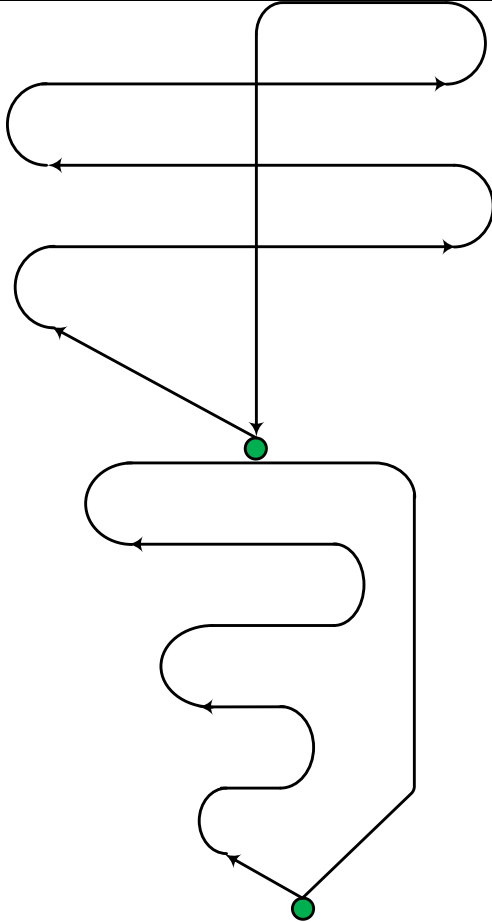
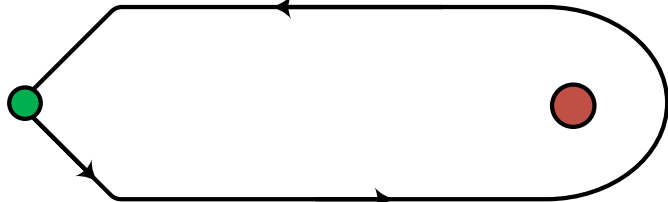
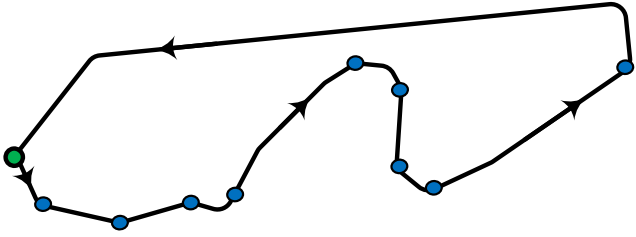


Рисунок 4.8 – Основные вкладки программного комплекса

Таблица 4.1 – Шаблоны траекторий полетов БВС при реализации на различного рода объекты

Шаблон	Описание
 <p data-bbox="228 1989 911 2049">Кольцевой замкнутый маршрут облета заданного района</p>	<p data-bbox="959 1601 1513 2004">В случае мониторинга объектов с большими площадями для облета БПЛА используют технологию кольцевого замкнутого маршрута. Преимущества данной технологии мониторинга: оперативность, проведение мониторинга не требует большого количества времени и простота планирования полетного задания, а также скорость обработки результатов мониторинга</p>

Продолжение таблицы 4.1

 <p>Прямолинейные и взаимно параллельные маршруты осмотра заданных участков местности</p>	<p>Данные маршруты можно использовать при аэрофото- и видеосъемке участков местности. Оператор должен учитывать максимальную ширину поля зрения фото или видеокамеры БПЛА на заданной высоте полета. Прокладка маршрута осуществляется так, чтобы края камеры перекрывали просмотренную полосу примерно на 15% – 20%.</p> <p>В качестве примера маршрута можно использовать при мониторинге зоны заражения АХОВ</p>
 <p>Выход к заданному объекту и его облет</p>	<p>В условиях, при которых необходимо уточнение определенных параметров объекта облета, а также при мониторинге определенных стационарных объектов с данными координатами, когда требуется только уточнение их состояния, применяют технологию облета заданного объекта</p>
 <p>Способ облета линейного объекта</p>	<p>Система мониторинга с облетом линейных объектов лучше всего подходит для использования при условии однозначности координат их положения или направления движения. Это может быть контроль ледовой обстановки в реках, оценка состояния трубопроводов или сопровождение колон наземных команд пожаротушения и спасения. С помощью маршрута полета БПЛА можно разбить его на отдельные участки, границы которых являются точками координат поворотов или изломов линейного объекта.</p>

Продолжение таблицы 4.1

	В конце маршрута БВС, он разворачивается и летит в обратном направлении. По расчетам, план разворота должен быть рассчитан так, чтобы БВС после его выполнения «по прямой» вышел в начальную точку маршрута выполнения задачи
--	---

После того, как оператор загрузил подложку необходимого объекта, установил масштаб и выбрал наиболее подходящий маршрут, на схему наносится траектория полета БВС (рисунок 4.9). После этого программа просчитывает длину маршрута от точки взлета до точки зависания и всю длину полета целиком.

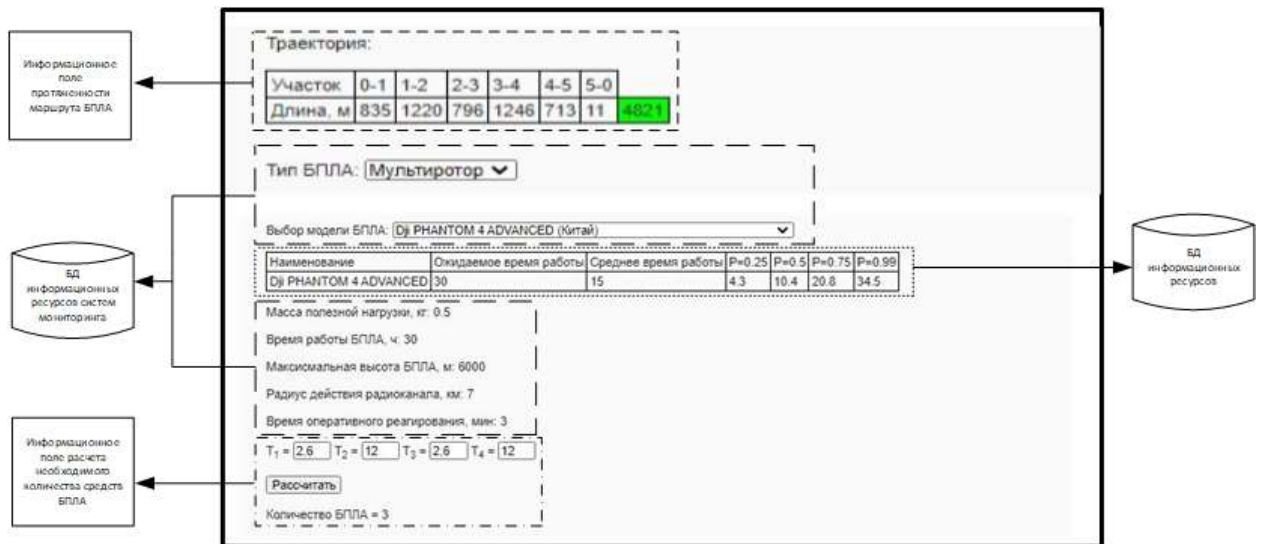


Рисунок 4.9 – Аналитический блок программного комплекса

Информационные ресурсы о беспилотных летательных аппаратах, их основные тактико-технические характеристики и вероятностные значения времени работы БАС восполняются из электронных баз данных [35, 37].

Информационное поле расчета необходимого количества средств БВС основано на полученных теоретических результатах моделей качества мониторинга. Здесь в поля T_1 , T_2 , T_3 , T_4 оператор БПЛА вносит временные показатели движения БПЛА к месту мониторинга, время зависания и мониторинг над объектом, время движения БПЛА к месту восстановления (пункт организации

мониторинга) и время восстановления средства мониторинга соответственно. После проведения расчетов программа выдает необходимое количество средств мониторинга на основе беспилотных авиационных систем с учетом резерва для мониторинга над заданным объектом.

4.2.2 Программная реализация планирования мониторинга крупных пожаров

При реализации процедур решения задач касемо планирования мониторинга крупных пожаров программный комплекс имеет следующий вид (рисунок 4.10 а, б).

В первом блоке с помощью вкладки «Выберите файл» загружается подложка, на которой в дальнейшем происходит нанесение траекторий движения БВС при проведении мониторинга. Также в данном блоке выбирается масштаб согласно загруженной карте.

Второй блок представляет из себя механизм построения траекторий движения БВС при мониторинге заданного объекта. На первом этапе на карту местности наносим «сетку» (рисунок 4.11).

Шаг «сетки» выбирается в зависимости от выбранного ранее масштаба карты. Имеется возможность графического редактирования «сетки» для лучшей наглядности.

Следующим этапом устанавливается на карте начальная точка (рисунок 4.12).

Начальная точка представляет из себя место запуска БВС, а также пункт восстановления БАС.

Опираясь на проведенные научные исследования, при построении траекторий полета БВС для проведения мониторинга каждого боевого участка (сектора) тушения пожара на карте местности устанавливаем точки, соответствующие критериям эффективности действий подразделений на пожаре [68] (рисунок 4.13 а, б).

Прогнозирование

[Мониторинг](#) | Прогнозирование

Открыть карту (*.bmp, *.jpg, *.png, *.gif) Яндекс...к мест.jpg

Размер изображения: 1364px x 846px

Реальный размер карты: 36.09см x 22.38см (при печати 96dpi)

Масштаб карты: 1 см = м Размеры: 3600м x 2200м

Шаг сетки: м Цвет сетки: Прозрачность: % Толщина линии: px Радиус точки: px

Цвет начальной точки (C₀): Прозрачность: % Радиус точки: px

C₀ = C₁ = C₂ = C₃ = C₄ = C₅ = C₆ = C₇ = Тип точки: ▾

Цвет маршрута: (измените цвет для нового маршрута) Прозрачность: % Толщина линии: px

Блок 1**Блок 2**

а) информационная часть программного комплекса

Блок 3

Таблица вероятностей:

Маршрут	P	L(m)
M1	0.60	207.1
M2	0.70	631.4
M3	0.49	554.1

Нормировка:

Маршрут	P _{норм}	L _{норм}
M1	0.66	0.37
M2	1.00	0.60
M3	0.70	0.12

Модификатор:

$\alpha = 0.9$

Маршрут	x	y
M1	0.66	0.51
M2	1.00	0.90
M3	0.70	0.64

Блок 4

Выберите маршрут:

Тип БПЛА:

Выбор модели БПЛА:

Наименование	Определяемое время работы	Среднее время работы	P=0.25	P=0.5	P=0.75	P=0.99
Microdrones Q700 m4-1000 (м)	30	6.6	20.8	41.6	69.1	

Масса полезной нагрузки, кг: 1.2

Время работы БПЛА, ч: 60 (0.5 ч)

Максимальная высота БПЛА, м: 900

Радиус действия радиоканала, км: 2

Время оперативного реагирования, мин: 10

$T_1 = 16$ $T_2 = 20$ $T_3 = 16$ $T_4 = 13$

Количество БПЛА: 4

б) аналитическая часть программного комплекса

Рисунок 4.10 – Интерфейс программного комплекса процедур поддержки управления при проведении планирования мониторинга крупных пожаров

Шаг сетки: м Цвет сетки: Прозрачность: % Толщина линии: px Радиус точки: px

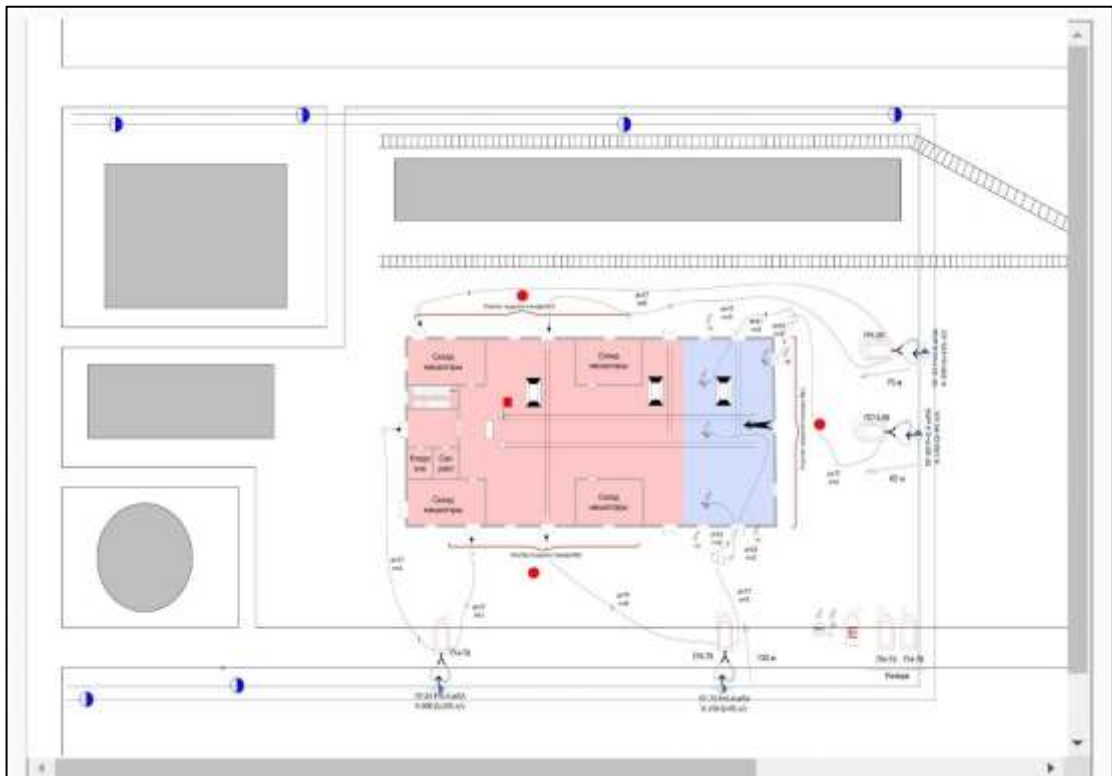
Рисунок 4.11 – Нанесение «сетки» на карту местности

Цвет начальной точки: Прозрачность: % Радиус точки: px

Рисунок 4.12 – Нанесение начальной точки на карту местности

$C_0 =$ $C_1 =$ $C_2 =$ $C_3 =$ $C_4 =$ $C_5 =$ $C_6 =$ $C_7 =$ Тип точки: ▼

а) критерии важности каждого боевого участка (сектора) тушения пожара



б) расстановка точек в зависимости от участков тушения пожара

Рисунок 4.13 – Нанесение точек мониторинга над участками (секторами) тушения

Весовые коэффициенты имеют возможность поправки в зависимости от сложившейся ситуации.

Следующим этапом происходит построение траекторий полета БВС. Начальной точкой является место запуска БПЛА (точка C_0).

Количество построенных траекторий полета зависит от участков (секторов) тушения пожара. При построении маршрута программный комплекс разбивает весь маршрут на участки, высчитывает длину каждого участка и длину всего маршрута в целом.

В третьем блоке идет процесс нормализации векторных оценок. На данном этапе происходит процедура приведения множества значений критериев к интервалу $[0; 1]$ для того, чтобы произвести визуализацию векторных оценок, а также для корректного применения процедуры ранжирования построенных маршрутов (рисунок 4.14).

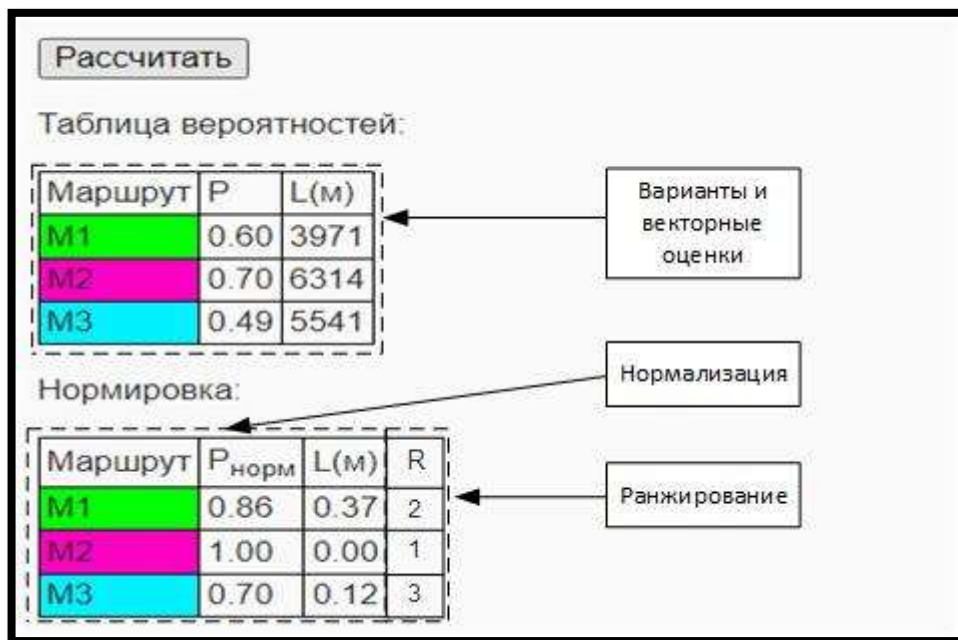


Рисунок 4.14 – Нормализация векторных оценок

После процедуры нормализации векторных оценок следует расчет информации об относительной важности и модификация векторного критерия. На данном этапе происходит учет коэффициентов важности в многокритериальном выборе путем изменения векторного критерия. В результате получается множество

векторных оценок, которые были получены при объединении исходного множества вариантов и нового векторного критерия (рисунок 4.15).

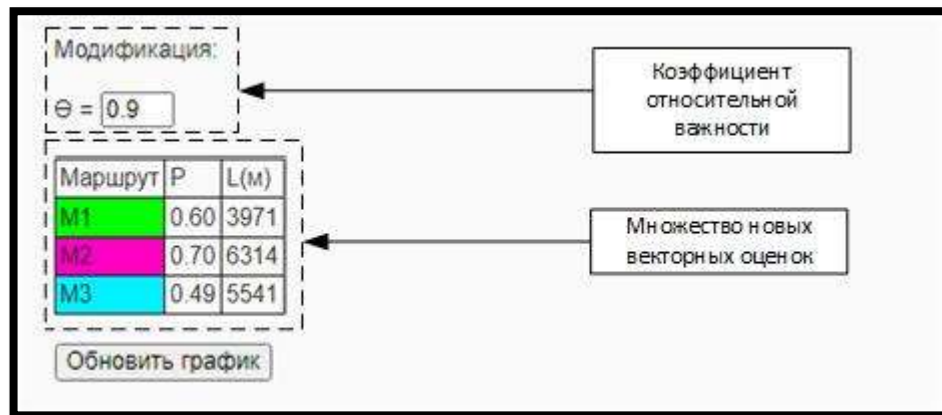


Рисунок 4.15 – Модификация векторного критерия

После проведения всех вычислений программа выдает визуализацию векторных оценок по «северо-западному углу», из которого виден наилучший маршрут полета БВС при проведении мониторинга крупных пожаров.

Четвертый блок, связанный с определением необходимого количества мобильных средств при проведении мониторинга крупных пожаров, является аналогичным с четвертым и пятым блоками программы, реализуемой по первому направлению.

Применение разработанного программного комплекса позволяет определить ряд практических рекомендаций по применению моделей и алгоритмов мониторинга крупных пожаров.

4.3 Внедрение программного комплекса в организационную структуру управления при мониторинге крупных пожаров

Современная теория управления определяет процесс планирования, организации, мотивации и контроля, необходимый для формирования и достижения целей организации. Действия, направленные на решение конкретных

задач и выполненные непосредственно в процессе управленческой работы, представляют собой ряд управленческих функций [26].

Как правило, под функцией управления понимается вид управленческой деятельности, выполняемый определенными приемами и способами, осуществляющий организацию и руководство тем или иным объектом управления. Современная теория управления представляет собой различные функции, такие как прогнозирование, планирование, организация, регулирование, координирование, учет, анализ, контроль и мотивация. Стоит отметить, что из всех вышперечисленных функций управления преобладают следующие: планирование, организация, мотивация, контроль, координация (рисунок 4.16).



Рисунок 4.16 – Основные функции управления

Данные функции управления являются общими, универсальными. Представленный набор функций управления позволяет отобразить содержание процесса управленческой деятельности, свойственное для любой организации.

Таким образом, предлагается внедрение разработанных информационно-аналитических моделей и алгоритмов в основные функции управления пожарными подразделениями, а именно:

- планирование действий по тушению пожаров;
- организация принятия решений при тушении пожаров;
- координация и контроль подразделений пожарной охраны;
- принятие решений по использованию средств мониторинга в процессе тушения крупных пожаров.

Функция планирования действий по тушению пожаров. Под планированием понимается вид управленческой деятельности, который включает в себя оценку и принятие экономических и социальных мероприятий для дальнейшего развития субъекта [26]. На сегодняшний день планирование действий по тушению пожаров подразумевает разработку документов предварительного планирования, а именно составление планов и карточек тушения пожаров. На данном этапе предлагается внедрение процедур планирования применения мобильных средств на базе беспилотных авиационных систем для осуществления мониторинга крупных пожаров.

Функция организации принятия решений при тушении пожаров. Под организацией понимается вид функции управления, которая выступает в качестве формирования эффективной структуры организации и обеспечивает ее всеми необходимыми ресурсами [26]. Процесс организации принятия правильных решений при тушении крупных пожаров в настоящее время формируется при осуществлении качественного надежного информационного обеспечения на пожарах, компетентности должностных лиц и отработки навыков и умений при проведении пожарно-тактических учений. Для принятия рациональных решений при тушении крупных пожаров и организации качественного информационного обеспечения предлагается внедрение программного комплекса для организации и применения МСМ при проведении пожарно-тактических учений и тушении крупных пожаров.

Функция координации. Координацией является функция процесса управления, обеспечивающая его бесперебойность и непрерывность [26]. Сосредоточение имеющихся сил и средств на пожаре, а также расстановка вновь прибывающей техники на сегодняшний день осуществляется на основе документов предварительного планирования и внешней разведки. Для выполнения данных задач предлагается распределение имеющихся сил и средств и пребывающих подразделений в зависимости от получаемого информационного обеспечения, от мобильных средств мониторинга.

Функция контроля. Контроль – это вид управленческой деятельности, основной задачей которого является количественная и качественная оценка и учет результатов работы организации [26]. Контроль, а именно оценка результативности действий пожарных подразделений, происходит на различных этапах, как при тушении пожара, так и при его разборе. Разбор пожара, являющийся одной из форм тактической подготовки начальствующего состава, проводится с целью: оценки противопожарного состояния объекта; разбора действий пожарных подразделений по тушению пожаров; анализа положительных и отрицательных моментов как в профилактической работе, так и в руководстве тушением пожара. Для реализации поставленных целей и оценки результативности действий пожарных подразделений как во время тушения пожара, так и при изучении пожаров предлагается применение видеоматериалов, полученных от мобильных средств мониторинга на базе беспилотных летательных аппаратов.

Принятие решений по использованию средств мониторинга в процессе тушения крупных пожаров. В настоящее время на момент прибытия группы мониторинга на тушение крупных пожаров для информационного обеспечения должностных лиц на пожаре принятие решения по количеству применяемых мобильных средств и траектории полета осуществляется на основе субъективных представлений оператора. Основываясь на личном опыте и оценив обстановку по внешним признакам, оператор выбирает количество мобильных средств и приступает к мониторингу, что зачастую не обеспечивает как руководителя тушения пожара, так и должностные лица оперативного штаба пожаротушения надлежащим информационным обеспечением на пожаре. В связи с этим предлагается внедрение системы поддержки принятия решений на основе информационно-аналитических моделей и алгоритмов в организационную структуру управления при мониторинге крупных пожаров.

Выводы по главе 4

Таким образом, в четвертой главе диссертационного исследования, заключающейся в разработке программного комплекса для информационно-аналитической системы управления мобильными средствами при мониторинге крупных пожаров, были получены следующие результаты:

1. Приведена иерархическая структура системы поддержки управления на основе мониторинга крупных пожаров. Структура системы состоит из двух основных подсистем: подсистемы многокритериального мониторинга в оперативном режиме работы и подсистемы многокритериального мониторинга на этапах планирования.

2. Произведена программная реализация программного комплекса информационно-аналитической системы управления мобильными средствами на базе беспилотных авиационных систем при мониторинге крупных пожаров. На основе данной программы ЛПР получает информационную поддержку при принятии решения о выборе средств мониторинга и реализации их по оптимальным траекториям.

3. Даны практические рекомендации по применению программного комплекса информационной поддержки при мониторинге крупных пожаров как на планирующих этапах, так и в режиме реального времени.

4. Предложено внедрение программного комплекса в основные функции управления организационной структуры при мониторинге крупных пожаров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 количественный 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 управления 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 непрерывного 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 СОКРАЩЕНИЙ

БАС	–	беспилотная авиационная система
БВС	–	беспилотное воздушное судно
БПЛА	–	беспилотный летательный аппарат
ЛПР	–	лицо принимающее решение
МСМ	–	мобильные средства мониторинга
МЧС России	–	Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
ПК	–	программный комплекс
РФ	–	Российская Федерация
СТП	–	сектор тушения пожара
УТП	–	участок тушения пожара
ЧС	–	чрезвычайная ситуация
ЭВМ	–	электронно-вычислительная машина

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, А.П. Автоматизированная система информационной поддержки принятия решений при тушении пожаров: структура и содержание информационного обеспечения / А.П. Абрамов // Пожары и окружающая среда: материалы XVII Международной науч.-практ. конф. – М.: ВНИИПО. – 2002. – С. 363-365.
2. Абросимов, В.К. Модель группового полета беспилотных летательных аппаратов в условиях чрезвычайной ситуации / В.К. Абросимов, В.И. Гончаренко, Д.И. Смирнов // Сб. тезисов докладов II Всеросс. науч.-техн. конф. «Моделирование авиационных систем». – М.: НИЦ ФГУП «Гос-НИИАС», 2013. – С. 34-35.
3. Алехин, Е.М. Проверка адекватности математических моделей процесса функционирования аварийно-спасательных служб / Е.М. Алехин, Н.Н. Брушлинский, Ю.И. Коломиец [и др.] // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 1997. – № 10. – С. 47.
4. Алешин, Б.С. Обеспечение безопасности полетов беспилотных авиационных систем в едином воздушном пространстве / Б.С. Алешин, В.Л. Суханов, В. М. Шibaев // Ученые записки ЦАГИ. – 2011. – № 6. – С. 73-83.
5. Анкутдинов, О.С. Программный комплекс информационной поддержки экипажей объектов морской техники типа ледостойких технологических платформ в аварийных ситуациях: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015611234, 26.01.2015 / О.С. Анкутдинов, С.Г. Живица, С.В. Ковальчук, М.А. Кудрин, Д.Ю. Лузгин, С.В. Шедько, Ю.М. Фишкис.
6. Антаневич, А.А. Модальное управление беспилотным летательным аппаратом / А.А. Антаневич, Ю.Ф. Икуас, А.А.Лобатый // Вестник БНТУ. – 2010. – № 5. – С. 37-40.

7. Баканов, М.О. Дистанционный мониторинг техногенных пожаров и чрезвычайных ситуаций / М.О. Баканов, Д.В. Тараканов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2018. – № 1 (373). – С. 173-177.
8. Баканов, М.О. К вопросу о резервировании и управлении беспилотными воздушными судами при мониторинге ландшафтных пожаров / М.О. Баканов, В.А. Смирнов, М.В. Анкудинов // Мониторинг. Наука и технологии. – 2016. – № 4 (29). – С. 77-79.
9. Баканов, М.О. Модель мониторинга для оперативного управления при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций / М.О. Баканов, Д.В. Тараканов, М.В. Анкудинов // Мониторинг. Наука и технологии. – 2017. – № 3 (32). – С. 77-80.
10. Баканов, М.О. Резервирование средств мониторинга природных чрезвычайных ситуаций / М.О. Баканов, М.В. Анкудинов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: Сборник статей по материалам VII Всероссийской научно -практической конференции с междунар. уч. 29-30 сент. 2016 г.: в 2-х ч. Ч. 2 / ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России. – Воронеж, 2016. – С. 10-11.
11. Барановский, Н.В. Детерминированное моделирование антропогенной нагрузки от линейного источника на лесопокрытую территорию в двумерной постановке: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018619310, 03.08.2018 / Н.В. Барановский.
12. Барановский, Н.В. Детерминированное моделирование антропогенной нагрузки от точечного источника на лесопокрытую территорию в двумерной постановке: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018660401, 22.08.2018 / Н.В. Барановский.
13. Береснев, Д. С. Информационно-аналитические модели и алгоритмы поддержки управления поисково-спасательными операциями в природной среде: автореф. дис. ... канд.техн.наук: 05.13.10 / Береснев Денис Сергеевич. – М., 2019. – 23 с.

14. Бурый, А.С. Подход к построению систем поддержки принятия решений при управлении беспилотными летательными аппаратами / А.С. Бурый, М.А. Шевкунов // Транспортное дело России. – 2015. – № 6. – С. 199-202.

15. Власов, К.С. Оценка потребности пожарных подразделений в робототехнических средствах // Актуальные проблемы пожарной безопасности: сборник материалов XXVII Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию МЧС России.– Москва: ФГБУ ВНИИПО МЧС России. – 2015. – С. 12-23.

16. Вытовтов, А.В. Видеодетектор пламени 2.0 (FD): свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018616001, 21.05.2018 / А. В. Вытовтов, А.В. Калач, В.В. Шумилин, Д.В. Русских.

17. Вытовтов, А.В. Видеодетектор разлива нефтепродуктов 1.0 (PD): свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019615393, 25.04.2019 / А. В. Вытовтов, Р.В. Баранкевич, А.В. Калач.

18. Вытовтов, А.В. Видеодетектор разлива нефтепродуктов на водной поверхности 2.0 (PD): свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019615393, 25.04.2019 / А. В. Вытовтов, Р.В. Баранкевич, П.С. Куприенко, А.В. Калач.

19. Гавкалюк, Б.В. Программный модуль Электронный справочник руководителя тушения пожара LCMS iGPSclass: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021666480, 14.10.2021 / Б.В. Гавкалюк, А.С. Смирнов, А.А. Горбунов, А.Ю. Лебедев, И.М. Степанов, Е.А. Баталов, И.В. Левахин, С.Е. Золотарев, Д.В. Зиннатов, Е.Н. Карезина, Д.М. Логинова.

20. Герасимов, П.К. Автоматизированная система управления беспилотными летательными аппаратами / П.К. Герасимов, Д.А. Егоров // Сборник материалов международной научно-технической конференции. INTERMATIC. – Москва. – 2014. – С. 126-129.

21. Глобальный обзор индустрии БПЛА в 2020: что на повестке дня [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://russiandrone.ru/publications/globalnyy-obzor-industrii-bpla-v-2020-chto-na-rovostke-dnya/> (дата обращения: 30.01.2020).

22. Гончаренко, В.И. Мониторинг лесных пожаров группой беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс] / В.И. Гончаренко, ЛуоЛэ, М.Ю. Прус // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 4 (62). – С. 154-163
Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-4/05-04-15.ttb.pdf> (дата обращения: 01.04.2020).

23. Гринченко, Б.Б. Многофакторный мониторинг динамики пожара в зданиях текстильной промышленности / Б.Б. Гринченко, А.В. Кузнецов, Д.В. Тараканов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 4 (382). – С. 153-159.

24. Гринченко, Б.Б. Программное средство для оценки параметров работы газодымозащитного оборудования при пожарах и чрезвычайных происшествиях: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020612223, 19.02.2020 / Б.Б. Гринченко.

25. Данилов, П.В. Прогнозирование последствий лесных пожаров: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660088, 22.06.2021 / П.В. Данилов, О.Г. Зейнетдинова, К.В. Жиганов.

26. Демидовец, В.П. Функции управления. Тема 3: тексты лекций для студентов экономических специальностей / В.П. Демидовец. – Москва, 2010. – 9 с.

27. Дрожжин, Н.А. Forecast of number of forest fires: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014619455, 16.09.2014 / Н.А. Дрожжин, М.И. Костенчук, Р.Л. Белоусов.

28. Дрожжин, Н.А. System for operational forecasting forest fires: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017616208, 02.06.2017 / Н.А. Дрожжин, А.В. Рыбаков, Р.Л. Белоусов, С.А. Чистяков.

29. Ибадулаев, Д.В. Программный комплекс «ТБ-Мониторинг»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017611801, 09.02.2017 / Д.В. Ибадулаев, С.Л. Кузнецов, И.В. Степанов, С.В. Филиппов.

30. Ключников, А.Б. Constanta-SMIS: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018664984, 27.11.2018 / А.Б. Ключников, К.М. Любимов, А.С. Кулагин, С.Д. Горчилин.

31. Костылев, Д.Н. Расчет потребности сил и средств для ведения АСНДР при землетрясениях: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020614759, 24.04.2020 / Д.Н. Костылев, П.В. Данилов, Е.Р. Субботин.

32. 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. 18-23.

33. Кузнецов, А.В. Алгоритмы синтеза данных по беспилотным авиационным системам для информационной поддержки управления при ликвидации ЧС / А.В. Кузнецов, М.О. Баканов, Д.В. Тараканов // Актуальные вопросы естествознания: сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 30-летию МЧС России. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. – С. 297-305.

34. 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.

35. 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.

36. Кузнецов, А.В. Информационные ресурсы системы мониторинга крупных пожаров на объектах энергетики / А.В. Кузнецов, Д.В. Тараканов, М.О. Баканов, А.В. Суровегин // Современные проблемы гражданской защиты. – 2020. – № 4 (37). – С. 24-32.

37. 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. Суворегин, М.О. Баканов, Д.В. Тараканов.

38. 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. 76-84.

39. 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.152-157.

40. Кузнецов, А.В. Модели качества дистанционного мониторинга техногенных пожаров и чрезвычайных ситуаций / А.В. Кузнецов, М.О. Баканов, Д.В. Тараканов, А.В. Суворегин // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 401-402.

41. Кузнецов, А.В. Модели качества мониторинга пожаров и чрезвычайных ситуаций с учетом специфики их развития / А.В. Кузнецов, М.О. Баканов, Д.В. Тараканов [и др.] // Мониторинг. Наука и Технологии, – 2018. – № 3 (36). – С. 51-53.

42. Кузнецов, А.В. Модели комплексной оценки мониторинга крупных пожаров с использованием беспилотных авиационных систем: монография / Кузнецов А.В., Топольский Н.Г., и др.; под общ. ред. Н.Г. Топольского. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. – 128 с

43. Кузнецов, А.В. Модели мониторинга природных пожаров и чрезвычайных ситуаций / А.В. Кузнецов, М.О. Баканов, Д.В. Тараканов // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XIII Международной

научно-практической конференции. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 307-309.

44. Кузнецов, А.В. Модель планирования резервных средств мониторинга затяжных природных пожаров / А.В. Кузнецов, М.О. Баканов, Д.В. Тараканов // Актуальные вопросы пожаротушения сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 54-57.

45. Кузнецов, А.В. Модель циклического мониторинга крупных пожаров и поисково-спасательных работ [Текст] / А.В. Кузнецов // Современные проблемы гражданской защиты. - 2021. – 4 (41). – С. 18 – 23.

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

47. Кузнецов, А.В. Особенности мониторинга чрезвычайной ситуации беспилотными летательными аппаратами с учетом построения маршрутов облета территории / А.В. Кузнецов, М.О. Баканов // Пожарная и аварийно-спасательная техника: проблемы и перспективы развития: сборник материалов межкафедрального научно-практического семинара. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 27-29.

48. Кузнецов, А.В. Особенности обработки и получения фотоинформации с использованием беспилотных авиационных систем / А.В. Кузнецов, М.О. Баканов // Системы безопасности – 2019: материалы 27 Международной научно-технической конференции. – М.: АГПС МЧС России, 2019. – С. 235-238.

49. 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. 48-51.

50. 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.

51. 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.

52. 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.

53. 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.

54. Кузнецов, О.П. Интеллектуализация поддержки управляющих решений и создание интеллектуальных систем / О.П. Кузнецов // Проблемы управления. – 2009. – № 3.1. – С. 64-72.

55. Кульба, В.В. Автоматизированные информационно-управляющие системы социально-экономических и организационных структур / В.В. Кульба, С.А. Косяченко, В.Н. Лебедев // Проблемы управления. – 2009. – № 3.1. – С. 73-86.

56. Лазарев, И.А. Система мониторинга зданий и сооружений: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014618023, 07.08.2014 / И. А Лазарев, А.Б. Моденов, А.Г. Степанов.

57. Логачев, А.А. Веб-приложение для выявления аномальных значений в данных мониторинга, используемых для прогнозирования лесных пожаров:

свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017662036, 26.10.2017 / А.А. Логачев, А.М. Заяц, Н.А. Дмитриенко.

58. Лупян, Е.А. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз): свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013617359, 09.08.2013 / Е.А. Лупян, Е.В. Флитман, М.А. Бурцев, А.А. Прошин, А.А. Мазуров, А.М. Матвеев, Д.Е. Плотников, И.В. Балашов, В.А. Толпин, В.Ю. Ефремов, А.С. Мамаев.

59. Матюшин, А.В. Информационно-аналитическое обеспечение деятельности оперативных подразделений пожарной охраны / А.В. Матюшин, А.А. Порошин, Е.В. Бобринев [и др.] // Пожарная безопасность. – 2005. – №3. – С. 45-52.

60. Мельник, А.А. Оперативное планирование: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014661556, 30.10.2014 / А.А. Мельник, П.А. Осавелюк, Н.В. Мартинович.

61. Муйкич Э. Применение БПЛА для получения информации об обстановке в зоне очага возгорания / Э. Муйкич, В.В. Татаринцов // Будущее машиностроения России: материалы 9 Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2016. – С. 507-510.

62. Онов, В.А. Модель информационной поддержки принятия решения при оценке деятельности сотрудников МЧС России / В.А. Онов, Н.В. Остудин, Д.П. Сафонов, А.Ю. Иванов // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, №2. – С. 5–13.

63. Остудин, Н.В. Методологические основы анализа рисков возникновения природных пожаров на основе данных космического мониторинга / Н.В. Остудин, С.Ю. Бутузов // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2020. – №3. – С. 117-126.

64. Остудин, Н.В. Модель принятия решений по реагированию на чрезвычайные ситуации при децентрализованной структуре управления / Н.В. Остудин // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). – 2018. – №1 (25). – С. 5-11.

65. Петров, И.К. Система раннего обнаружения и поддержки принятия управленческих решений при охране лесов от пожаров «ИЛЬМ»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014619528, 18.09.2014 / И.К. Петров, Д.А. Назовцев, И.А. Успенский, Б.В. Радель, А.Д. Лаптев.

66. Пицык, В.В. Модель прогнозирования нестационарного состояния измерительной техники с параметрическими отказами / В.В. Пицык // Метрология. – 2010. – № 3. – С. 3-15.

67. Пицык, В.В. Обоснование метрологических характеристик информационных компонентов систем пожарной автоматики / В.В. Пицык, Л.В. Суховерхова, Д.В. Тараканов [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2015. – № 3. – С. 45-51.

68. Подгрушный, А.В. Совершенствование управления боевыми действиями пожарных подразделений на основе их тактических возможностей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Подгрушный Александр Васильевич. – Москва, 2004 – 24 с.

69. Пожары и пожарная безопасность в 2016 году: Статистический сборник / под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2017. – 124 с.

70. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статист. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. – 114 с.

71. Половинчук, Н.Я. Алгоритм терминально – оптимального управления беспилотным летательным аппаратом / Н.Я. Половинчук, С.В. Иванов, В.И. Тимофеев // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2017. – №1. – С.13-17.

72. Ростопчин, В.В. Элементарные основы оценки эффективности применения беспилотных авиационных систем для воздушной разведки [Электронный ресурс] / В.В.Ростопчин. – Режим доступа:<http://www.uav.ru>. (дата обращения: 01.04.2020).

73. Самарин, И.В. Программа для прогнозирования готовности единиц противопожарного оборудования АСУТП на предприятиях ТЭК: свидетельство о

государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019616672, 28.05.2019 / И.В. Самарин.

74. Семенов, А.О. Модель развития пожаров на открытом пространстве с использованием клеточного автомата: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018666496, 18.12.2018 / А.О. Семенов, Н.Г. Топольский, К.А. Михайлов.

75. Семенов, А.О. Руководство по повышению эффективности действий подразделений пожарной охраны при ликвидации пожаров на начальных этапах развития в зданиях с использованием информации от мониторинговых систем поддержки управления / А.О. Семенов, Д.В. Тараканов, М.О. Баканов [и др.]. – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2017. – 35 с.

76. Ситников, О.В. Арсенал. Прогнозирование динамики развития пожаров на арсеналах и складах хранения средств поражения: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019615171, 19.04.2019 / О.В. Ситников, В.С. Никитин.

77. Соколов, С.В. Оценка влияния сроков эксплуатации зданий жилого назначения на последствия от пожара / С.В. Соколов, Д.В. Костюченко // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2014. – № 1. – С. 64-69.

78. Соловьев, В.Н. Программный комплекс УСМ-СМИС: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021668366, 15.11.2021 / В.Н. Соловьев.

79. Степанов, О.И. Расчет сил и средств для пожаротушения в зданиях с низкой устойчивостью при пожаре: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016618567, 02.08.2016 / О.И. Степанов, А.Н. Денисов, Д.А. Логвинок.

80. Суцев, С.П. Информационно-аналитическая система по оценке риска чрезвычайных ситуаций от природных и техногенных опасностей, пожарной безопасности, формированию группировки сил и средств и поддержки принятия решений по защите населения и территорий при проведении массовых мероприятий с интеграцией в АИУС РСЧС-2030 (на примере городов Чемпионата

Мира по футболу 2018 года): свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018610029, 09.01.2018 / С.П. Суцев, В.И. Ларионов, М.А. Козлов, А.Н. Угаров.

81. Тараканов, Д.В. Компьютерная модель ликвидации пожаров для тактической подготовки пожарных [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов, И.Ф. Саттаров // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 6 (58). – С. 14. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-6/07-06-14.ttb.pdf> (дата обращения: 01.04.2020).

82. Тараканов, Д.В. Компьютерная система моделирования параметров работы газодымозащитной службы на пожаре: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015612884, 26.02.2015 / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов, М.В. Илеменов.

83. Тараканов, Д.В. Компьютерное моделирование процессов развития и тушения пожаров в зданиях [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов, М.В. Илеменов // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 5 (57). – С. 15. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-5/38-05-14.ttb.pdf> (дата обращения: 01.04.2020).

84. Тараканов, Д.В. Метод модификации векторного критерия в системе поддержки принятия решения при тушении крупного пожара [Электронный ресурс] / Д.В. Тараканов // Технологии техносферной безопасности. – 2010. – №2 (30). – С. 1. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2010-2/01-02-10.ttb.pdf> (дата обращения: 01.04.2020).

85. Тараканов, Д.В. Программа для моделирования работы системы поддержки управления ликвидацией пожаров в зданиях: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016614747, 04.05.2016 / Д.В. Тараканов.

86. Тараканов, Д.В. Программа для оперативного прогнозирования динамики пожара в здании по данным мониторинга температурных полей: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015612865, 26.02.2015 / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов.

87. Тараканов, Д.В. Программное средство для разработки электронных документов предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015612925, 26.02.2015 / Д.В. Тараканов, М.В. Илеменов.

88. Тараканов, Д.В. Совершенствование модели качества мониторинга крупных пожаров и чрезвычайных ситуаций / Д.В. Тараканов, М.О. Баканов // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2018. – № 1 (26). – С. 91-95.

89. Татаринов, В.В. Применение беспилотных летательных аппаратов для получения информации о природных пожарах / В.В. Татаринов, А.Н. Калайдов, Э. Муйкич // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 1 (71). – С. 160-168.

90. Тербнев, В.В. Методика принятия управленческих решений при тушении пожара в условиях многокритериальности / В.В. Тербнев, В.А. Грачев, Д.В. Тараканов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2009. – № 4. – С. 35-43.

91. Толкачев, Я.М. Программа для мониторинга и прогнозирования развития лесных пожаров: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611016, 18.01.2022 / Я.М. Толкачев, Е.В. Константинов, А.А. Вернак, Н.К. Пожидаев, И.А. Мальцев.

92. Томаков, М.В. Методика технико-экономического обоснования противопожарных мероприятий: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616210, 17.06.2014 / М.В. Томаков, И.А. Томакова, С.Ю. Гуляева, В.Б. Журавлев, А.А. Кислинский, Е.В. Курашов, Е.Н. Политов.

93. Топольский, Н.Г. Методы, модели и алгоритмы в системах безопасности: машинное обучение, робототехника, страхование, риски, контроль: монография / Н.Г. Топольский, В.Я. Вилисов; под общей ред. д-ра техн. наук, профессора Н.Г. Топольского – Москва : РИОР, 2021 – 475 с.

94. Топольский, Н.Г. Многокритериальная модель мониторинга пожара в здании для управления пожарно-спасательными подразделениями / Н.Г.

Топольский, Д.В. Тараканов, М.О. Баканов // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27. – № 5. – С. 26-33.

95. Топольский, Н.Г. Теоретические основы поддержки управления пожарными подразделениями на основе мониторинга динамики пожара в здании: монография / Под общей ред. д-ра техн. наук, профессора Н.Г. Топольского – М.: Академия ГПС МЧС России, 2019 – 320 с.

96. Трегубова, В.И. Программное обеспечение для моделирования ликвидации ЧС и оценки вариантов развития событий на критически важных для национальной безопасности страны объектах в рамках создания НЦУКС «Расчет»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020611817, 11.02.2020/ В.И. Трегубова, В.В. Ильичев, К.С. Власов.

97. Фоменко, А.А. Управление группой беспилотных летательных аппаратов при мониторинге лесных пожаров / А.А.Фоменко // Научное обозрение. – 2013. – № 4. – С. 137-143.

98. Ханис, Н.А. Программа для прогнозирования опасных факторов пожара в информационной системе мониторинга возникновения и развития пожароопасной ситуации в дата-центре на основе нейронных сетей: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017614845, 27.04.2017 / Н.А. Ханис, С.Ю. Сазонов, Е.А. Титенко, С.Н. Фролов, Е.О. Фролова, В.А. Ханис, Р.А Приходько.

99. Чистякова, А.А. ППБ для населения, распределенного по группам риска: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022612691, 28.02.2022 / А. А Чистякова, В.А. Сидоркин, А.Б. Курицын, Л.Г. Кондратьева, К.В. Домрачев, П.В. Клочков, Т.Г. Скибневская.

100. Шевченко, О.Ю. Использование беспилотных летательных аппаратов для ведения мониторинга использования территорий / О.Ю. Шевченко, А.Б. Боричевский // Экономика и экология территориальных образований. – 2015. – №3. – С. 150-152.

101. Шегельман, И.Р. Некоторые направления использования беспилотных аппаратов и роботизации при мониторинге и тушении лесных пожаров / И.Р.

Шегельман, Г.В. Ключев // Актуальные направления научных исследований: перспективы развития: материалы II Междунар. науч.–практ. конф. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2017. – С. 207-209.

102. Шихалев, Д.В. Информационная система непрерывного мониторинга пожарного риска в здании: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021616445, 21.04.2021 / Д.В. Шихалев.

103. Chengzhi, Q. A novel reinforcement learning based grey wolf optimizer algorithm for unmanned aerial vehicles (UAVs) path planning / Q. Chengzhi, W. Gai, M. Zhong [et al.] // Applied Soft Computing Journal. – 2020. – doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106099>

104. Dollar, P. Behavior recognition via sparse spatio-temporal features / P. Dollar, V. Robaud, G. Cottrell [et al.] // 14 International Conference on Computer Communications and Networks, IEEE Computer Society. Washington, DC, USA, 2005. – P. 65-72.

105. Doretto, G. Dynamic textures / G. Doretto, A. Chiuso, Y.N. Wu [et al.] // International Journal of Computer Vision. – 2003. – Vol. 51 (2). – P. 91-109.

106. François, Q. Use of Co-operative UAVs to Support/Augment UGV Situational Awareness and/or Inter-Vehicle Communications / Q. François, S. Iovino, A. Savvaris [et al.]. – IFAC (International Federation of Automatic Control) Hosting by Elsevier Ltd, 2017.

107. Hong, L. UAV route planning for aerial photography under interval uncertainties / L. Hong, L. Mu, D. Luyan // Elsevier. – 2016. – doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.06.117>

108. 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 / A.V. Kuznetsov, D.V. Tarakanov, V. Prajova, M.O. Bakanov [et al.] // Science Journal. – 2020. – P. 4040-4044. – doi: 10.17973/MMSJ.2020_10_2020059

109. Mendonca, D. Designing Gaming Simulations for the Assessment of Group Decision Support Systems in Emergency Response / D. Mendonca // Safety Science. – 2006. – P. 120-126.

110. Pyataeva, A. Spatio-temporal smoke clustering in outdoor scenes based on boosted random forests / A. Pyataevam M. Favorskaya, A. Popov // *Procedia Computer Science*. – 2016. – Vol. 96. – P. 762-771.
111. Renshaw, G. *Maths for Economics* / G. Renshaw. – New York: Oxford University Press, 2005. – P. 516-526.
112. Sung, Y.K. Mobile analytics for emergency response and training / Y.K. Sung, R. Maciejewski, K. Ostmo [et al.] // *Ebert. Information Visualization*. – 2008. – Vol. 7. – P. 77-88.
113. Tiejun, Ch. A Group Decision Making Methodology for Emergency Decision / T. Cheng, F. Wu, Y. Chen // *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*. –2013 – Vol. 10(3). – P. 151-157.
114. Wolfram, S. *Theory and applications of cellular automata: (including selected papers 1983–1986)* / S. Wolfram. – Singapore: World Scientific, 1986. – 290 p.
115. Zimmerman, D. *Fire Fighter Safety and Survival* / D. Zimmerman. – Jones & Bartlett Learning, 2013.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Статистические данные о количестве применяемой техники для тушения пожаров
в период с 2012 по 2021 гг.

Таблица А1 - Статистические данные о количестве применяемой техники для тушения пожаров за 2012-2021 гг.

Число единиц пожарной техники	Количество пожаров																			
	2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
	ед.	%	ед.	%	ед.	%	ед.	%	ед.	%	ед.	%	ед.	%	ед.	%	ед.	%	ед.	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	40209	24,68	37372	24,35	33434	22,17	32920	22,56	31055	22,27	29772	22,41	26860	20,37	287878	61,07	241862	55,06	192376	49,23
2	59942	36,79	56740	36,97	56324	37,35	56051	38,41	55419	39,73	53179	40,03	54004	40,96	110168	23,37	117458	26,74	113744	29,11
3	24850	15,25	23300	15,18	24390	16,17	23043	15,79	21544	15,45	20916	15,74	21737	16,49	32607	6,92	34685	7,89	37097	9,49
4	11173	6,86	10513	6,85	10934	7,25	10323	7,07	9613	7,04	8911	6,71	9908	7,52	13086	2,78	12951	2,95	14973	3,83
5	5212	3,20	4749	3,09	5008	3,32	4615	3,16	4345	3,12	4188	3,15	4617	3,50	5665	1,20	6302	1,43	7139	1,83
6	2622	1,61	2430	1,58	2460	1,63	2296	1,57	2168	1,55	2121	1,60	2303	1,75	2788	0,59	3212	0,73	3609	0,92
7	1501	0,92	1398	0,91	1442	0,96	1360	0,93	1300	0,93	1115	0,84	1338	1,01	1574	0,33	1769	0,40	2141	0,55
8	960	0,56	896	0,58	935	0,62	843	0,58	828	0,59	792	0,60	857	0,65	1001	0,21	1062	0,24	1257	0,32
9	586	0,36	572	0,37	603	0,40	537	0,37	484	0,35	451	0,34	522	0,40	630	0,13	654	0,15	822	0,21
10	362	0,22	410	0,27	399	0,26	355	0,24	318	0,23	282	0,21	348	0,26	408	0,09	447	0,10	560	0,14
11	292	0,18	276	0,18	296	0,20	270	0,19	261	0,19	195	0,15	265	0,20	377	0,08	331	0,08	407	0,10
12	196	0,12	200	0,13	223	0,15	178	0,12	162	0,12	128	0,10	161	0,12	204	0,04	188	0,04	226	0,06
13	110	0,07	102	0,07	150	0,10	116	0,08	115	0,08	92	0,07	102	0,08	120	0,03	146	0,03	162	0,04
14	96	0,06	89	0,06	106	0,07	87	0,06	81	0,06	58	0,04	66	0,05	84	0,02	104	0,02	107	0,03
15	65	0,04	38	0,02	60	0,04	54	0,04	54	0,04	46	0,03	39	0,03	68	0,01	63	0,01	59	0,02
Более 15	163	0,10	159	0,10	220	0,15	183	0,13	135	0,10	129	0,10	173	0,13	221	0,05	211	0,05	262	0,07
Не использовалась	14590	8,96	14222	9,27	13820	9,16	12709	8,71	11393	8,17	10469	7,88	8540	6,48	14547	3,09	17881	4,07	15823	4,05

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Листинг программы для ЭВМ «Программное обеспечение для информационно-аналитической системы управления беспилотными авиационными системами при мониторинге крупных пожаров» и фрагмент базы данных «Информационные ресурсы для планирования мониторинга пожаров и чрезвычайных ситуаций с применением беспилотных авиационных систем»

```
<html>
```

```
<head>
```

```
  <meta charset="UTF-8">
```

```
  <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=UTF-8">
```

```
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
```

```
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="index.css">
```

```
  <script type="text/javascript" src="jquery-3.5.1.min.js"></script>
```

```
  <script type="text/javascript" src="multirotors.js"></script>
```

```
  <script type="text/javascript" src="planes.js"></script>
```

```
  <script type="text/javascript" src="helicopters.js"></script>
```

```
  <script type="text/javascript" src="multirotorsp.js"></script>
```

```
  <script type="text/javascript" src="planesp.js"></script>
```

```
  <script type="text/javascript" src="helicoptersp.js"></script>
```

```
  <link rel="manifest" href="/manifest.json">
```

```
<script>
```

```
if ('serviceWorker' in navigator) {
```

```
  window.addEventListener('load', function() {
```

```
    navigator.serviceWorker.register('/sw.js').then(function(registration) {
```

```
      // Registration was successful
```

```
      console.log('ServiceWorker registration successful with scope: ', registration.scope);
```

```
    }, function(err) {
```

```
      // registration failed :(
```

```
      console.log('ServiceWorker registration failed: ', err);
```

```
    });
```

```
  });
```

```
}
```

```
</script>
```

```
</head>
```

```
<body>
```

```
  <div id="main">
```

```
    <h1>Мониторинг БПЛА</h1>
```

```
    <br>
```

```
    <p align="center">
```

```
      Мониторинг | <a href="prognoz.html">Прогнозирование</a>
```

```
    </p>
```

```
    <br>
```

```
    <p>
```

```
      Открыть карту (*.bmp,*.jpg,*.png, *.gif)
```

```
      <input class="open" type="file" id="Open" required="required"
title="Необходимо выбрать минимум один файл"
      onchange="processFiles(this.files)">
```

```
    </p>
```

```
  <div id="maptxt"></div>
```

```
  <br>
```

```
  Масштаб карты: 1 см = <input type="text" id="mH" value="10" size="5"> м
```

```
  <button id="SetmH" onclick="SetmH()">Применить масштаб</button>
```

```
  <span id="size"></span>
```

```
  <br>
```

```
  <br>
```

```
  <button onclick="HideGrid()">Очистить</button>
```

```
<button onclick="M()">Завершить и принять</button>
<br>
<br>
<div id="map">
  <div id="cnv">
    <canvas id="img_canvas"></canvas>
    <canvas id="point_canvas"></canvas>

  </div>
</div>
<br>

<div id="info">
  Траектория:
  <br>
  <br>
  <table id="trajectory" class="marsh">

  </table>
  <br>
  <br>
  Тип БПЛА: <select id="type">
    <option value="Мультиротор">Мультиротор</option>
    <option value="Самолет">Самолет</option>
    <option value="Вертолет">Вертолет</option>

  </select>
  <br>
  <br>
  Выбор модели БПЛА: <select id="bpla"></select>
```

```
<br>
```

```
<br>
```

```
<table id="ver" class="marsh"></table><br>
```

```
Масса полезной нагрузки, кг: <span id="bplam"></span><br><br>
```

```
Время работы БПЛА, ч: <span id="bplat"></span><br><br>
```

```
Максимальная высота БПЛА, м: <span id="bplah"></span><br><br>
```

```
Радиус действия радиоканала, км: <span id="bplar"></span><br><br>
```

```
Время оперативного реагирования, мин: <span id="bplatr"></span><br>
```

```
<br>
```

```
T<sub>1</sub> = <input id="t1" type="text" value="10">
```

```
T<sub>2</sub> = <input id="t2" type="text" value="20">
```

```
T<sub>3</sub> = <input id="t3" type="text" value="30">
```

```
T<sub>4</sub> = <input id="t4" type="text" value="40">
```

```
<br>
```

```
<br>
```

```
<button onclick="Res()">Рассчитать</button>
```

```
<br>
```

```
<br>
```

```
Количество БПЛА = <span id="nbpla"></span>
```

```
</div>
```

```
<br>
```

```
<br>
```

```
<br>
```

```
<br>
```

```
<br>
```

```
<br>
```

```
<br>
```

```
</div>
```

```
<script>
```

```
var img; //изображение
```



```
var img_canvas, point_canvas; //канва
var img_context, point_context; //контексты
var width, height; //размеры изображения в пикселях
var widthcm, heightcm; //размеры изображения в сантиметрах
var mH; //масштаб
var mx = []; //координаты точек маршрута
var my = [];
var point_count = 0;
var number = []; //номер точки маршрута
var tempX;
var tempY;
var t = 0; // количество узлов одного маршрута
var dist = []; // массив дистанций
var summa = 0;
var r = 1; // количество маршрутов

window.addEventListener('DOMContentLoaded', function () {
    img_canvas = document.getElementById("img_canvas");
    img_context = img_canvas.getContext("2d");
    point_canvas = document.getElementById("point_canvas");
    point_context = point_canvas.getContext("2d");
    LoadFile();
    document.getElementById('info').style.display = 'none';
    var c = "";
    c = c + '<tr>';
    c = c + '<td>Наименование</td>';
    c = c + '<td>Ожидаемое время работы</td>';
    c = c + '<td>Среднее время работы</td>';
```

Информационные ресурсы для планирования мониторинга пожаров и чрезвычайных ситуаций с применением беспилотных авиационных систем.

Назначение:

База данных содержит дискретную информацию времени работы беспилотных авиационных систем при мониторинге пожаров и чрезвычайных ситуаций. Совокупность дискретных данных объединена по классификации беспилотных летательных аппаратов на три группы (мультироторного, вертолетного, самолетного типов) с делением на четыре уровня вероятности успешной реализации мониторинга по предназначению.

Область применения:

База данных позволяет оперативно извлекать структурированную информацию и в совокупности с системой мониторинга используется для информационной поддержки оператора беспилотных летательных аппаратов в процессе принятия решений по выбору наиболее рациональных средств мониторинга.

Функциональные возможности:

База данных позволяет на этапе планирования совершить оптимальный выбор беспилотного летательного аппарата, тем самым, повысить эффективность применения беспилотных авиационных систем при мониторинге пожаров и чрезвычайных ситуаций.

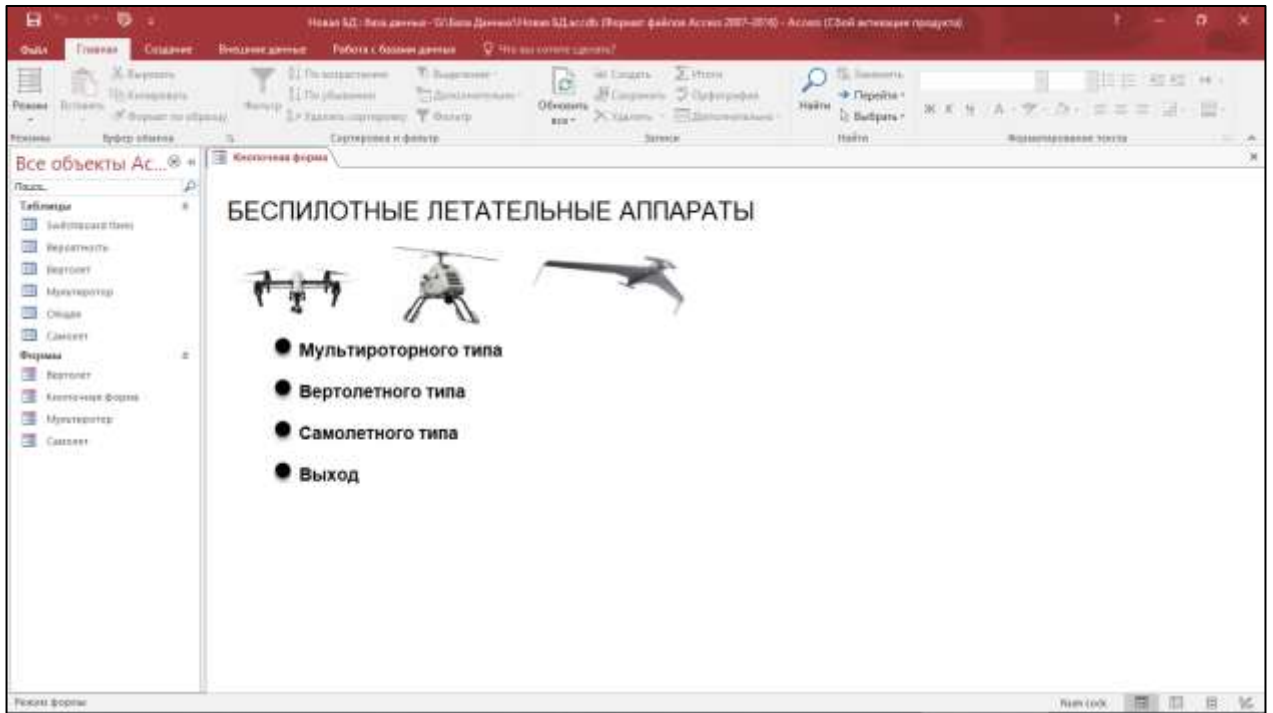


Рисунок Б1 - Основной запрос и форма БД

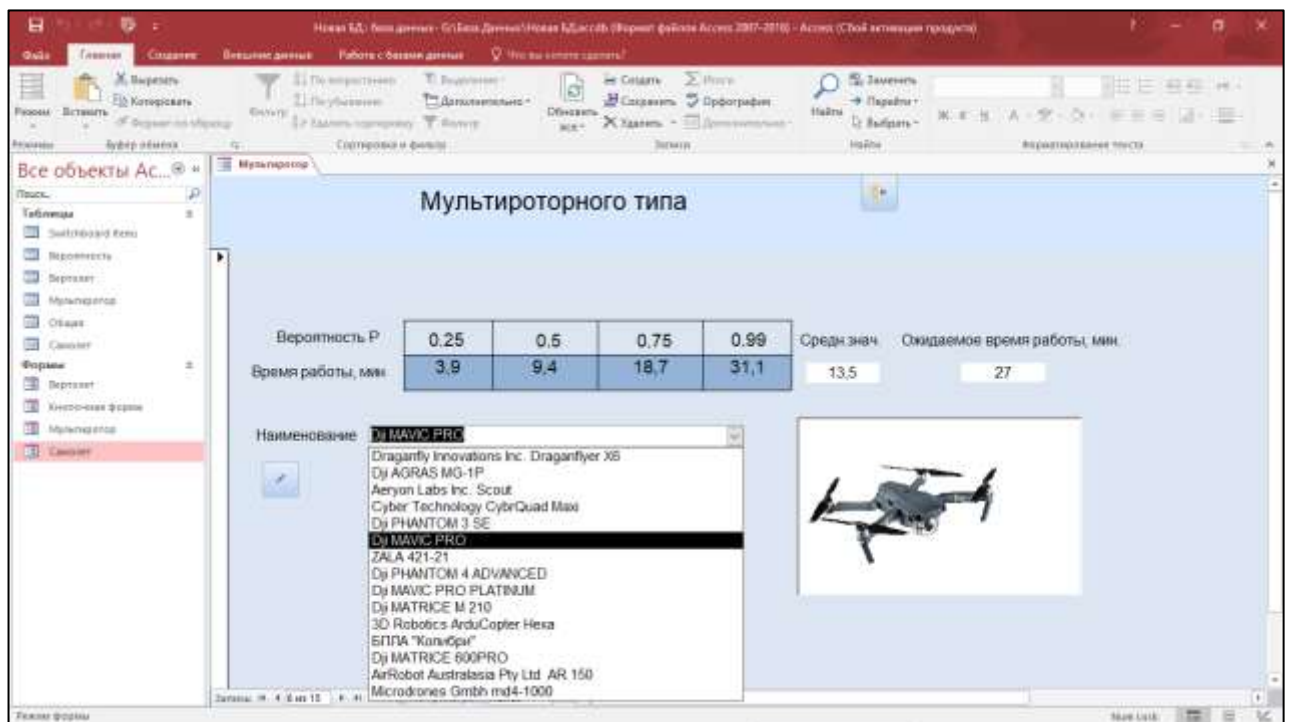


Рисунок Б2 - Форма для информационных ресурсов БПЛА мультироторного типа

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Свидетельства о государственной регистрации баз данных и программы для
электронно-вычислительных машин

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2019622080

**Информационные ресурсы системы мониторинга пожаров
в зданиях, сооружениях и на открытых пространствах**

Правообладатели: *Кузнецов Александр Валерьевич (RU), Суровегин Антон Вячеславович (RU), Баканов Максим Олегович (RU), Тараканов Денис Вячеславович (RU)*

Авторы: *Кузнецов Александр Валерьевич (RU), Суровегин Антон Вячеславович (RU), Баканов Максим Олегович (RU), Тараканов Денис Вячеславович (RU)*

Заявка № 2019622010

Дата поступления 29 октября 2019 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 14 ноября 2019 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации базы данных

№ 2020622227**Информационные ресурсы для планирования мониторинга
пожаров и чрезвычайных ситуаций с применением
беспилотных авиационных систем****Правообладатели: Кузнецов Александр Валерьевич (RU), Топольский
Николай Григорьевич (RU), Баканов Максим Олегович (RU),
Тараканов Денис Вячеславович (RU)****Авторы: Кузнецов Александр Валерьевич (RU), Топольский Николай
Григорьевич (RU), Баканов Максим Олегович (RU), Тараканов
Денис Вячеславович (RU)**

Заявка № 2020622009

Дата поступления 23 октября 2020 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 11 ноября 2020 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности* Г.П. Изrael

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021619887

Программное обеспечение для информационно-аналитической системы управления беспилотными авиационными системами при мониторинге крупных пожаров и проведении поисково-спасательных работ

Правообладатели: **Кузнецов Александр Валерьевич (RU), Топольский Николай Григорьевич (RU)**

Авторы: **Кузнецов Александр Валерьевич (RU), Топольский Николай Григорьевич (RU)**

Заявка № **2021619127**Дата поступления **07 июня 2021 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **18 июня 2021 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(обязательное)

Акты внедрения

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Академии
ГПС МЧС России по научной работе
д.т.н., профессор

М.В. Алешков
« 26 » 05 2022 г.



А К Т

об использовании результатов диссертационной работы
Кузнецова Александра Валерьевича, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности 2.3.4.– Управление в
организационных системах (технические науки)

Комиссия в составе председателя – начальника учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий (УНК АСИТ) к.т.н., доцента Хабибулина Рената Шамильевича и членов комиссии - заместителя начальника УНК - начальника НИО АСИТ к.т.н. Шихалева Дениса Владимировича и старшего научного сотрудника НИО АСИТ Бережного Дениса Анатольевича подтверждает, что результаты диссертации Кузнецова Александра Валерьевича в части разработанных теоретических положений информационной поддержки управления при мониторинге крупных пожаров, включающих модель и алгоритм поддержки принятия решений по применению мобильных средств мониторинга для информационного обеспечения организационной системы управления при тушении крупных пожаров использованы при выполнении научно-исследовательской работы на тему: «Поддержка принятия управленческих решений по спасению людей в чрезвычайных ситуациях с применением инфракрасных технологий» (п. 31 Плана научной работы Академии ГПС МЧС России на 2022 год).

Председатель комиссии:
Начальник УНК АСИТ
к.т.н., доцент

Р.Ш. Хабибулин

Члены комиссии:
Заместитель начальника УНК –
начальник НИО АСИТ
к.т.н.

Д.В. Шихалев

Старший научный сотрудник НИО АСИТ

Д.А. Бережной

Утверждаю
 Первый заместитель начальника
 Управления по Западному
 административному округу Главного
 управления МЧС России по г. Москве
 подполковник внутренней службы
 Д.А. Якуша
 2022 г.



А К Т

о внедрении результатов диссертационной работы на соискание
 ученой степени кандидата технических наук
 Кузнецова Александра Валерьевича
 в ГУ МЧС России по г. Москве

Комиссия в составе:

Председатель комиссии – заместитель начальника управления – начальник пожарно-спасательного отряда федеральной противопожарной службы Управления по ЗАО Главного управления МЧС России по г. Москве полковник внутренней службы Медведев А.А.

Члены комиссии:

– заместитель начальника управления – начальник отдела ГЗ Управления по ЗАО Главного управления МЧС России по г. Москве подполковник внутренней службы Картоев М.А.;

– Врио заместителя начальника отряда – начальник службы пожаротушения федеральной противопожарной службы Управления по ЗАО Главного управления МЧС России по г. Москве майор внутренней службы Кубас Н.А.

подтверждает, что результаты диссертационной работы Кузнецова А.В., посвященной разработке моделей и алгоритмов поддержки управления пожарными подразделениями при мониторинге крупных пожаров, внедрены в ГУ МЧС России по г. Москве, а именно:

- алгоритм принятия решений о привлечении резервных мобильных средств мониторинга;
- практические рекомендации по организации применения мобильных средств при мониторинге крупных пожаров.

Председатель комиссии:

Заместитель начальника управления –
 начальник пожарно-спасательного отряда
 федеральной противопожарной службы
 Управления по ЗАО ГУ МЧС России по г. Москве
 полковник внутренней службы

А.А. Медведев

Члены комиссии:

Заместитель начальника управления – начальник отдела ГЗ Управления по ЗАО
Главного управления МЧС России по г. Москве
подполковник внутренней службы



М.А. Картоев

Врио заместителя начальника отряда –
начальник службы пожаротушения
федеральной противопожарной службы
Управления по ЗАО
Главного управления МЧС России по г. Москве
майор внутренней службы



Кубас Н.А.

УТВЕРЖДАЮ

Начальник Главного управления
МЧС России по Ивановской области
генерал-майор внутренней службы
А.Н. Клушин
« 08 » августа 2022 г.

А К Т

о внедрении результатов диссертационного исследования на соискание ученой степени кандидата технических наук Кузнецова Александра Валерьевича в деятельность Главного управления МЧС России по Ивановской области

Комиссия в составе: председателя – заместителя начальника Главного управления МЧС России по Государственной противопожарной службе Д.И. Ширстова, и членов комиссии - заместителя начальника управления – начальника отдела организации пожаротушения УОПТ и ПАСР Главного управления МЧС России по Ивановской области С.В. Дудина и начальника группы ФПС ГПС по организации пожаротушения И.В. Пестова, подтверждает, что результаты диссертационного исследования Кузнецова Александра Валерьевича используются при совершенствовании информационно-аналитического обеспечения группы на базе специализированной пожарно-спасательной части по управлению беспилотными мобильными средствами мониторинга.

Председатель комиссии:

Д.И. Ширстов

Члены комиссии:

С.В. Дудин

И.В. Пестов

Утверждаю
Заместитель начальника Академии
ГПС МЧС России по научной работе
д.т.н., профессор

М.В. Алешков
« 23 » 05 2022 г.



АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы
Кузнецова Александра Валерьевича,
представленной на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности – 2.3.4. «Управление в
организационных системах»

Комиссия в составе председателя – заместителя начальника УНК -
начальника кафедры ИТ (в составе УНК АСИТ) к.т.н., доцента Сатина А.П.,
членов комиссии: заместителя начальника кафедры информационных
технологий (в составе УНК АСИТ) к.т.н., доцента Мокшанцева Александра
Владимировича, доцента кафедры ИТ к.т.н. Береснева Дениса Сергеевича
подтверждает, что результаты диссертационной работы Кузнецова А.В.,
внедрены в учебный процесс кафедры информационных технологий
Академии Государственной противопожарной службы МЧС России, а
именно – результаты используются при проведении занятий по дисциплине
«Системы поддержки принятия решений» (направление подготовки 09.03.02
«Информационные системы и технологии»).

Председатель комиссии
Заместитель начальника УНК –
начальник кафедры ИТ (в составе УНК АСИТ)
к.т.н., доцент

А.П. Сатин

Члены комиссии
Заместитель начальника кафедры ИТ
(в составе УНК АСИТ)
к.т.н., доцент

А.В. Мокшанцев

Доцент кафедры ИТ
к.т.н.

Д.С. Береснев

УТВЕРЖДАЮ
 Врио начальника Ивановской
 пожарно-спасательной академии
 ГПС МЧС России
 полковник внутренней службы
 В.В. Булгаков
 « 17 » 05 2022 г.



А К Т

о внедрении результатов диссертационной работы
 Кузнецова Александра Валерьевича, представленной на соискание ученой
 степени кандидата технических наук по специальности 2.3.4 – Управление в
 организационных системах (технические науки) в учебную деятельность
 Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России

Комиссия в составе: председателя – начальника учебно-научного комплекса «Пожаротушение», д.т.н., доцента, подполковника внутренней службы Баканова Максима Олеговича, и членов комиссии – начальника кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ (в составе УНК «Пожаротушение»), к.т.н., майора внутренней службы Никишова Сергея Николаевича и доцента кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ (в составе УНК «Пожаротушение»), к.п.н., подполковника внутренней службы Ермилова Алексея Васильевича подтверждает, что научные результаты кандидатской диссертации Кузнецова Александра Валерьевича используются при организации и проведении учебных занятий по дисциплинам «Информационные системы поддержки принятия решения» и «Управление силами и средствами на пожарах и при ликвидации последствий ЧС» (направление подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность» (уровень магистратуры), профиль «Пожарная безопасность»)

Председатель комиссии:

М.О. Баканов

Члены комиссии:

С.Н. Никишов

А.В. Ермилов