

На правах рукописи



Апарин Александр Александрович

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ СОСРЕДОТОЧЕНИИ
ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново – 2025

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

Научный руководитель: **Семенов Алексей Олегович**
кандидат технических наук, доцент

Официальные
оппоненты: **Порошин Александр Алексеевич**
Заслуженный работник пожарной охраны РФ,
доктор технических наук, ФГБУ ВНИИПО МЧС
России, научно-исследовательский центр
организационно-управленческих проблем пожарной
безопасности, главный научный сотрудник

Балобанов Андрей Александрович
кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Санкт-
Петербургский университет ГПС МЧС России»,
кафедра системного анализа и антикризисного
управления, преподаватель

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Сибирская пожарно-спасательная академия»
Государственной противопожарной службы
Министерства Российской Федерации по делам
гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и
ликвидации последствий стихийных бедствий»

Защита диссертации состоится 19 марта 2025 года в 12 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 04.2.002.01, созданного на базе Академии ГПС МЧС России, по адресу: 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4, зал Диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте: <https://academygps.ru/upload/iblock/ed2/ks0lm2bv3x3lgjk8w12b7o976gr3grwf/Диссертация%20Апарина%20А.А.%20размещена%20на%20сайте%20Академии%20ГПС%20МЧС%20России%2013.11.2024.pdf>

Автореферат разослан «17» января 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Р.Ш. Хабибулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Время, затраченное от момента выезда первого подразделения пожарной охраны до момента его непосредственного прибытия к месту пожара, оказывает влияние на последствия данного пожара: причиненный материальный ущерб, а также вред жизни и здоровью людей. Согласно официальным статистическим данным, в крупнейших городах Российской Федерации, таких как Москва и Санкт-Петербург, за последние пять лет наблюдается увеличение плотности населения, сопровождающееся увеличением количества частных автомобилей, что стимулирует организацию стихийных автопарковок на дворовых территориях жилых домов. Такое обстоятельство затрудняет продвижение первого прибывающего к месту пожара отделения на основном пожарном автомобиле (далее – отделение на автоцистерне (АЦ)) и увеличивает время свободного развития пожара.

При организации реагирования на пожар объективную оценку складывающейся обстановки сформировать фактически невозможно до прибытия первого отделения к месту пожара. Однако целенаправленное изучение оперативной видеoinформации, поступающей от средств видеомониторинга, – статичных и управляемых камер видеонаблюдения (КВ), установленных в городской среде, способно повысить эффективность управления на раннем этапе организации реагирования на пожар. Повышение эффективности обосновывается появлением возможности у лица, принимающего решения (ЛПР), оценить сложность складывающейся обстановки на месте пожара до фактического прибытия первого отделения на основном пожарном автомобиле к месту развития пожара.

Тенденция экстенсивного развития систем видеонаблюдения (в Российской Федерации насчитывается около 1 млн средств видеомониторинга, установленных в целях обеспечения безопасности населения и территорий, из них более 0,2 млн в Москве и около 0,1 млн в Санкт-Петербурге), а также нормативные предпосылки, определяющие развитие в Российской Федерации аппаратно-программного комплекса «Безопасный город», ставят перед научным сообществом задачи по использованию увеличивающегося ресурса оперативной видеoinформации для обеспечения пожарной безопасности населения и муниципальной инфраструктуры. Однако, на данный момент не разработаны практико-ориентированные модели и алгоритмы, предназначенные для информационного обеспечения поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде на основе данных, полученных ЛПР в режиме реального времени при работе со средствами видеомониторинга.

Таким образом, разработка информационного и программного обеспечения системы управления оперативным реагированием на пожар в городской среде для поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны является актуальным направлением исследования.

Степень разработанности темы. Основные труды по теории управления в организационных системах, рассмотренные в диссертации, принадлежат В. Н. Буркову, Д. А. Новикову, А. Г. Чхартишвили, О. Hart, J. Moore и др. Вопросы измерения количественных характеристик информации на фундаментальном уровне были заложены А. А. Харкевичем, М. М. Бонгардом, В. И. Корогодиным, С. Е. Shannon и др. Исследования автора опирались на результаты отечественных и зарубежных ученых в области поддержки принятия решений при управлении в организационных системах, целью функционирования которых является ликвидация пожаров и спасение людей: Н. Н. Брушлинского, С. В. Соколова, В. Л. Семикова, В. Б. Коробко, Д. В. Тараканова, А. Н. Денисова, Ю. А. Матюшина, Т. С. Станкевич, А. В. Кузнецова, S. Cohen-Natton, D. J. Power и др.

Тема дистанционного мониторинга пожаров в городах ранее уже рассматривалась научным сообществом, при этом объектом исследования являлись пожары в зданиях, оборудованных системами дистанционного мониторинга (Д. В. Тараканов). Также известен ряд работ, посвященных способам использования видеомониторинга на открытых территориях (А. В. Кузнецов). Однако эти работы связаны с обработкой системой управления информации, поступившей после прибытия первых сил и средств подразделений пожарной охраны на место пожара. При этом теоретические и практические вопросы видеомониторинга открытых территорий, связанные с информационным обеспечением поддержки принятия решений на раннем этапе организации реагирования, остались малоизученными. Научная задача работы состоит в разработке моделей и алгоритмов информационного обеспечения системы управления оперативным реагированием на пожар в городской среде для поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования.

Объект исследования – процесс управления сосредоточением подразделений пожарной охраны в городской среде на раннем этапе реагирования.

Предмет исследования – модели и алгоритмы информационного обеспечения поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде на раннем этапе реагирования.

Целью исследования является разработка информационного и программного обеспечения поддержки принятия решений при управлении сосредоточением подразделений пожарной охраны в городской среде на раннем этапе реагирования.

Для достижения цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Проанализировать организационную систему управления оперативным реагированием на пожар в городской среде с интегрированной подсистемой видеомониторинга.

2. Разработать модель и алгоритм информационного обеспечения поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования.

3. Разработать модель и алгоритм информационного обеспечения поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования, позволяющие использовать видеoinформацию, поступающую с места пожара в режиме реального времени.

4. Выполнить программную реализацию моделей и алгоритмов информационного обеспечения системы управления оперативным реагированием на пожар в городской среде для поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования.

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

1. Разработаны модель и алгоритм информационного обеспечения поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования. Отличительной особенностью модели является описание многокритериального анализа множества всех средств видеомониторинга местного пожарно-спасательного гарнизона (ПСГ), применяющегося для выбора предпочтительного средства видеомониторинга в оперативном режиме. В результате выполнения соответствующего алгоритма для ЛПР формируется выборка (подмножество) приоритетных для первоочередного оперативного анализа средств видеомониторинга.

2. Разработаны модель и алгоритм информационного обеспечения поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования. В отличие от существующих моделей и алгоритмов информационного обеспечения, позволяют осуществлять оперативное имитационное моделирование времени, которое может быть затрачено на продвижение первого прибывающего отделения на АЦ по дворовой территории многоквартирных домов к месту пожара. Основой моделирования являются факторы объективной действительности, выявленные из потока видеoinформации (ПВИ), поступающего в режиме реального времени с места пожара.

3. Разработана функциональная структура системы информационного обеспечения поддержки принятия решений (СИОППР), определяющая возможность программной реализации и алгоритмической интеграции предложенных моделей в структуру системы управления оперативным реагированием на пожар в городской среде.

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии информационного и программного обеспечения системы управления оперативным реагированием на пожар в городской среде; применении многокритериального анализа для оперативного выбора приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования; применении имитационного моделирования для прогноза времени, которое

может быть затрачено на продвижение первого прибывающего отделения на АЦ по дворовой территории многоквартирных домов к месту пожара. Разработаны модель и алгоритм информационного обеспечения поддержки принятия решений при оперативном выборе приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования, а также модель и алгоритм информационного обеспечения поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования.

Практическая значимость. Разработанные модели и алгоритмы информационного обеспечения формализованы в виде программ для электронно-вычислительных машин (ЭВМ) и баз данных (БД); сформулированы предложения по применению моделей и алгоритмов информационного обеспечения при организации видеомониторинга пожаров в городской среде. Получены акты внедрения результатов исследования.

Методология и методы исследования. При решении задач исследования применялись следующие методы: системного анализа, многокритериального анализа, имитационного моделирования и системной динамики.

Положения, выносимые на защиту.

1. Модель и алгоритм информационного обеспечения поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования.

2. Модель и алгоритм информационного обеспечения поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования.

3. Программный комплекс, формализующий информационное обеспечение поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертации представлены на международных и всероссийских научно-технических конференциях: «Проблемы техносферной безопасности» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2021, 2022 гг.); «Пожарная и аварийная безопасность» (г. Иваново, ИПСА ГПС МЧС России, 2020, 2021, 2023 гг.); «Актуальные вопросы пожаротушения» (г. Иваново, ИПСА ГПС МЧС России, 2021 г.); Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Новосибирск, ФИЦ ИВТ, 2022 г.), Всероссийская научная конференция «Теория и практика системной динамики» (г. Апатиты, ИИММ ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук»). Достоверность полученных результатов исследования достигается применением апробированного математического аппарата и согласованностью с результатами работ других авторов.

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 16 научных статей, из них 5 – в журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации. Издана

коллективная монография, получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и 3 свидетельства о государственной регистрации БД.

Личный вклад автора. В совместных публикациях результаты, связанные с разработкой моделей и алгоритмов информационного обеспечения поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде, получены автором лично. В разработанных лично и в соавторстве программах для ЭВМ и БД автором разработаны функциональные и математические модели, а также самостоятельно осуществлена программная реализация.

Результаты диссертационной работы внедрены в:

- Главном управлении МЧС России по г. Москве в качестве предложений по организации видеомониторинга пожаров в селитебных районах городов;
- Главном управлении МЧС России по Ростовской области при планировании мероприятий по совершенствованию информационно-аналитического обеспечения деятельности оперативной дежурной смены;
- учебной деятельности Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России при организации и проведении учебных занятий по дисциплинам «Тактика сил РСЧС и ГО»; «Управление в системе МЧС» (направление подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность», профиль «Пожарная безопасность»).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, списка сокращений и приложений. Общий объем составляет 172 страницы. Работа иллюстрирована 42 рисунками и содержит 16 таблиц, 3 приложения. Список литературы включает 140 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, указаны научная новизна и практическая значимость полученных результатов, выносимых на защиту.

В первой главе «Анализ организационной системы при реагировании на пожар в городской среде» проведен анализ системы управления оперативным реагированием на пожар в городской среде (СУОР) и процесса управления сосредоточением подразделений пожарной охраны с позиции теории управления в организационных системах (ОС). В работе, опираясь на подход к определению ОС, предложенный в трудах В. Н. Буркова и Д. А. Новикова, разработана дефиниция СУОР: «совокупность активно действующих согласно актуальному законодательству и должностным инструкциям должностных лиц (субъект СУОР) местного ПСГ, использующих оборудование приема и передачи информации, источники информации, каналы передачи информации, и выполняющих программу по оперативному сбору и обработке в режиме реального времени оперативных данных о состоянии обстановки на месте пожара, а также по формированию и реализации управленческого воздействия

на силы и средства местного ПСГ (объект СУОР) в целях минимизации потенциального ущерба от развивающегося пожара».

В результате анализа официальных статистических данных выявлена тенденция увеличения плотности населения в городе Москве (рисунок 1 а), сопровождающаяся увеличением количества частных автомобилей, зарегистрированных на территории данного города (по данным единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС)). При этом отмечается, что среднее количество легковых автомобилей, ежедневно выезжающих на городские дороги, уменьшается (рисунок 1 б). Таким образом, проезд внутри дворовых территорий действительно становится более затрудненным. Также проведено изучение новостных сообщений, опубликованных средствами массовой информации (СМИ) в период с 2019 по 2024 гг. (рисунок 1 в). Выявлено более 100 случаев, в которых первое прибывшее отделение на АЦ столкнулось с проблемами продвижения к месту пожара по дворовой территории многоквартирных домов по причине наличия стихийных автопарковок или иных препятствий.

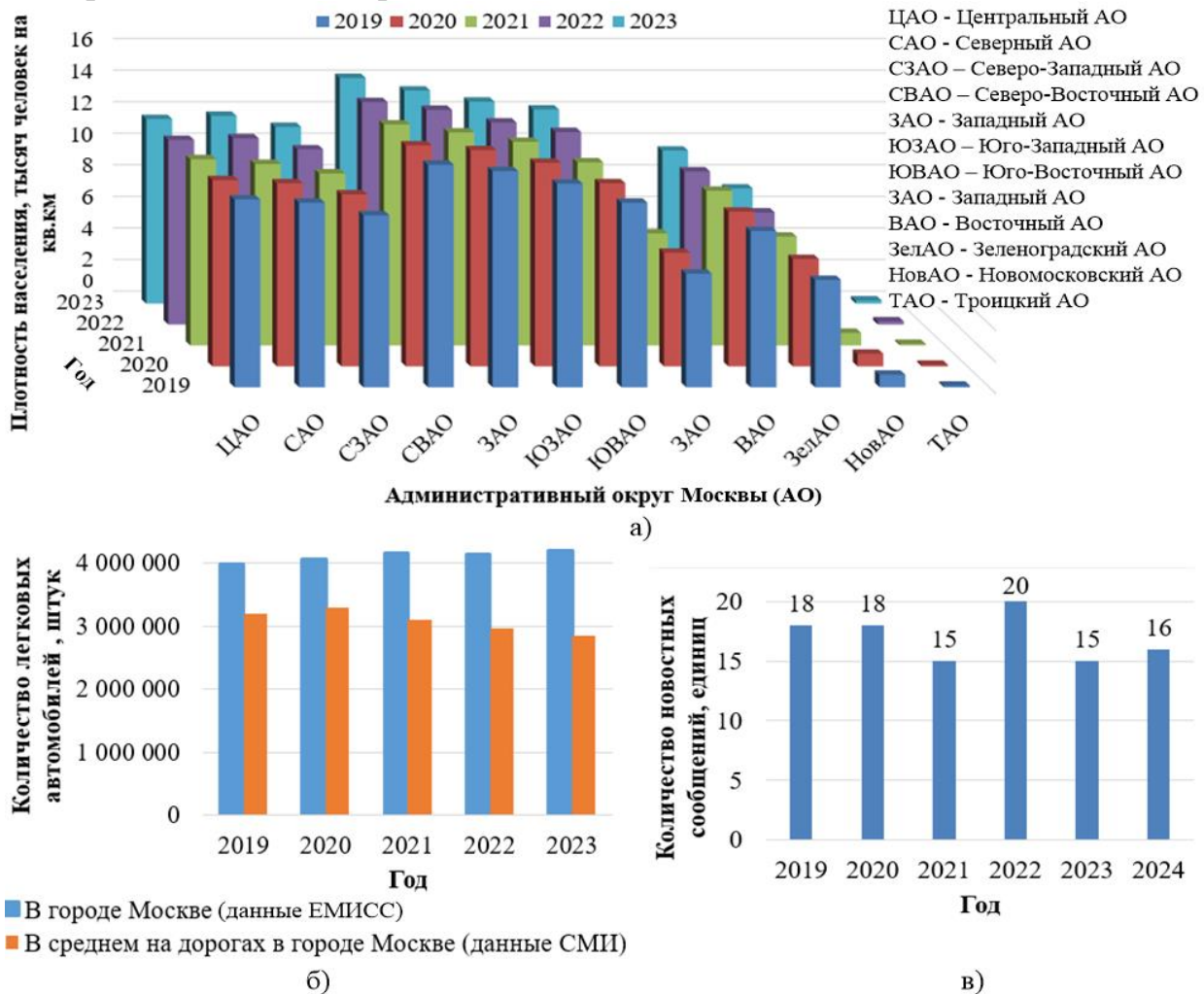


Рисунок 1 – Графическое представление статистических данных

Таким образом показано, что факторы объективной действительности, которые имеют локацию на дворовой территории многоквартирных домов, оказывают влияние на результат (время, затраченное от момента выезда первого подразделения пожарной охраны до момента его непосредственного прибытия к

месту пожара) выполнения объектом СУОР задачи, поставленной субъектом СУОР. Проведен теоретический анализ СУОР. Исследована отечественная и зарубежная практика функционирования систем управления оперативным реагированием сил и средств экстренных служб с интегрированной подсистемой видеомониторинга. Проанализированы научные публикации в данной области. По результатам анализа разработана и впервые описана с позиции управления в ОС схема интеграции подсистемы видеомониторинга в СУОР (рисунок 2).



Рисунок 2 – Схема интеграции подсистемы видеомониторинга в СУОР

Данная схема может быть масштабируема на системы управления реагированием различных служб экстренной помощи. Также в результате анализа научных публикаций было выявлено множество наиболее применимых в практике пожаротушения систем и средств видеомониторинга и разработана их классификация, при этом выделены средства видеомониторинга, которые могут быть применимы для оценки обстановки на месте пожара на раннем этапе реагирования (рисунок 3).



Рисунок 3 – Классификация систем и средств видеомониторинга места пожара

На базе территориального и местных ПСГ осуществлено исследование специфики применения средств видеомониторинга в практической деятельности подразделений пожарной охраны. По итогам исследования определено, что при реализации подсистемой видеомониторинга СУОР программы «сбор и обработка актуальной видеoinформации о состоянии обстановки на месте вызова (пожара)» для двух отдельных этапов работы ЛПР особенно четко прослеживается потребность в разработке информационного обеспечения поддержки принятия решений:

- этап, на котором осуществляется поиск и выбор средств видеомониторинга, установленных в непосредственной близости от места пожара и удовлетворяющих потребность в снижении дефицита информации в СУОР. Время выполнения данного этапа на практике может увеличиваться из-за отсутствия алгоритмов, применимых для многокритериального выбора средств видеомониторинга, наиболее подходящих для ЛПР в конкретной ситуации;

- этап, на котором осуществляется оценка сложности обстановки на месте пожара с использованием средств видеомониторинга (в данном случае речь идет об оценке на предмет возможности осуществления беспрепятственного проезда к месту пожара первого прибывающего отделения на АЦ) (далее – оценка обстановки). Процесс оценки обстановки по результатам анализа ПВИ до проведения настоящего диссертационного исследования имел субъективный характер и исключал возможность получения в качестве результата анализа расчетных показателей для поддержки принятия решений.

Цель разработки информационного обеспечения поддержки принятия решений для описанных выше этапов – уменьшение времени, требуемого для выявления необходимости в принятии решения о привлечении дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования (за счет удовлетворения определенных информационных потребностей ЛПР). Информация, обработанная при помощи специфичных инструментов

информационного обеспечения, далее предназначена для использования в качестве входных данных для системы поддержки принятия решений. Под поддержкой принятия решений в работе понимается теоретическое обеспечение СУОР с целью реализации превентивных мер на раннем этапе реагирования, необходимых для выполнения основной боевой задачи подразделениями пожарной охраны. В результате проведенного анализа нами были сформулированы задачи исследования.

Во второй главе «Разработка моделей и алгоритмов информационного обеспечения поддержки принятия решений» представлены в двух частях (I и II) математическая постановка задачи исследования и ее решение.

I часть постановки задачи исследования. Требуется обеспечить тактический резерв времени в СУОР за счет оптимизации процесса выбора приоритетных для применения средств видеомониторинга (КВ, выделенных на рисунке 3) на раннем этапе реагирования (создать условия ЛПР для раннего начала процесса оценки обстановки на месте пожара). Пусть $N_{КВ}^{ПЦГ}$ – множество, содержащее все средства видеомониторинга, установленные в местном ПЦГ и доступные ЛПР. Каждое отдельное средство видеомониторинга имеет номер $c \in C$ (идентификатор в множестве $N_{КВ}^{ПЦГ}$, $c = 1, 2, \dots, C$). Предположим, что в множестве $N_{КВ}^{ПЦГ}$ существует минимум одно средство видеомониторинга, которое является полезным (имеет высокую информативность) для ЛПР в некоторой случайной ситуации. Перед ЛПР стоит задача поиска и выбора данного средства видеомониторинга. Множество средств видеомониторинга, отобранных для оценки обстановки, складывающейся на месте пожара, обозначается как $N_{КВ}^{оц.} \in N_{КВ}^{ПЦГ}$. ЛПР может затратить на процесс поиска и выбора средств видеомониторинга некоторую дискретную величину $\tau_{выб.}$, заданную формулой (1). За это время может быть проанализировано изображение от n средств видеомониторинга:

$$\tau_{выб.} = n(\tau_c^{поиск} + \tau_c^{загрузка} + \tau_c^{доступ упр.} + \tau_c^{ракурс}), \quad (1)$$

где $\tau_c^{поиск}$ – время, затраченное на поиск средства видеомониторинга под номером c в картографическом сервисе (параметр оптимизации процесса выбора средств видеомониторинга), с;

$\tau_c^{загрузка}$ – время, затраченное на загрузку изображения, с;

$\tau_c^{доступ упр.}$ – время, затраченное на проверку доступа к управлению, с;

$\tau_c^{ракурс}$ – время, затраченное на определение пригодности ракурса для получения необходимой информации, с.

Решение для I части постановки задачи исследования. Разработка модели (M_1) и алгоритма (Alg_1) информационного обеспечения поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования. Модель M_1 задана кортежем (2). Допустимое ограничение модели M_1 задано условием (3):

$$M_1 = (N_{КВ}^{ПЦГ}; \Theta; W; N_{КВ}^p; J_{M_1}); \quad (2)$$

$$t_2 + \tau_{выб.}^* \ll t_3, \quad (3)$$

где Θ – координаты места пожара (входные данные модели M_1);

W – множество критериев модели M_1 , используемых для анализа $N_{\text{КВ}}^{\text{ПСГ}}$ и формирования ранжированного множества $N_{\text{КВ}}^{\text{P.}}$;

$N_{\text{КВ}}^{\text{P.}}$ – ранжированное по предпочтительности первоочередного ознакомления множество средств видеомониторинга, расположенных на территории местного ПСГ (выходные данные модели M_1 , $N_{\text{КВ}}^{\text{P.}} \in N_{\text{КВ}}^{\text{ПСГ}}$);

J_{M_1} – целевой функционал модели;

t_2 и t_3 – моменты времени выезда и прибытия первых сил и средств подразделений пожарной охраны к месту пожара соответственно.

Требованием к модели M_1 и алгоритму Alg_1 является стремление к реализации следующего условия: при фиксированном количестве проанализированных средств видеомониторинга ЛПП имеет возможность уменьшить время, затраченное на поиск и выбор подходящих средств видеомониторинга: $\tau_{\text{выб.}^*} < \tau_{\text{выб.}}$, $\tau_{\text{выб.}^*}$ – время, затрачиваемое ЛПП на поиск и выбор средств видеомониторинга с применением информационного обеспечения поддержки принятия решений. Необходимо, чтобы ЛПП получил ранжированное множество средств видеомониторинга в соответствии с предпочтениями в конкретной (уникальной) ситуации. Разработаны и впервые предложены критерии (W) для быстрого и целенаправленного поиска и выбора средств видеомониторинга. Критерий $W_1 \in W$ – ракурс средства видеомониторинга относительно места пожара; критерий $W_2 \in W$ – расстояние от места установки средства видеомониторинга до места пожара по прямой; критерий $W_3 \in W$ – высота установки средства видеомониторинга относительно поверхности земли. Целевой функционал модели M_1 задан выражением (4) и отражает стремление к уменьшению времени, затрачиваемого ЛПП на поиск и выбор средств видеомониторинга, удовлетворяющих потребность в снижении информационного дефицита в СУОР:

$$J_{M_1} = 1 - \frac{\tau_{\text{выб.}^*}}{\tau_{\text{выб.}}}, \tau_{\text{выб.}} > \tau_{\text{выб.}^*}, J_{M_1} > 0. \quad (4)$$

Многокритериальный анализ множества $N_{\text{КВ}}^{\text{ПСГ}}$ является одним из основных этапов алгоритма Alg_1 (рисунок 4). Средний моделируемый вероятный эффект от применения модели M_1 и алгоритма Alg_1 определяется уменьшением затраченного времени на 1,9–8,6 секунд в расчете на каждую минуту реализации процесса поиска и выбора средств видеомониторинга в СУОР (рисунок 5). На практике эти результаты позволяют ЛПП уменьшить затраты времени на поиск и выбор наиболее подходящего средства видеомониторинга, установленного в городской среде. Таким образом обеспечивается тактический резерв времени в СУОР для реализации иных компонентов процесса управления.

II часть постановки задачи исследования. Требуется обеспечить СУОР на раннем этапе реагирования информацией о возможном (прогнозируемом) увеличении времени движения первого отделения на АЦ к месту пожара по дворовой территории многоквартирных домов. Такая потребность обусловлена тем, что ожидаемые затраты времени в СУОР на выезд и прибытие первых сил и средств подразделений пожарной охраны к месту пожара (определяемые, например, с помощью геоинформационного сервиса) могут быть резко

увеличены. Поэтому подобные ситуации должны быть спрогнозированы на раннем этапе реагирования на пожар.

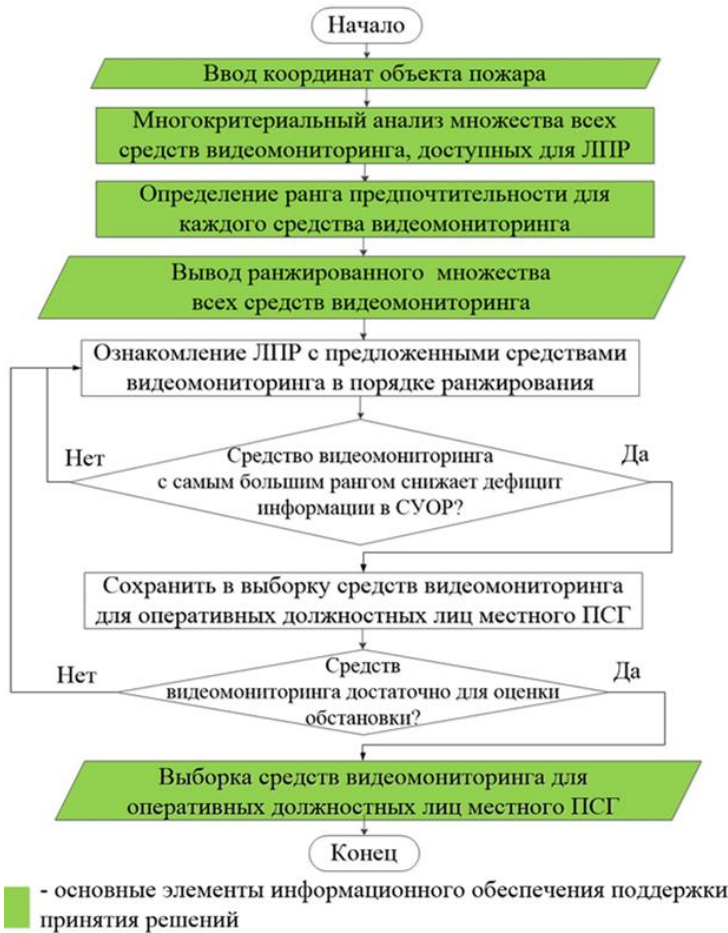


Рисунок 4 – Алгоритм Alg_1

Таким образом, необходимо обеспечить СУОР возможностью оперативного прогнозирования времени, которое может быть затрачено на движение первого прибывающего отделения на АЦ к месту пожара по дворовой территории многоквартирных домов ($t_i^{Д.ДВ.Т.}$), на основе применения имитационного моделирования. Для этого необходимо добиться улучшения качественных свойств информации, полученной ЛПР в результате обработки данных, полученных от средств видеомониторинга с места пожара в режиме реального времени. Выявлено, что при уменьшении выраженности дефицита ценности информации (прагматической меры; формула (5) представляет адаптацию подхода, предложенного А. А. Харкевичем) и (или) дефицита количества семантической информации), улучшаются качественные свойства поступившей в СУОР информации – полнота (формула (5)) и избирательность (формула (6)) информации:

$$\tilde{I}^{BM} = \log_2 \frac{P_{до\ упр.}}{P_{после\ упр.}}, \tilde{I}^{BM} \geq 0, \quad (5)$$

где \tilde{I}^{BM} – условный показатель ценности видеoinформации, полученной в СУОР с места пожара в режиме реального времени;

$P_{до\ упр.}$ и $P_{после\ упр.}$ – условные показатели вероятности достижения плановых временных показателей сосредоточения сил и средств (участников боевых действий по тушению пожара) на пожаре после

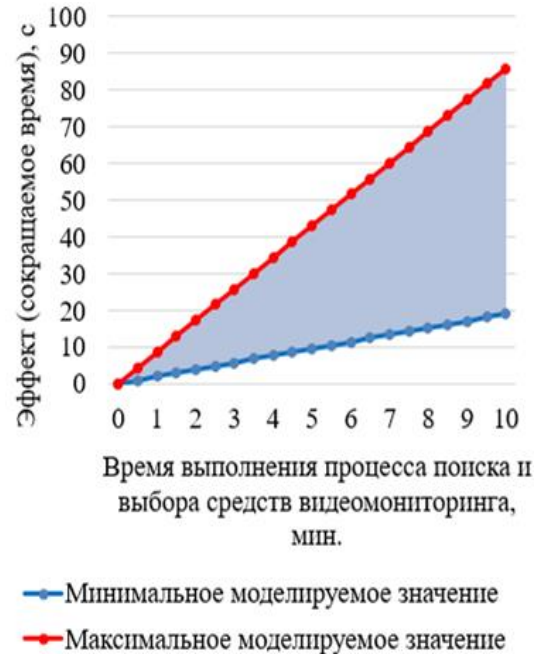


Рисунок 5 – Моделирование результата применения модели M_1 и алгоритма Alg_1

выявления осложняющих факторов объективной действительности средствами видеомониторинга: до и после реализации управления в СУОР соответственно.

Условный показатель ценности видеоинформации \tilde{I}^{BM} отражает прирост условной вероятности выполнения основной боевой задачи на месте пожара по компоненту «своевременное привлечение участников боевых действий по тушению пожаров» относительно ситуации, выявленной на ранней стадии организации реагирования и неустранимой до прибытия первых подразделений к месту пожара. Условный показатель $I_{Сем.}^{BM}$ определяет готовность ЛПР осуществить комплексный анализ поступающего ПВИ относительно складывающейся ситуации:

$$I_{Сем.}^{BM} = \log_2 \frac{n_{ЛПР}}{n_{факт.}}, 0 \leq I_{Сем.}^{BM} \leq 0, \quad (6)$$

где $n_{ЛПР}$ и $n_{факт.}$ – количество групп факторов, по которым ЛПР может (имея информационное обеспечение) оценить сложность складывающейся на месте пожара обстановки и по которым фактически возможна достоверная оценка обстановки в конкретной ситуации соответственно.

По результату моделирования ЛПР обеспечивается информацией о прогнозируемом значении времени, требуемом для преодоления первым прибывающим отделением на АЦ расстояния по дворовой территории многоквартирных домов к объекту пожара, в зависимости от степени затруднения проезда и других факторов, замедляющих продвижение. Также значение $t_i^{д.дв.т.}$, заданное формулой (7), зависит от количества личного состава, прибывшего к месту пожара в составе первых отделений. В качестве оптимального для СУОР стоит рассматривать наименьший элемент из $T_{д.дв.т.}$:

$$t_i^{д.дв.т.}(N_{л.с.}, ZP, F) \rightarrow \min\{T_{д.дв.т.}\}, t_i^{д.дв.т.} \in T_{д.дв.т.}, \quad (7)$$

где $N_{л.с.}$ – количество личного состава, прибывающего к месту пожара в составе первых отделений;

ZP – степень затруднения проезда внутри дворовой территории многоквартирных домов (взаимосвязанный параметр – скорость движения АЦ на участке дворовой территории v_{ZP} , м/с), отдельный элемент – ZP_e , при $e=1,2,3$ (дополнительная информация представлена в таблице);

F – множество факторов (представлены в таблице) объективной действительности, замедляющих продвижение к месту пожара первой АЦ по дворовой территории многоквартирных домов (отдельный элемент – F_g , при $g=1,2,3,4$);

i – характеристика управленческой альтернативы: (ij) , где j – идентификатор альтернативного варианта продвижения к месту пожара, i – конкретное значение $N_{л.с.}$, принятое для момента моделирования. Далее в работе вместо i тождественно используется обозначение (ij) ;

$T_{д.дв.т.}$ – множество, содержащее все возможные варианты $t_i^{д.дв.т.}$.

Количество предложенных факторов в таблице (в контексте данного исследования) определяет значение $n_{ЛПР}$. Данный перечень может быть в дальнейшем дополнен.

Таблица – Выявленные в результате анализа факторы, влияющие на время $t_i^{д.дв.т.}$

№	Факторы	Характеристика
1	Степень затруднения проезда во дворе «легкая» (ZP_1)	Подъездные пути к месту пожара свободны
2	Степень затруднения проезда во дворе «средняя» (ZP_2)	Подъездные пути к месту пожара имеют препятствия для проезда первого отделения на АЦ и проведения боевого развертывания (присутствует стихийная парковка частных автомобилей)
3	Степень затруднения проезда во дворе «сильная» (ZP_3)	Подъездные пути к месту пожара имеют значительные препятствия для проезда первого отделения на АЦ и проведения боевого развертывания (присутствует стихийная парковка частных автомобилей с двух сторон вдоль проезда во дворе)
4	Фактор 1 (F_1)	Частные автомобили, припаркованные с одной или с двух сторон на повороте перед проездом к месту пожара, могут затруднять проезд первого отделения на АЦ, в некоторых случаях делая невозможным осуществление дальнейшего проезда
5	Фактор 2 (F_2)	Частные легковые автомобили, оставленные непосредственно на подъездных путях к месту пожара, вызывают прекращение движения первого отделения на АЦ
6	Фактор 3 (F_3)	Частные внедорожные (более крупные, чем легковые) автомобили, оставленные непосредственно на подъездных путях к месту пожара, вызывают прекращение движения первого отделения на АЦ
7	Фактор 4 (F_4)	Закрытые ворота или шлагбаумы перед въездом во двор вызывают прекращение движения первого отделения на АЦ к месту пожара

Решение для II части постановки задачи исследования. Разработка модели (M_2) и алгоритма (Alg_2) информационного обеспечения поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования. На основе проведенного анализа разборов пожаров, произошедших на территории Российской Федерации, официальных статистических данных и материалов из СМИ, связанных с продвижением к месту пожара по дворовым территориям многоквартирных домов первого прибывающего отделения на АЦ, была разработана структура модели M_2 , описанная формулой (8):

$$M_2 = (ZP, F, N_{л.с.}, t_{ij}^{пр.б.р.}, t_{ij}^{пр.д.}, t_{оц.}, J_{M_2}), \quad (8)$$

где $t_{ij}^{пр.б.р.}$ – прогноз времени проведения боевого развертывания (полного развертывания магистральной рукавной линии, с);

$t_{ij}^{пр.д.}$ – прогноз времени движения первого отделения на АЦ по дворовой территории многоквартирных домов, с;

$t_{оц.}$ – время, затраченное на оценку обстановки (ограничение модели), с:

$$t_2 + t_{оц.} \ll t_3;$$

J_{M_2} – целевой функционал модели.

Модель M_2 является имитационной и позволяет на основе введенной ЛПР информации о: а) выявленных при помощи средств видеомониторинга факторах (элементов множеств ZP и F) на месте пожара и б) количестве личного состава,

прибывающего к месту пожара в составе первых отделений, рассчитать прогнозируемое время $t_{ij}^{д.дв.т.}$ (как сумму $t_{ij}^{пр.б.р.}$ и $t_{ij}^{пр.д.}$). Целевой функционал J_{M_2} , заданный формулой (9), стремится к теоретическому определению элемента $\min\{T_{д.дв.т.}\}$ при постоянных для конкретной ситуации выявленных условиях (ZP, F) и переменном значении количества личного состава, прибывшего к месту пожара в составе первых отделений $N_{л.с.}$:

$$J_{M_2}: t_{ij}^{д.дв.т.}(N_{л.с.}, ZP, F) \rightarrow \min\{T_{д.дв.т.}\}, t_{ij}^{д.дв.т.} = t_{ij}^{пр.б.р.} + t_{ij}^{пр.д.}. \quad (9)$$

Дано множество всех допустимых вариантов преодоления первым прибывающим отделением на АЦ расстояния по дворовой территории многоквартирных домов к месту пожара $L_{доп.}$, каждый отдельный элемент которого ($l_{путь}$) может быть описан формулой (10). Множество $L_{доп.}$ сформировано для синтеза множества $T_{д.дв.т.}$ (множества допустимых вариантов времени, за которое возможно преодолеть $l_{путь}$):

$$L_{доп.} = \{(l_{ij}^{б.р.} + l_{ij}^{д.})_j, \dots, (l_{ik}^{б.р.} + l_{ik}^{д.})_k\}, l_{путь} = l_{ij}^{б.р.} + l_{ij}^{д.}, j = 1, 2, \dots, k, \quad (10)$$

где $l_{ij}^{б.р.}$ – длина прокладываемой магистральной линии при боевом развертывании, м;

$l_{ij}^{д.}$ – длина маршрута, который проедет отделение на АЦ по дворовой территории многоквартирных домов, м.

Каждому элементу $l_{путь} \in L_{путь}$ во взаимное однозначное соответствие ставится элемент $\tau_{ij} = t_{ij}^{д.дв.т.} = t_i^{д.дв.т.} \in T_{д.дв.т.}$ (отображение альтернативы продвижения первого отделения на АЦ по дворовой территории многоквартирных домов к месту пожара на множестве времени реализации данной альтернативы (τ_{ij} определяется по формуле (11))). Если при помощи средств видеомониторинга в режиме реального времени удалось получить информацию об элементах множеств ZP и F на месте пожара, то искомая компонента в формуле (11) будет обозначаться как τ_{ij}^* :

$$\tau_{ij} = t_{ij}^{пр.б.р.} + l_{ij}^{д.} v_{ZP} + s_1 t_{преод.}(F_1) + s_2 t_{преод.}(F_2) + s_3 t_{преод.}(F_3) + s_4 t_{преод.}(F_4), \quad (11)$$

где $t_{преод.}(F_g)$ – функция, определяющая время, затраченное на преодоление действия фактора F_g , в зависимости от i ;

s_g – коэффициент, принимающий значение «1», если соответствующий элемент множества F_g обнаружен, и «0», если не обнаружен.

Значение $t_{преод.}(F_g)$ для каждого отдельно взятого местного ПСГ может отличаться из-за особенностей городской среды и иных обстоятельств, которые характерны для конкретного местного ПСГ. Результаты моделирования, полученные в качестве выходных данных алгоритма Alg_2 (рисунок 6), обеспечивают СУОР на раннем этапе реагирования информацией о прогнозируемом значении времени движения первого отделения на АЦ к месту пожара по дворовой территории многоквартирных домов. Эти результаты предназначены быть входными данными для систем поддержки принятия решений, в составе которых могут применяться на практике в следующих

случаях. Случай 1: ЛПП, для оперативного управления объектом СУОР, с опорой на дополнительное обеспечение информацией о значении условного показателя интенсивности $Int(i)$ сосредоточения сил и средств подразделений пожарной охраны на месте пожара (формула (12), рисунок 7):

$$Int(i) = \frac{\sum_{r=1}^{r'} int_r}{r'}, int_r = \frac{N_{л.с.}^r \cdot d'}{\sum_{d=1}^{d'} \tau_{d}^{приб.г}}, \quad (12)$$

где int_r – компонента функции $Int(i)$, характеризующая отделение на АЦ, прибывающее на место пожара с порядковым номером $г$;
 d – порядковый номер элемента в интервале времени (ожидаемое время прибытия на пожар АЦ с порядковым номером прибытия $г$, согласно Расписанию выезда, находится в интервале времени $[\tau_d^{приб.г}; \tau_{d'}^{приб.г}]$).



■ - основные элементы информационного обеспечения поддержки принятия решений

Рисунок 6 – Алгоритм Alg_2

Значение условного показателя $Int(i)$ имеет наибольшее значение в момент прибытия к месту пожара (в данном случае, к началу автомобильного проезда на дворовую территорию) первого отделения пожарной охраны. Стремление к поддержанию начального (высокого) значения $Int(i)$ в процессе сосредоточения подразделений, в отдельных случаях, может стимулировать достижение наименьшего в заданных условиях значения τ_{ij} . Случай 2: начальником караула, который первым прибывает на место пожара для выбора быстрого варианта продвижения непосредственно к объекту пожара. Случай 3: старшими оперативными должностными лицами местного ПСГ, которые привлекаются на место пожара при повышении ранга пожара при подготовке превентивных управленческих решений. Предложенные модели и алгоритмы информационного обеспечения поддержки принятия решений стремятся обеспечить в СУОР выполнение хотя бы одного из условий формула (13):

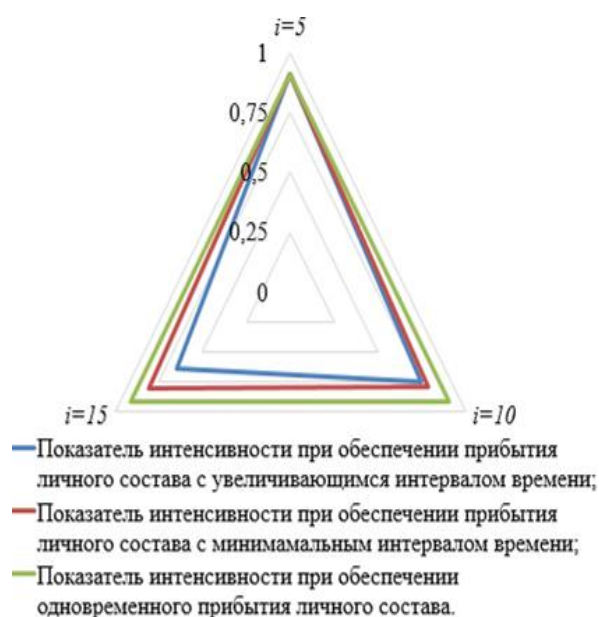


Рисунок 7 – Частный случай определения значения условного показателя $Int(i)$

$$\begin{cases} \tilde{I}^{BM*} > 0, \text{ при } I^{BM} > 0 \text{ (а)} \\ I_{Сем.}^{BM*} \geq 0, \text{ при } I^{BM} > 0 \text{ (б)} \end{cases}, \quad (13)$$

где \tilde{I}^{BM*} и $I_{Сем.}^{BM*}$ – значения условных показателей с применением информационного обеспечения поддержки принятия решений.

Если ЛПР (или начальник караула, который первым прибывает на место пожара) принимает управленческое решение на основе результата анализа ПВИ, полученного от средств видеомониторинга в режиме реального времени, тогда результат такого управления находит прямое отражение в значении \tilde{I}^{BM} . Отдельные компоненты \tilde{I}^{BM} определены при помощи формул (14 а) и (14 б):

$$\text{а) } P_{\text{до упр.}} = \exp\left(\frac{\tau_{ij}^*}{\tau_{ij}}\right), i = 5, \quad \text{б) } P_{\text{после упр.}} = \exp\left(\frac{\tau_{i^u j}^*}{\tau_{ij}^*}\right), i^u = 10, 15, 20, \quad (14)$$

где τ_{ij} ; τ_{ij}^* ; $\tau_{i^u j}^*$ – прогноз абсолютного времени, затраченного на: продвижение первого отделения на АЦ по дворовой территории многоквартирных домов к месту пожара до выявления осложняющих обстоятельств средствами видеомониторинга; после выявления осложняющих обстоятельств средствами видеомониторинга ($\tau_{ij}^*, \tau_{ij}^* \geq \tau_{ij}$); после принятия управленческого решения ($\tau_{i^u j}^*, \tau_{ij}^* \geq \tau_{i^u j}^* \geq \tau_{ij}$) соответственно.

На тестовых данных (полученных в результате анализа разборов пожаров, официальных статистических данных и материалов из СМИ) было проведено моделирование различных значений τ_{ij} (рисунок 8), исходя из возможных комбинаций множества элементов ($N_{л.с.}, ZP, F$). Были рассмотрены различные способы преодоления 100 метров дворовой территории.

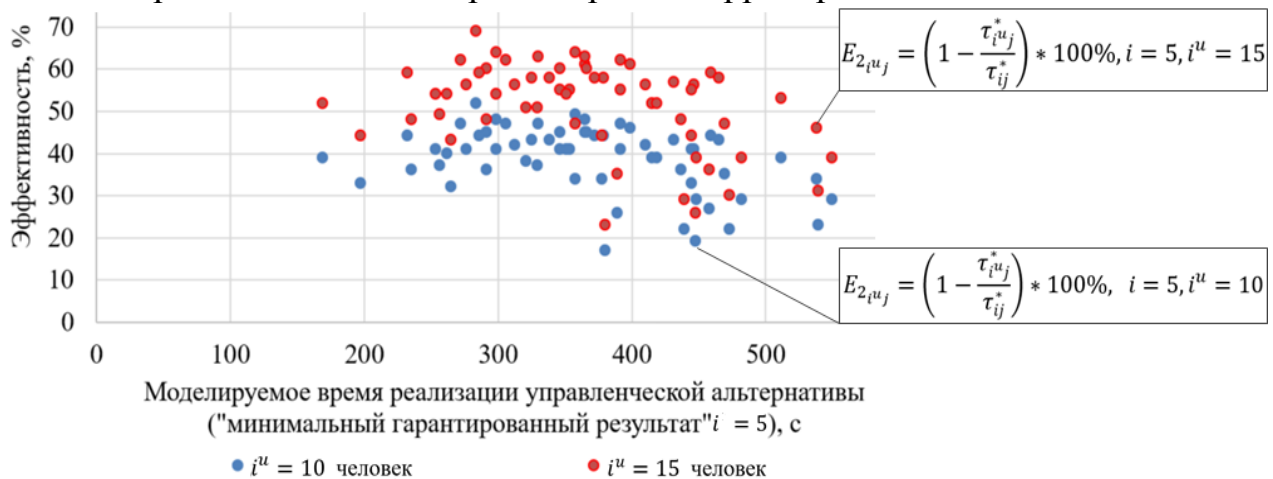


Рисунок 8 – Моделируемая эффективность применения модели M_2

Результаты моделирования показали, что чем больше моделируемое значение минимального гарантированного результата τ_{5j} , тем сложнее выявленная обстановка на месте пожара и тем тяжелее ее будет преодолеть силами и средствами одного отделения пожарной охраны (для моделирования $N_{л.с.}$ принято $i = 5$ человек). Модель M_2 , функционирующая на тестовых данных, позволяет оценить ЛПР различные управленческие альтернативы с теоретической эффективностью их реализации ($E_{2_{i^u j}}$, эффективность модели M_2): для множества управленческих альтернатив Alt_j

(при $i^u = 10$ человек) – $E_{2,i^u_j} = 38\%$, а для множества управленческих альтернатив Alt_j (при $i^u = 15$ человек) – $E_{2,i^u_j} = 50\%$. После адаптации модели M_2 и алгоритма Alg_2 под конкретный местный ПСГ у ЛПР появится возможность на раннем этапе реагирования подразделений пожарной охраны на пожар в городской среде, анализируя оперативный ПВИ (при условии $I^{BM} > 0$), получить данные для теоретического обоснования потребности привлечения дополнительных сил и средств к месту пожара в момент времени, близкий к моменту выезда первых подразделений.

Третья глава «Система информационного обеспечения поддержки принятия решений» посвящена разработке программной реализации моделей и алгоритмов информационного обеспечения поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде на раннем этапе реагирования. Разработана уровневая структура (рисунок 9 а) системы информационного обеспечения поддержки принятия решений (СИОППР), на основе которой формализован программный комплекс (ПК), объединяющий в себе разработанные модели и алгоритмы информационного обеспечения поддержки принятия решений. Структура СИОППР включает: два сегмента (информационный и аналитический); два блока (блок 1 (блок ПК 1) «Информационное обеспечение поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования» (рисунок 9 б) и блок 2 (блоки ПК 2 и 3) «Информационное обеспечение поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования» (рисунок 9 в). Произведена программная реализация СИОППР. Программная реализация осуществлена на языке программирования Python, информационные ресурсы реализованы при помощи табличного процессора. Для возможности ознакомления на любом типе персональных компьютеров и смартфонов с информацией, полученной в результате применения моделей и алгоритмов, вся полученная информация обобщается. С использованием языка программирования Python и языка гипертекстовой разметки документов формируется веб-страница (html-документ), которая открывается в браузере. Представленный ПК функционирует на тестовых данных, однако является адаптируемым для нужд различных местных ПСГ. Так как местные ПСГ обладают уникальными особенностями, то результат вычисления функции $t_{\text{преод.}}(\cdot)$ от аргументов $F_g \in F$ и характеристика элементов множества $ZP_e \in ZP$ будет для каждого местного ПСГ иметь уникальные значения. Данные должны собираться эмпирическим путем.

Применение разработанной СИОППР способствует ЛПР в решении задачи управления: создает условия в виде информационного обеспечения поддержки принятия решений при решении такой задачи, состоящей в принятии решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны к месту вызова на раннем этапе сосредоточения подразделений (до фактического прибытия первого отделения на АЦ).



Рисунок 9 – Уровневая структура и примеры оконных форм ПК

На рисунке 10 представлена последовательность решения задачи управления.

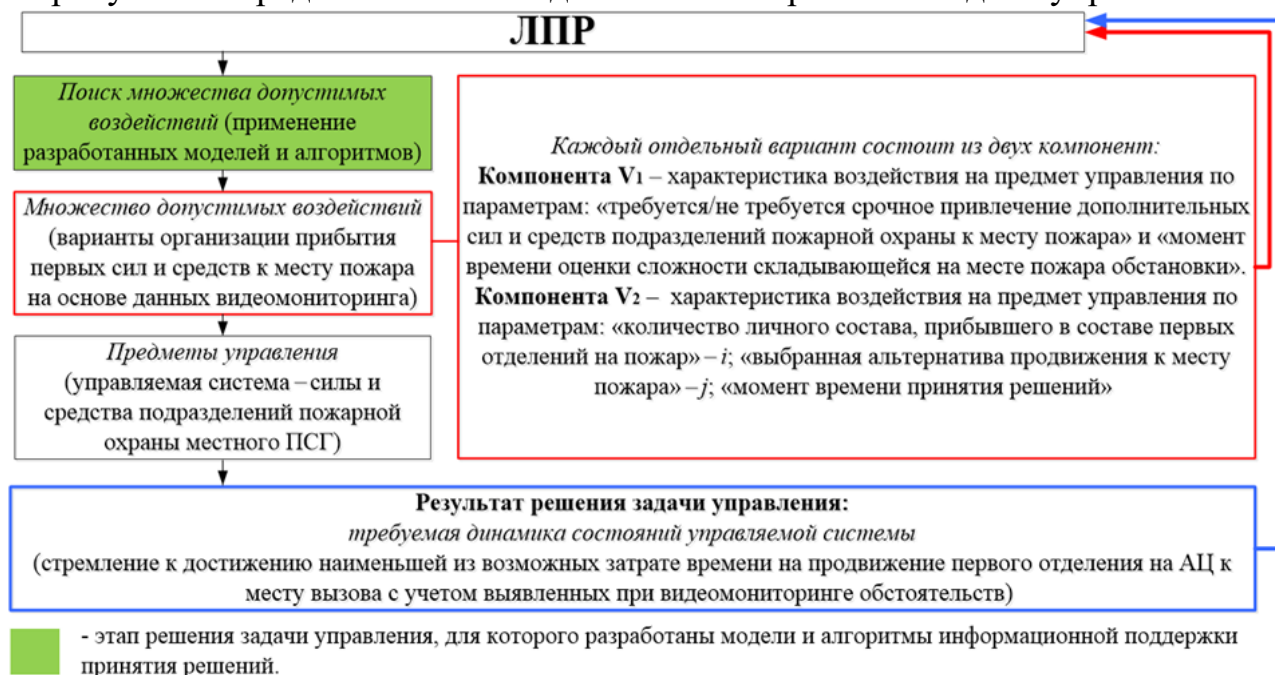


Рисунок 10 – Последовательность решения задачи управления в СУОР

Смысл, закладываемый в термин «задача управления», определяется известными в теории управления ОС источниками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные и практические результаты, полученные в ходе выполнения диссертационного исследования, заключаются в следующем:

1. Проведен анализ организационной системы управления оперативным реагированием на пожар в городской среде с интегрированной подсистемой видеомониторинга. Выделены этапы работы ЛПР, для которых существует потребность в разработке информационного обеспечения поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде. Проанализированы научные публикации и статистические данные, которые подчеркивают актуальность данного исследования. По результатам анализа сформулированы задачи исследования.

2. Разработаны модель и алгоритм информационного обеспечения поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования (до прибытия первых оперативных должностных лиц местного ПСГ на место пожара). В результате выполнения алгоритма ЛПР получает ранжированное по предпочтительности первоочередного ознакомления множество средств видеомониторинга, расположенных на территории местного ПСГ. Применение модели и алгоритма позволяет создать условия для уменьшения затраченного времени на поиск и выбор приоритетных средств видеомониторинга (сформировать тактический резерв времени в организационной системе управления оперативным реагированием на пожар в городской среде).

3. Разработаны модель и алгоритм информационного обеспечения поддержки принятия решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования. ЛПР,

выполнив этапы алгоритма, получает результаты имитационного моделирования, которые содержат сведения о требуемом ресурсе времени для реализации альтернативных вариантов продвижения первого прибывающего отделения на АЦ к объекту пожара, в зависимости от выявленных на подъездных путях (дворовой территории многоквартирных домов) факторах объективной действительности. Разработаны множества лексических переменных, характеризующие обстоятельства и факторы объективной действительности, которые могут быть выявлены ЛППР при помощи средств видеомониторинга, установленных в городской среде. Моделируемая эффективность от реализации сформированных управленческих альтернатив (при моделировании на тестовых данных) составляет 38–50 % (по отношению к моделируемому значению минимального гарантированного результата реализации соответствующей альтернативы). Результаты моделирования могут быть использованы: а) ЛППР для управления интенсивностью сосредоточения сил и средств подразделений пожарной охраны на месте пожара для обеспечения прироста условной вероятности выполнения основной боевой задачи на месте пожара по компоненту «своевременное привлечение участников боевых действий по тушению пожаров» относительно ситуации, выявленной на ранней стадии организации реагирования и неустранимой до прибытия первых подразделений к месту пожара; б) начальником караула, который первым прибывает на место пожара для выбора самого быстрого из доступных вариантов продвижения непосредственно к объекту пожара; в) старшими оперативными должностными лицами местного ПСГ, которые привлекаются на место пожара при повышении ранга пожара для подготовки превентивных управленческих решений.

Таким образом реализовано информационное обеспечение поддержки принятия решений при управлении сосредоточением подразделений пожарной охраны в городской среде на раннем этапе реагирования.

4. Выполнена программная реализация разработанных моделей и алгоритмов информационного обеспечения поддержки принятия решений в виде СИОППР. Разработанный ПК устанавливается на автоматизированное рабочее место ЛППР (персональный компьютер). Результаты моделирования обобщаются в веб-документе, который передается на планшет, находящийся в штатной комплектации реагирующих подразделений пожарной охраны. Объем файла составляет 1–5 Кб, что обеспечивает его быструю доставку, в том числе при низкой скорости передачи данных. Таким образом реализовано программное обеспечение поддержки принятия решений при управлении сосредоточением подразделений пожарной охраны в городской среде на раннем этапе реагирования.

Основные идеи, изложенные в диссертационном исследовании, в будущем могут быть адаптированы в области применения систем машинного зрения и искусственного интеллекта для формирования резерва времени у ЛППР на осуществление подготовки детально проанализированного управленческого решения за минимально возможным интервалом времени, прошедший с момента принятия сообщения о пожаре.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в научных изданиях, рекомендованных ВАК России

1. Апарин, А. А. Видеомониторинг: мировая практика использования и перспективы применения в обеспечении пожарной безопасности / А. А. Апарин. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – Вып. 1 (91). – С. 67–84.

2. Апарин, А. А. Базовые положения поддержки принятия решений при управлении подразделениями пожарной охраны / А. А. Апарин. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – Вып. 3 (93). – С. 88–102.

3. Апарин, А. А. Информационные ресурсы для планирования видеомониторинга действий по тушению техногенного пожара / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2022. – № 1(95). – С. 121–130.

4. Апарин, А. А. Применение видеомониторинга для информационной поддержки принятия управленческих решений при реагировании на техногенный пожар / А. А. Апарин. – Текст : непосредственный // Современные проблемы гражданской защиты. – 2022. – № 3(44). – С. 5–11.

5. Апарин, А. А. Модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при реагировании на пожар в городской среде / А. А. Апарин. – Текст : непосредственный // Современные проблемы гражданской защиты. – 2024. – № 3(52). – С. 105–111.

Свидетельства о регистрации баз данных и программ для ЭВМ

6. Апарин, А. А. Имитационное моделирование времени движения по внутривортовой территории первого прибывающего к месту пожара отделения на автоцистерне: свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2024681047, 04.09.2024 / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов, А. О. Семенов. – Текст : непосредственный.

7. Апарин, А. А. Ресурсы информационного обеспечения видеомониторинга техногенного пожара при управлении сосредоточением подразделений пожарной охраны: свидетельство Роспатента о государственной регистрации базы данных RU № 2022621056, 08.06.2022 / А. А. Апарин. – Текст : непосредственный.

8. Апарин, А. А. Информационные ресурсы для планирования видеомониторинга действий по тушению техногенного пожара: свидетельство Роспатента о государственной регистрации базы данных RU № 2022620524, 15.03.2022 / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов, А. О. Семенов. – Текст : непосредственный.

9. Апарин, А. А. Условные графические обозначения камер видеонаблюдения, предназначенные для интеграции в картографический сервис, используемый должностными лицами оперативной дежурной смены Центра управления в кризисных ситуациях: свидетельство Роспатента о государственной

регистрации базы данных RU № 2024620419, 25.01.2024 / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов, А. О. Семенов. – Текст : непосредственный.

10. Апарин, А. А. Программа для формирования подборки оперативной видеoinформации для оперативных должностных лиц пожарно-спасательного гарнизона: свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2023689145, 26.12.2023 / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов, А. О. Семенов. – Текст : непосредственный.

Монография

11. Тараканов, Д. В. Модели мониторинга пожаров на открытых территориях : монография / Д. В. Тараканов, А. О. Семенов, А. А. Апарин. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. – 103 с. – Текст : непосредственный.

Публикации в других изданиях

12. Апарин, А. А. Мониторинг пожаров на открытых территориях / А. А. Апарин, А. О. Семенов. – Текст : непосредственный // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции, посвященной проведению в Российской Федерации Года науки и технологий в 2021 году и 55-летию учебного заведения. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. – С. 234–241.

13. Апарин, А. А. Информационно-аналитическое обеспечение видеомониторинга при оперативном реагировании на пожар на основе данных со стационарных систем / А. А. Апарин. – Текст : непосредственный // Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. – 2022. – № 11. – С. 258–262.

14. Апарин, А. А. Определение оптимальности управленческой реакции на складывающуюся обстановку на пожаре при ведении оперативного видеомониторинга / А. А. Апарин. – Текст : непосредственный // Тезисы XXIII Всероссийской конференции молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям, Новосибирск, 24–28 октября 2022 года. – Новосибирск: ФГБНУ «ФИЦ ИВТ», 2022. – С. 47.

15. Апарин, А. А. Разработка классификации источников видеомониторинга техногенного пожара для создания информационных ресурсов / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов, А. О. Семенов. – Текст : непосредственный // Информационные технологии в сфере РСЧС и ГО: сборник трудов XXXII Международной научно-практической конференции. – Химки: АГЗ МЧС России, 2022. – С. 11–16.

16. Апарин, А. А. Программный комплекс для поддержки принятия решений при видеомониторинге пожаров в городской среде / А. А. Апарин. – Текст : непосредственный // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. – С. 973–976.