

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

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

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)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Семенов Алексей Олегович

Иваново – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ РЕАГИРОВАНИИ НА ПОЖАР В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ	11
1.1. Анализ управления в организационной системе	15
1.1.1. Мониторинг в организационной системе	18
1.1.2. Рассматриваемый период реализации управления в организационной системе.....	20
1.1.3. Описание элементов организационной системы	23
1.1.4. Задачи управления, решаемые в организационной системе на основе данных видеомониторинга.....	30
1.1.5. Анализ алгоритма применения средств видеомониторинга в организационной системе и выявление недостатков	32
1.2. Анализ дефицита информации в организационной системе	36
1.3. Анализ общих положений о решении задач управления при сосредоточении подразделений пожарной охраны.....	45
1.4. Анализ опыта применения средств видеомониторинга в работе экстренных служб.....	49
Выводы по главе 1	58
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ	60
2.1. Математическая постановка задачи исследования.....	61
2.2. Модель информационного обеспечения поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования	66
2.3. Алгоритм информационного обеспечения поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования	73

2.4. Модель информационного обеспечения поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования	77
2.5. Алгоритм информационного обеспечения поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования	89
Выводы по главе 2	93
ГЛАВА 3. СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ.....	95
3.1. Функциональная структура системы информационного обеспечения поддержки принятия решений	97
3.2. Программная реализация системы информационного обеспечения поддержки принятия решений	102
3.3. Алгоритм применения средств видеомониторинга в организационной системе с использованием системы информационного обеспечения поддержки принятия решений	115
3.4. Внедрение программного комплекса в структуру организационной системы.....	117
3.5. Решение задачи управления с применением системы информационного обеспечения поддержки принятия решений	119
Выводы по главе 3	133
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	134
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	137
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	138
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ВИДЕОМОНИТОРИНГА ПОЖАРОВ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ.....	159
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. СВИДЕТЕЛЬСТВА О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ БАЗ ДАННЫХ И ПРОГРАММ ДЛЯ ЭВМ	162
ПРИЛОЖЕНИЕ В. АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ..	168

ВВЕДЕНИЕ

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 ЛППР 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 [21–25], Д. А. Новикову [54–58], А. Г. Чхартишвили [55–56], О. Hart, J. Moore [131–132] и др. Вопросы измерения количественных характеристик информации на фундаментальном уровне были заложены А. А. Харкевичем [120], М. М. Бонгардом [18], В. И. Корогодиным [45], С. Е. Shannon [125] 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 [20], С. В. Соколова [20, 103], В. Л. Семикова [96–98], В. Б. Коробко [44, 53, 107], Д. В. Тараканова [108–112], А. Н. Денисова [36, 107], Ю. А. Матюшина [51, 69, 71, 107], Т. С. Станкевич [105–106], А. В. Кузнецова [46–48], S. Cohen-Hatton [129], D. J. Power [137] 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 ЛПП 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»).

Публикации работы. 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.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ РЕАГИРОВАНИИ НА ПОЖАР В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

В данной главе проводится анализ системы управления оперативным реагированием на пожар в городской среде (СУОР) и процесса управления сосредоточением подразделений пожарной охраны в городской среде с позиции теории управления в организационных системах (ОС).

Городская среда – это «совокупность территориально выраженных природных, архитектурно-планировочных, экологических, социально-культурных и других факторов, характеризующих среду обитания в муниципальных образованиях (в том числе в сельских поселениях) и определяющих комфортность проживания на такой территории» [29].

На основе подхода к определению ОС, предложенного в работе [57], разработана дефиниция СУОР. В диссертации рассматривается случай, когда подсистема видеомониторинга интегрирована в СУОР и является ее неотъемлемой частью. Подсистема видеомониторинга предназначена для получения ПВИ, поступающего с места пожара в режиме реального времени на раннем этапе организации реагирования подразделений пожарной охраны.

Гипотеза научного исследования состоит в том, что информационное обеспечение поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде на раннем этапе реагирования позволяет повысить эффективность данного управления (оптимизировать определенные элементы процесса управления в СУОР по критерию времени).

Для проведения детального анализа и установления системных связей использован агентный подход. С позиции агентного подхода представлено описание элементов СУОР. Также в главе проанализированы основные задачи управления, решаемые при реализации стадии видеомониторинга в СУОР; разработан и исследован общий алгоритм применения средств видеомониторинга в СУОР, а также выделены этапы работы ЛПР (в рамках данного алгоритма), для

которых особенно четко прослеживается потребность в разработке информационного обеспечения поддержки принятия решений. Проведен анализ практики функционирования систем управления оперативным реагированием сил и средств служб экстренной помощи с интегрированной подсистемой видеомониторинга. Исследованы научные публикации в области разработки моделей и алгоритмов, предназначенных для информационной поддержки принятия решений при организации тушения пожаров на открытых территориях.

В результате анализа официальных статистических данных выявлена тенденция увеличения плотности населения в городе Москве (рисунок 1.1).

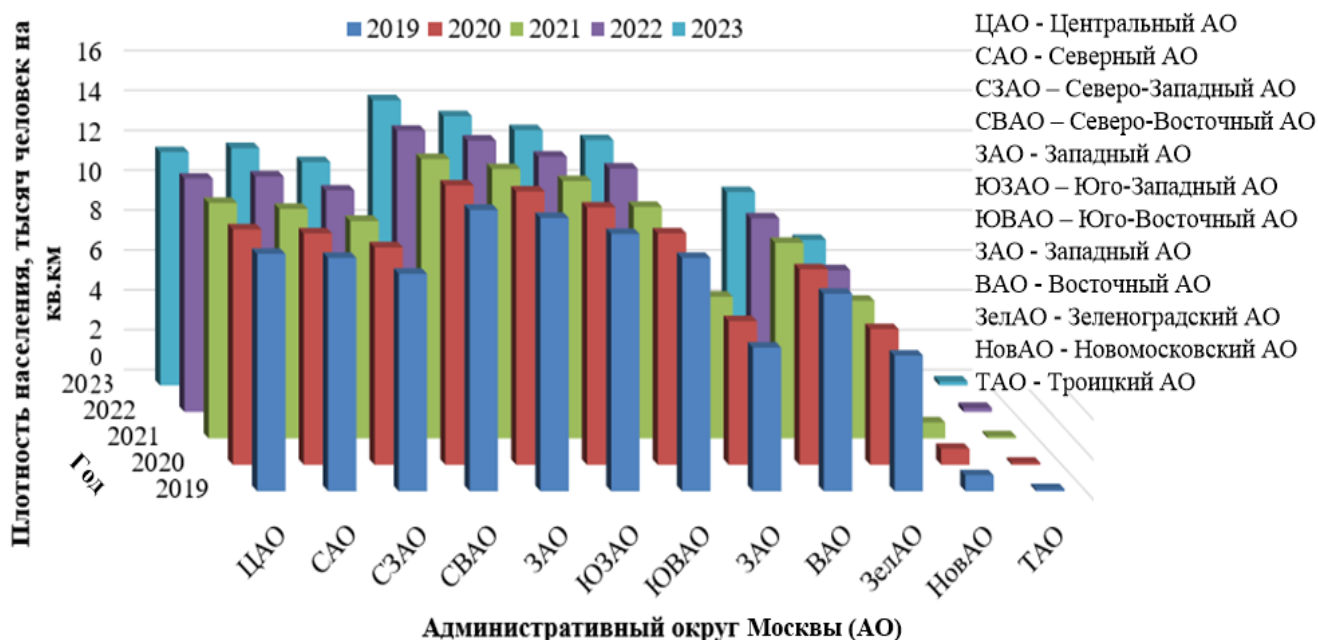


Рисунок 1.1 – Динамика изменения плотности населения в административных округах города Москвы за 2019–2023 гг.

Увеличение плотности населения сопровождается увеличением количества частных автомобилей, зарегистрированных на территории данного города (рисунок 1.2, по данным единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС). При этом отмечается, что среднее количество легковых автомобилей, ежедневно выезжающих на городские дороги, уменьшается (по данным средств массовой информации (СМИ). Таким образом, все больше

автомобилей остается на парковках внутри дворовых территорий многоквартирных домов, вследствие чего проезд внутри дворовых территорий становится более затрудненным.

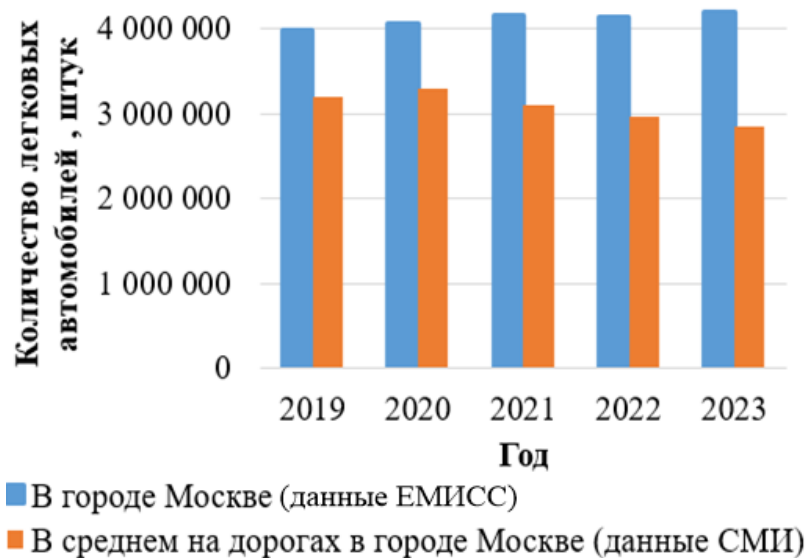


Рисунок 1.2 – Динамика изменения количества зарегистрированных автомобилей и среднего количества автомобилей на дорогах в городе Москве за 2019–2023 гг.

Дворовые территории – это «территории, прилегающие к многоквартирным домам, с расположенными на них объектами, предназначенными для обслуживания и эксплуатации таких домов, и элементами благоустройства этих территорий, в том числе парковками (парковочными местами), тротуарами и автомобильными дорогами, включая автомобильные дороги, образующие проезды к территориям, прилегающим к многоквартирным домам» [68].

Также проведено изучение новостных сообщений, опубликованных в СМИ за период 2019-2024 гг. Выявлено более 100 случаев, когда первое прибывшее отделение на АЦ столкнулось с проблемами продвижения к месту пожара по дворовой территории многоквартирных домов (рисунок 1.3).

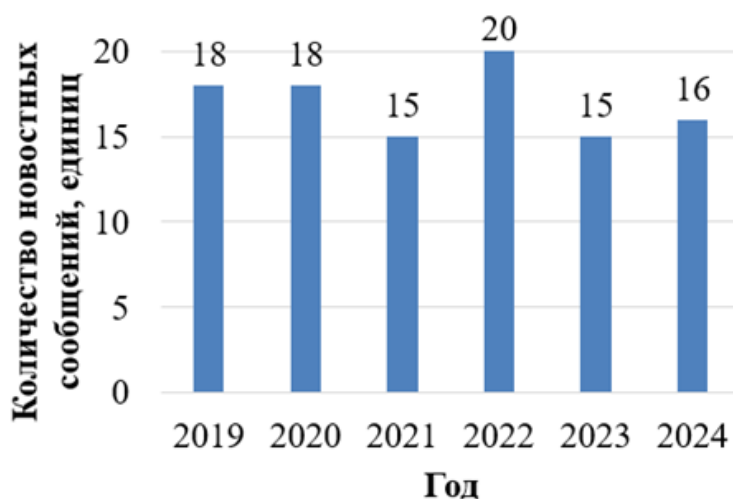


Рисунок 1.3 – Количество новостных сообщений в СМИ о случаях с затруднением продвижения к месту пожара по дворовой территории многоквартирных домов за 2019–2024 гг.

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.

В работе [97] выявлена величина среднего прироста ущерба от развивающегося пожара, приходящегося на каждую минуту следования первых сил и средств подразделений пожарной охраны к месту вызова.

Согласно исследованию статистики пожаров, представленному в научной статье [127], для данных по Центральному, Северо-Западному, Сибирскому и Дальневосточному федеральным округам Российской Федерации значение коэффициента парной корреляции указывает на среднюю корреляционную связь между показателем времени прибытия первого подразделения к месту пожара и количеством погибших на пожарах людей.

В этой связи является актуальным вопрос о применении средств получения дополнительной информации с места развивающегося пожара в период времени «до прибытия первых оперативных должностных лиц местного ПСГ на место пожара», для ранней оценки сложности складывающейся обстановки должностными лицами, входящими в структуру СУОР.

1.1. Анализ управления в организационной системе

Основываясь на подходе к определению ОС, предложенном в работе [57], СУОР может быть охарактеризована следующим образом.

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 ПСГ (объект СУОР) в целях минимизации потенциального ущерба от развивающегося пожара.

Представленный коллективом (субъект управления представляет группу лиц, принимающих решения (ЛПР) должностных лиц субъект управления на основе имеющейся информации осуществляет воздействие на объект управления.

Объект управления представлен силами и средствами подразделений пожарной охраны местного ПСГ (задействованных и незадействованных по отношению к конкретному пожару). Объект управления является активным. Субъект управления формирует управленческое воздействие на объект управления таким образом, чтобы минимизировать все возможные виды ущерба от развивающегося пожара (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Характеристика организационной СУОР

Активность объекта управления заключается в том, что изменение его состояния в момент реализации управленческой альтернативы $u_i \in U_{\text{доп.}}$ (i – идентификатор (характеристика) управленческой альтернативы в множестве допустимых элементов $U_{\text{доп.}}$) должно инициировать положительное изменение обстановки на месте пожара (чтобы реализация управленческой альтернативы способствовала спасению людей, а также снижению времени, затраченного на локализацию и (или) ликвидацию пожара).

Предметом управления СУОР является информированность участников организационной системы (субъекта и объекта). Ключевую роль в данном случае имеет информация о состоянии (сложности) складывающейся на месте пожара

обстановки. От полноты такой информации и времени ее поступления в СУОР зависит своевременность принятия управленческих решений и величина потенциального ущерба от развивающегося пожара [97].

Основными задачами СУОР в период активности субъекта управления (рисунок 1.4), рассматриваемыми в исследовании, являются:

– мониторинг и анализ текущего состояния обстановки с пожарами в местном ПСГ – прием и обработка сообщений о пожаре, а также принятие управленческих решений в соответствии с Расписанием выезда подразделений ПСГ (документом, подготовленным и утвержденным заблаговременно для принятия оперативных решений). Задача является элементом функции организационного управления – планирование;

– обеспечение необходимого ресурса сил и средств подразделений пожарной охраны для ликвидации пожара: привлечение основных и дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны (объект управления СУОР) к месту пожара, в соответствии с выявленной обстановкой до момента появления на месте развития пожара первого нештатного должностного лица – руководителя тушения пожара (РТП). Задача является элементом функции организационного управления – организация;

– стимулирование процесса минимизации всех видов потенциального ущерба от развивающегося пожара за счет управления сосредоточением сил и средств подразделений пожарной охраны к месту пожара (также информационная поддержка ЛПР СУОР и находящихся в пути следования должностных лиц пожарной охраны, которые придут первыми к месту пожара (активный объект СУОР). Задача является элементом функции организационного управления – стимулирование;

– контроль состояния складывающейся на месте пожара обстановки (применение технических средств мониторинга). Задача является элементом функции организационного управления – контроль.

1.1.1. Мониторинг в организационной системе

Субъект управления СУОР при осуществлении оперативного сбора информации о состоянии складывающейся на месте пожара обстановки использует источники информации, в том числе технические средства мониторинга, установленные в городской среде, которые предназначены для непрерывного наблюдения за состоянием объективной действительности с целью контроля изменений ее состояния [28]. Применение источников дополнительной информации (средств видеомониторинга) осуществляется в целях повышения уровня информированности ЛПР при управлении сосредоточением на месте пожара первых и дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны.

Мониторинг в организационных системах чаще всего рассматривается со следующих основных позиций (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Точки зрения на статус мониторинга

Статус	Характеристика
Элемент комплекса задач управления	Входит в состав функции управления – планирование [54]. Наблюдение за состоянием управляемой системы в фазе проектирования управления (получение первоначальной информации)
	Входит в состав функции управления – контроль [54]. Наблюдение за состоянием управляемой системы в фазе рефлексии (получение оперативной информации)
Стадия	Является стадией фазы реализации – управления [54]. Выполняется подготовка информационной основы для осуществления стадии оперативного управления
Функция управления	Выступает в качестве координационной функции управления, которая объединяет в единую систему функции управления – планирование, организация, мотивация и контроль [87]. Выполняется подготовка информационной основы для принятия управленческих решений

В данной работе мониторинг (формально представлен процессом видеомониторинга) рассматривается в качестве стадии фазы управления сосредоточением подразделений пожарной охраны в городской среде. Стадия

мониторинга в рамках СУОР представлена циклическим процессом: поиск источника информации – запрос информации – получение информации – расшифровка (извлечение смысловой информации). Стадия мониторинга реализуется для снижения различного рода дефицита информации в СУОР перед принятием управленческих решений.

В качестве технических средств мониторинга рассматриваются системы и средства видеомониторинга [6]. При реализации стадии мониторинга происходит аккумуляция информации, поступающей в СУОР извне. Накопленная информация может быть использована для реализации управления – перевода объекта управления СУОР в предпочтительное для субъекта управления состояние.

Стоит отметить, что при оперативном реагировании сил и средств подразделений пожарной охраны на пожар (после его фактического обнаружения) совокупность информационных потоков формируется за счет трех основных направлений:

- оперативное изучение документации предварительного планирования;
- оперативный анализ сообщений очевидцев пожара, работа с информацией из СМИ;
- оперативное визуальное наблюдение по мере приближения штатных должностных лиц подразделений пожарной охраны к объекту пожара (становится возможным визуально оценить обстановку, однако в ряде случаев такая оценка возможна только после фактического прибытия по точному адресу);
- оперативная удаленная оценка сложности складывающейся ситуации на месте пожара при помощи средств видеомониторинга.

Далее в работе рассматриваются вопросы, связанные с разработкой информационного и программного обеспечения поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде при осуществлении оперативного видеомониторинга места пожара на раннем этапе реагирования.

КВ для СУОР являются в техническом контексте средством мониторинга (средством видеомониторинга), а в информационном контексте – источником информации (источником видеоинформации).

Совокупность непрерывно поступающих в СУОР дискретных единиц видеоинформации далее называется ПВИ.

Основными задачами анализа ПВИ, поступающего от средств видеомониторинга в СУОР в режиме реального времени, являются:

- оценка сложности обстановки, складывающейся на месте пожара на раннем этапе реагирования подразделений пожарной охраны;
- информационная поддержка должностных лиц, следующих к месту пожара.

В СУОР реализация стадии мониторинга возложена на субъект управления (ЛПР). ЛПР является неотъемлемой компонентой центра управления СУОР.

1.1.2. Рассматриваемый период реализации управления в организационной системе

В данном исследовании стадия мониторинга рассматривается в период времени от фактического выезда сил и средств подразделений пожарной охраны до их прибытия под руководством оперативных должностных лиц на место пожара (период следования к месту пожара): $t_{\text{след.}} \in [t_2; t_3], t_{\text{след.}} \subset T$ ($T = [t_0; t_l]$, где t_0 – момент времени, в который обнаружен пожар; t_l – момент времени, в который произведена ликвидация пожара). Исследуемый период реализации управления, период реализации видеомониторинга ($t_{\text{видеомониторинг}}$) и период времени, в который ЛПР производит оценку обстановки на месте пожара при помощи средств видеомониторинга ($t_{\text{оц.}}$), принадлежат интервалу $[t_2; t_3]$. Фиксированный момент времени из интервала $[t_2; t_3]$ обозначается $t' \in [t_2; t_3]$. В работе объект исследования локализован во времени между событиями «2» и «3» включительно (рисунок 1.5, таблица 1.2).

Рассматриваемая часть процесса сосредоточения сил и средств подразделений пожарной охраны к месту пожара в контексте применения средств видеомониторинга

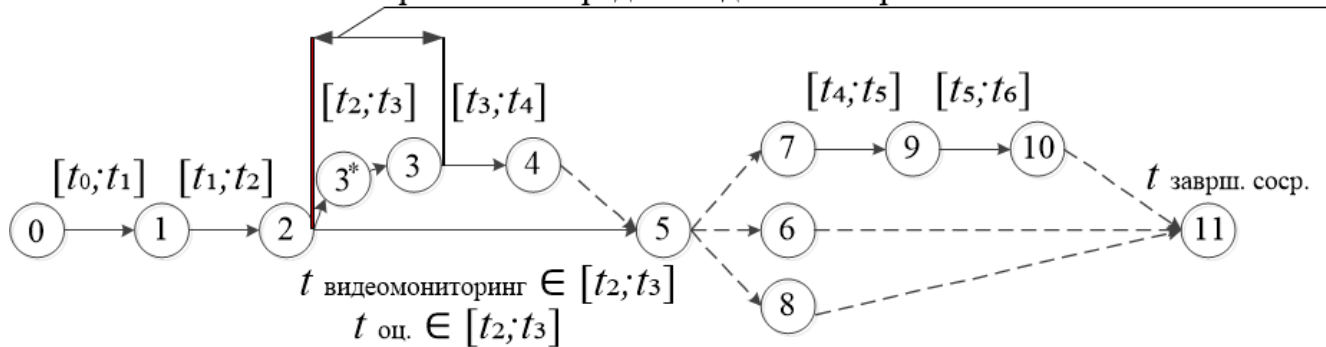


Рисунок 1.5 – Процесс сосредоточения сил и средств подразделений пожарной охраны к месту пожара в виде взвешенного ориентированного графа

Результат реализации управленческой альтернативы u_i может быть определен векторной функцией времени $u_i(t')$, результат вычисления которой является элементом некоторого пространства состояний $PR_{\text{сост.}}$. Множество результатов нахождения вектор-функций времени $u_i(t')$ обозначено $U_{\text{доп.}}^{PR_{\text{сост.}}}$.

Таблица 1.2 – Пояснение к ориентированному графу процесса сосредоточения сил и средств подразделений пожарной охраны (СиС) к месту пожара [13]

№	Работа (наименование)	Работа (код)	Событие	Вес (время)
0.	Обнаружение пожара	0-0	Пожар обнаружен	$t_0 \in T$
1.	Сообщение очевидцев о пожаре / срабатывание автоматической пожарной сигнализации (АПС)	0-1	Звонок в 112, 101/ автоматическое оповещение подразделения	$t_1 \in T$
2.	Прием и обработка информации диспетчером	1-2	Сбор и выезд СиС	$t_2 \in T$
3*.	Следование к месту пожара	2-3*	Прибытие к съезду на дворовую территорию	$t_{3^*} \in T$
3.	Продвижение по дворовой территории	3*-3	Прибытие к объекту пожара	$t_3 \in T$
4.	Оценка обстановки на месте пожара / боевое развертывание	3-4	Передача информации, готовность к введению СиС / подача первого ствола	$t_4 \in T$
5.	Процесс принятия решения о достаточности СиС	4-5	Решение о достаточности / недостаточности СиС	-
5.1.	Принятие решения о достаточности СиС	5-6	Подтверждение ранга	-

Продолжение таблицы 1.2

№	Работа (наименование)	Работа (код)	Событие	Вес (время)
5.2.	Принятие решения о достаточности СиС	5-7	Повышение ранга (также необходимость вызова на место пожара дополнительных подразделений и служб жизнеобеспечения)	-
5.3.	Принятие решения о достаточности СиС	5-8	Снижение ранга	-
6.	Прием и обработка информации диспетчером (получившим информацию)	7-9	Сбор и выезд СиС	$t_5^{\text{№}} \in T$, № – номер итерации привлечения дополнительных СиС
7.	Следование к месту пожара и боевое развертывание	9-10	Прибытие к месту (готовность к введению СиС), циклическое возвращение к работе с кодом «4-5»	$t_6^{\text{№}} \in T$
8.	-	6-11	Сосредоточение завершено – СиС достаточно для ликвидации пожара	$t_{\text{заверш.соср.}} \in T$
9.	-	8-11		
10.	-	10-11		

В наиболее общем виде процесс сосредоточения сил и средств подразделений пожарной охраны к месту пожара представлен в виде ориентированного взвешенного графа (рисунок 1.4), где вес работ – время их выполнения.

Сетевой график (таблица 1.3) помогает четко выделить положение рассматриваемого в диссертации этапа оперативного реагирования в циклическом процессе сосредоточения сил и средств подразделений пожарной охраны к месту развивающегося пожара. В исследовании рассматриваются все допустимые варианты управления, реализуемые в интервал времени $[t_2; t_3]$ (на оси времени между событиями «2» и «3»). В таблице 1.3 приведены пояснения к рисунку 1.5 с раскрытием сущности работ, событий и веса каждой работы. Причем процесс 5-12 циклично повторяется до прибытия необходимого количества сил и средств подразделений пожарной охраны.

Работа, имеющая код «2-3», на которой сделан акцент исследования, в структурном плане является всего лишь пятой частью процесса «0-5», однако может иметь наибольший вес (время выполнения) в сравнении с другими работами.

Работа, имеющая код «3*-3», означает этап процесса сосредоточения подразделений пожарной охраны в городской среде, на котором осуществляется продвижение по дворовой территории многоквартирных домов к месту пожара первого прибывающего отделения на АЦ.

1.1.3. Описание элементов организационной системы

Для детального описания реализации управления в СУОР и формализации при этом роли подсистемы видеомониторинга использован агентный подход к описанию систем. Агентное моделирование ранее применялось рядом авторов [35, 43, 49, 128] для решения вопросов, связанных с оперативным реагированием служб жизнеобеспечения при возникновении деструктивных событий различного характера, негативно сказывающихся на условиях жизнедеятельности населения.

Наиболее значимые агенты СУОР определены следующим образом (1.1):

$$M_{\text{СУОР (A.)}} = (\Omega_{\text{ЦУ}}, O, \theta, OS), \quad (1.1)$$

$\Omega_{\text{ЦУ}}$ – агент, моделирующий центр управления СУОР (управляющая система; включает субъект управления – ЛПР) с интегрированной подсистемой видеомониторинга, в период $t_{\text{след.}} \in T$;

O – агент, моделирующий состояние сил и средств местного ПСГ (задействованных и недействованных по отношению к конкретному пожару) в период $t_{\text{след.}} \in T$ (управляемая система; объект управления в СУОР);

Θ – агент, моделирующий информированность ЛПР о сложности складывающейся на месте пожара обстановки в период $t_{след.} \in T$ (информация);

OS – агент, моделирующий среду взаимодействия агентов $M_{СУОР}(A)$.

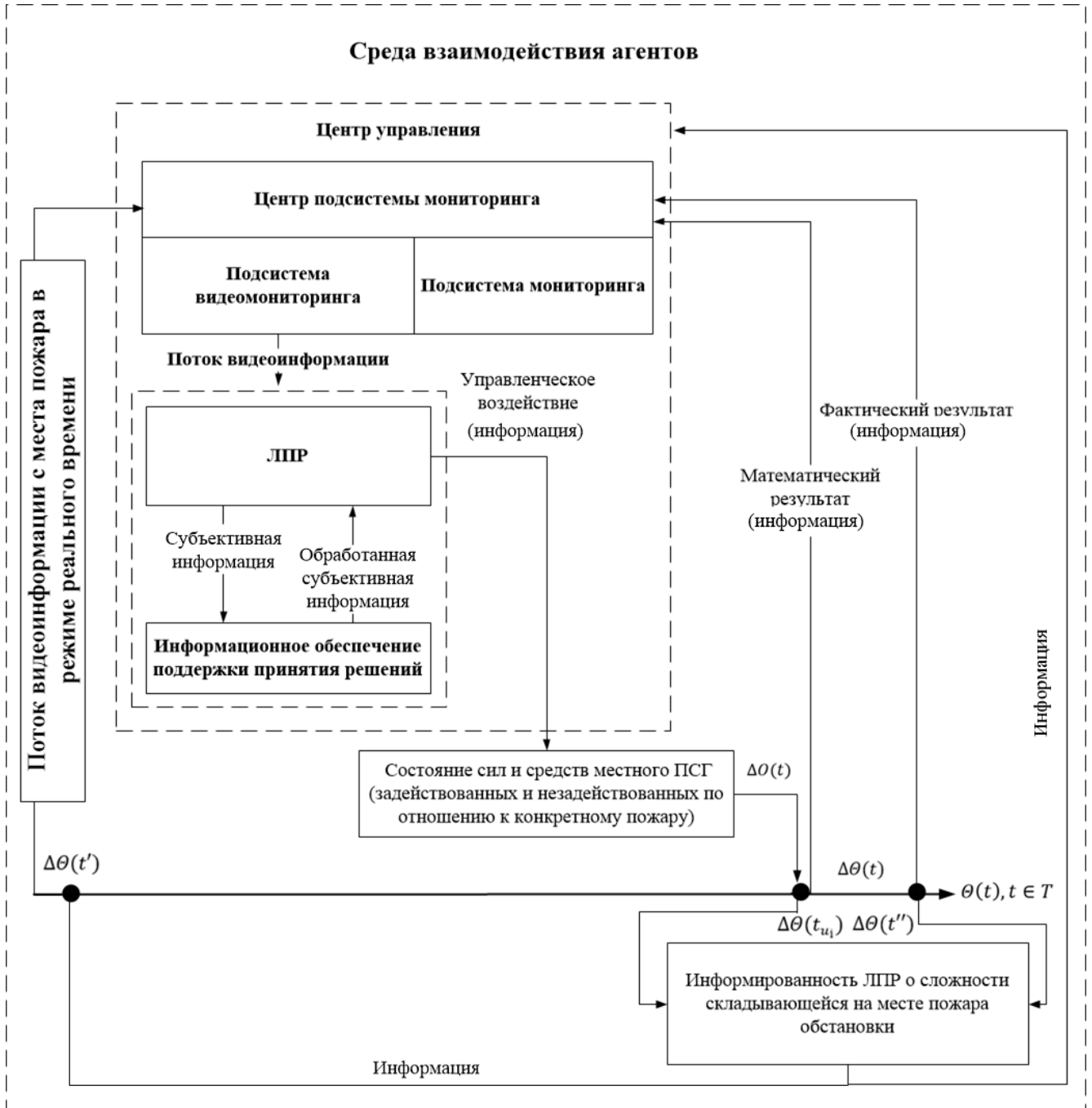


Рисунок 1.6 – Информационные связи агентов в СУОР

Структура агента, моделирующего центр управления СУОР, с интегрированной подсистемой видеомониторинга $\Omega_{\text{ЦУ}}$ (управляющая система СУОР, также – субъект управления) раскрывается следующим образом (1.2):

$$\Omega_{\text{ЦУ}} = (L, A, PPR, U_{\text{доп.}}^{PR_{\text{сост.}}}, S_{t'}^{\Omega_{\text{ЦУ}}}, t'), \quad (1.2)$$

где L – ЛПР СУОР;

A – ПВИ, поступающий ЛПР СУОР с места пожара;

PPR – подсистема поддержки принятия решений;

$U_{\text{доп.}}^{PR_{\text{сост.}}}$ – множество результатов нахождения вектор-функций времени $u_i(t')$, описывающих допустимые управленческие альтернативы; результат нахождения вектор-функции, описывающей оптимальную управленческую альтернативу, составляет подмножество-сингелтон

$$U_{\text{опт.}}^{PR_{\text{сост.}}} \in U_{\text{доп.}}^{PR_{\text{сост.}}}.$$

$S_{t'}^{\Omega_{\text{ЦУ}}}$ – состояние агента $\Omega_{\text{ЦУ}}$ в фиксированный момент времени t' .

Модель ЛПР представлена следующим образом (1.3):

$$L = (a(\cdot), b(\cdot), \varepsilon, t_{\text{оц.}}, u_i), \quad (1.3)$$

где $a(\cdot)$ – функция, отображающая результаты анализа поступающей в режиме реального времени с места пожара графической видеоинформации от средств видеомониторинга;

$b(\cdot)$ – функция, отображающая структуру объекта управления O в фиксированный момент времени t' ;

ε – субъективная составляющая ЛПР.

ЛПР осуществляет управление по некоторому закону Z , задаваемому формулой (1.4). Закон показывает взаимосвязь между управленческой альтернативой u_i и соответствующим результатом $x_i \in X_{\text{упр.}}^{\text{результ.}}$.

$$Z = (a(A, \varepsilon), b(u_i, \theta(t'))). \quad (1.4)$$

При этом результат управления $x_i \in X_{\text{доп.}}$ задан отображением (1.5):

$$x_i = b(u_i, \theta(t')). \quad (1.5)$$

Агент, моделирующий состояние сил и средств местного ПСГ (задействованных и недействованных по отношению к конкретному пожару) в период времени $t_{\text{след.}} \in T$ (объект управления в СУОР), задан кортежем (1.6):

$$O = (SiS_{\text{св.}}, SiS_{\text{зан.}}, \Delta O_{u_i}, S_{t'}^O, t'), \quad (1.6)$$

где $SiS_{\text{св.}}$ – силы и средства подразделений пожарной охраны местного ПСГ, свободные в момент времени t' ;

$SiS_{\text{зан.}}$ – силы и средства подразделений пожарной охраны местного ПСГ, выехавшие на конкретный пожар на момент времени t' ;

ΔO_{u_i} – условное выражение управленческой реакции агента $\Omega_{\text{СУ}}$ (изменение состояния управляемой системы) по итогам оценки сложности обстановки на месте пожара;

$S_{t'}^O$ – состояние агента O в момент времени t' (также, $S_{t'}^O = O(t')$).

Реакция агента $\Omega_{\text{ЦУ}}$ на поступающую информацию, формирующая состояние $O(t_2)$, соответствует положениям Расписания выезда подразделений местного ПСГ для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ (первоначальная высылка сил и средств подразделений пожарной охраны). Реакция агента $\Omega_{\text{ЦУ}}$ на информацию, полученную от средств видеомониторинга после высылки сил и средств подразделений пожарной охраны, формирует состояние $O(t')$, где $t' > t_2$.

Состояния O в интервале времени $t_{\text{след.}} \in [t_2; t_3]$ описаны вектором (1.7):

$$O(t_{\text{след.}}) = (O(t_2), \dots, O(t_3)). \quad (1.7)$$

Реакция агента $\Omega_{\text{ЦУ}}$, связанная с получением результата анализа видеoinформации, поступившей в СУОР при реализации видеомониторинга (1.8 а), свидетельствует о высылке дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны к месту пожара. Другая ситуация (1.8 б) свидетельствует об отсутствии реакции агента $\Omega_{\text{ЦУ}}$, выраженной через приращение сил и средств подразделений пожарной охраны:

$$\begin{cases} \Delta O_i = O(t') - O(t_2), \\ \left[\begin{array}{l} \Delta O_i > 0 \text{ (а)} \\ \Delta O_i = 0 \text{ (б)} \end{array} \right. \end{cases}, \quad (1.8)$$

Агент θ (1.9) моделирует информированность ЛПР о сложности складывающейся на месте пожара обстановки в период времени $t_{\text{след.}} \in [t_2; t_3]$:

$$\theta = (\Delta\theta, S_{t'}^\theta, t'), \quad (1.9)$$

где $\Delta\theta_{ab}$ – динамика изменений состояния агента во времени от t_a к t_b ,

$t_a < t_3, t_b \leq t_3, t_a < t_b; t_a, t_b \in t_{\text{след.}}$;

$S_{t'}^\theta$ – состояние агента θ в момент времени t' ($S_{t'}^\theta = \theta(t')$).

Данный агент в СУОР представлен исключительно в виде информации об объекте материального мира (который не входит в СУОР), на котором развивается пожар, и о явлениях и событиях, происходящих на месте пожара, выявленных средствами видеомониторинга.

Если верно утверждение (1.10 а), значит СУОР получило за некоторый интервал времени ненулевое количество полезной или семантической информации, при помощи которой возможно на раннем этапе реагирования

оценить сложность обстановки, складывающейся на месте пожара. Если верно (1.10 б), то в СУОР не поступило полезной или семантической информации, при помощи которой возможно на раннем этапе реагирования оценить сложность обстановки:

$$\begin{cases} \Delta\theta_{ab} = \theta(t_b) - \theta(t_a) \\ \left[\begin{array}{l} \Delta\theta_{ab} > 0, \text{ (а)} \\ \Delta\theta_{ab} = 0, \text{ (б)} \end{array} \right. \end{cases} . \quad (1.10)$$

Центр подсистемы видеомониторинга $\Omega_{ЦУ}^{ПВМ}$ интегрирован в систему мониторинга $\Omega_{ЦУ}^{СМ}$ и является составной частью центра управления СУОР $\Omega_{ЦУ}$. Сформирована связь: $\Omega_{ЦУ}^{ПВМ} \in \Omega_{ЦУ}^{СМ} \in \Omega_{ЦУ}$.

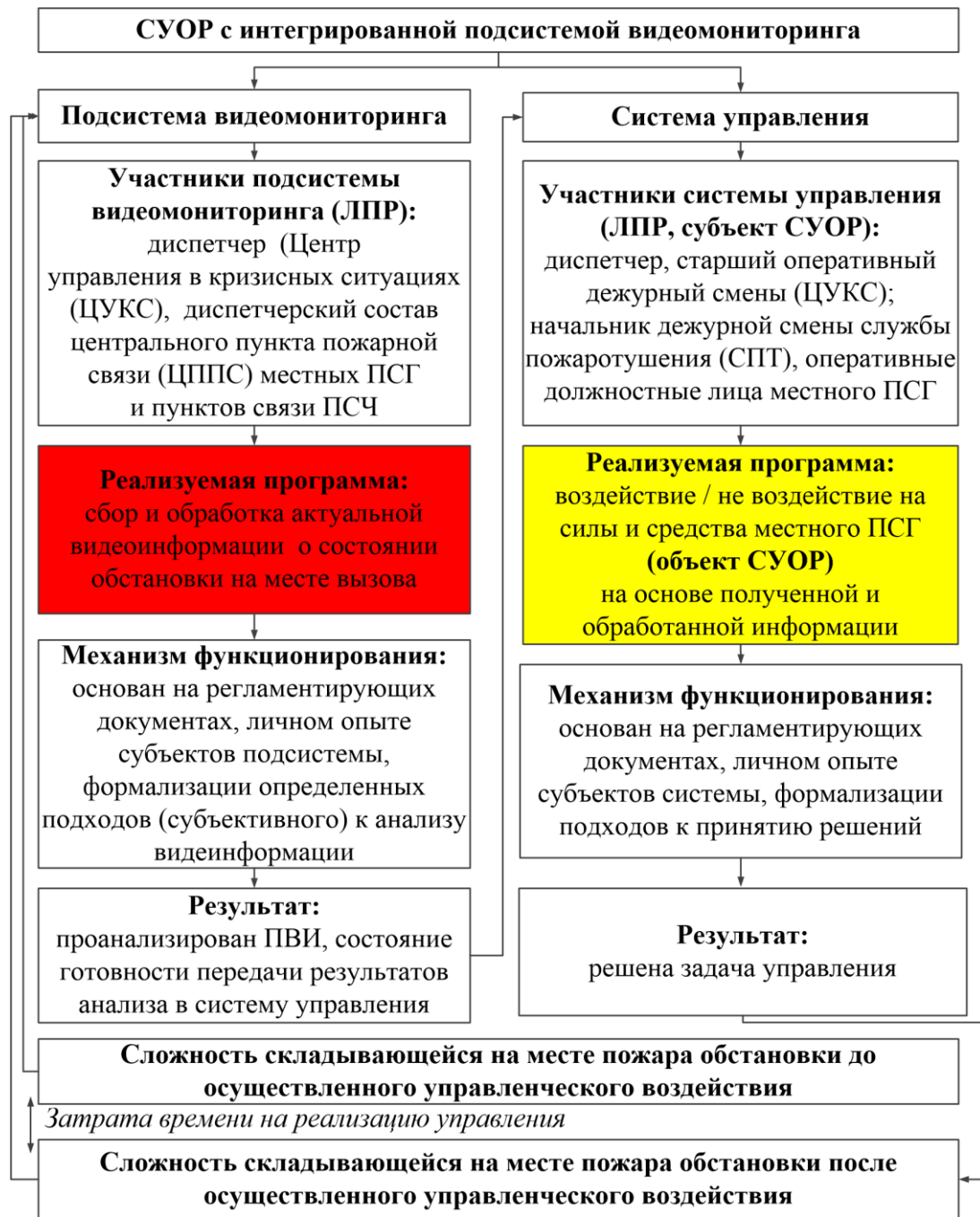
Модель центра подсистемы видеомониторинга можно описать кортежем-синглетоном (1.11):

$$\Omega_{ЦУ}^{ПВМ} = (A), \Omega_{ЦУ}^{ПВМ} \in \Omega_{ЦУ}^{СМ} \in \Omega_{ЦУ}. \quad (1.11)$$

Центр управления СУОР осуществляет непосредственное управление через ЛПР (L).

На рисунке 1.7 представлена схема интеграции $\Omega_{ЦУ}^{ПВМ} \in \Omega_{ЦУ}$.

Из подсистемы видеомониторинга ПВИ поступает непосредственно к ЛПР. ЛПР при осуществлении управления может выбирать стратегии (действия), например, диспетчер гарнизона имеет право «повышать номер (ранг) пожара до прибытия первых подразделений гарнизона к месту пожара (ЧС)» [67]. Источник [67] является для ЛПР нормативным регулятором при осуществлении управления. На момент реализации управленческой альтернативы u_i , результат x_i может иметь только условное математическое описание, так как фактический результат x_i факт. может быть оценен только лишь после ликвидации пожара. При этом учитываются оперативные данные, полученные из ПВИ.

 - элемент, для которого необходима разработка моделей и алгоритмов информационного обеспечения поддержки принятия решений

 - элемент, наиболее зависимый от качественных свойств реализуемой программы подсистемы видеомониторинга

Рисунок 1.7 – Схема интеграции подсистемы видеомониторинга в СУОР

1.1.4. Задачи управления, решаемые в организационной системе на основе данных видеомониторинга

Для ориентации математической постановки задачи исследования на решение проблем, существующих в практике применения видеомониторинга как дополнительного источника информации для поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде, было проведено изучение опыта и специфики применения видеомониторинга в оперативной деятельности территориального и местных ПСГ. Аналитическая работа была организована на трех основных уровнях:

- уровень Центра управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации (ЦУКС), (территориальный ПСГ, «уровень 1»);
- уровень центрального пункта пожарной связи (ЦППС, местный ПСГ, «уровень 2»);
- уровень пункта связи ПСЧ (местный ПСГ, «уровень 3»).

На данный момент не выявлено утвержденных правил, требований или алгоритмов по применению средств видеомониторинга при организации реагирования подразделений пожарной охраны на пожар. Также не существует моделей и алгоритмов информационного обеспечения поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде на раннем этапе реагирования.

Наличие ряда малоизученных вопросов в области работы ЛППР со средствами видеомониторинга для снижения уровня неопределенности в СУОР на раннем этапе сосредоточения подразделений пожарной охраны может быть обосновано малым сроком давности применения средств видеомониторинга в том масштабе, который имеется на сегодняшний день (экстенсивное развитие систем городского видеонаблюдения началось сравнительно недавно).

В результате практического анализа деятельности ЛПР СУОР было выявлено, что видеомониторинг на интервале времени $t_{след.} \in [t_2; t_3]$ применяется для решения двух основных типовых задач управления (ТЗУ) (рисунок 1.8).

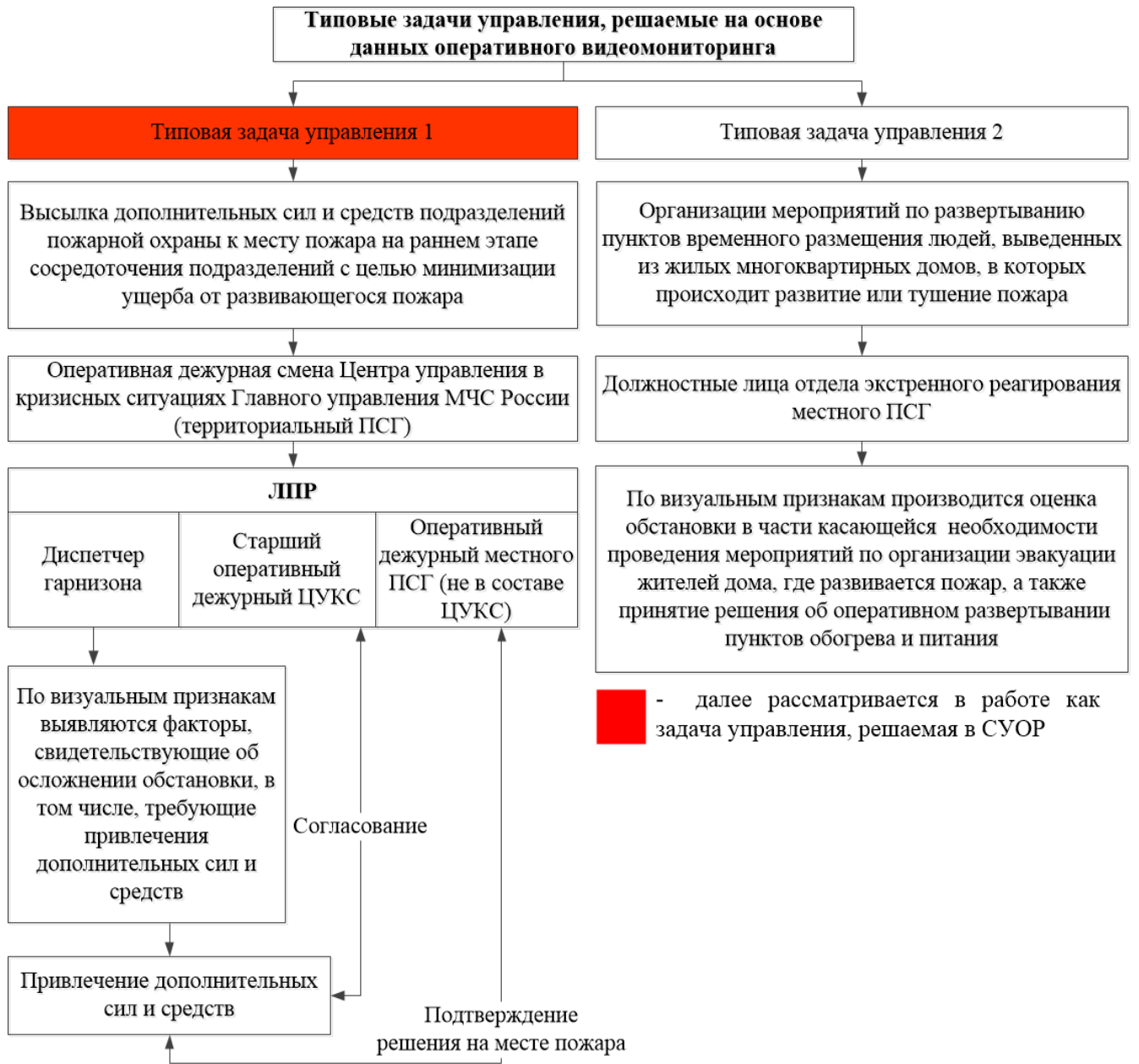


Рисунок 1.8 – Типовые задачи управления, выявленные в ходе исследования

Далее в диссертации будут рассматриваться вопросы информационного обеспечения поддержки принятия решений, касающиеся решения «типовой задачи управления 1».

1.1.5. Анализ алгоритма применения средств видеомониторинга в организационной системе и выявление недостатков

Область практической деятельности, связанную с применением видеoinформации для поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде, стоит назвать формирующейся. Впервые выявлен и описан наиболее общий алгоритм применения средств видеомониторинга в СУОР при управлении сосредоточением подразделений пожарной охраны в городской среде. В результате анализа общего алгоритма работы ЛПР со средствами видеомониторинга отмечено, что для данных алгоритмов необходимо разработать рациональные [26] модели и алгоритмы, снижающие долю интуитивного подхода к принятию решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде.

Далее представлены основные этапы такого алгоритма.

Этап 1. Решение о подключении к трансляции от средств видеомониторинга, установленных в городской среде в непосредственной близости от места пожара. Основанием для просмотра трансляции является поступившая заявка о пожаре. Выявлено, что основными мотивами для запроса ПВИ от средств видеомониторинга на ранней стадии управления сосредоточением сил и средств подразделений пожарной охраны служат условия 1.1–1.4 (случаи, в которых ЛПР осуществляет работу со средствами видеомониторинга).

Условие 1.1 (У1) – в СУОР поступило большое количество сообщений по конкретной заявке о пожаре.

Условие 1.2 (У2) – СУОР осуществлена первоначальная высылка сил и средств подразделений пожарной охраны по повышенному номеру вызова.

Условие 1.3 (У3) – в СУОР поступило сообщение о пожаре на производственном объекте экономики, потенциально опасном объекте или объекте с массовым пребыванием людей (и т.д.).

Условие 1.4 (У4) – иная ситуация, требующая с позиции СУОР незамедлительного использования оперативной видеoinформации.

Этап 2. Поиск и выбор средств видеомониторинга, удовлетворяющих потребность в снижении дефицита информации в СУОР. Если минимум одно проанализированное средство видеомониторинга удовлетворяет потребностям центра управления СУОР, то алгоритм продолжает выполняться. Из множества отобранных средств видеомониторинга формируется выборка (субъективно сформированный перечень средств видеомониторинга). С этой выборкой ЛПР продолжает работу на следующем этапе. Время выполнения данного этапа на практике может быть увеличено из-за отсутствия известных алгоритмов рационального поиска, подходящих в данной ситуации средств видеомониторинга (влечет увеличение времени, затраченное на принятие управленческого решения). Без средств информационного обеспечения поддержки принятия решений ЛПР данное обстоятельство сложно преодолеть. На данный момент таких средств предложено не было.

Этап 3. Оценка сложности складывающейся на месте пожара обстановки с использованием средств видеомониторинга. По визуальным признакам выявляются факторы, свидетельствующие об осложнении обстановки, в том числе, требующие привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны к месту пожара. Оценка сложности обстановки, складывающейся на месте пожара, по данным видеомониторинга имеет исключительно субъективный характер и зависит от опыта, квалификации и личных качеств ЛПР [129], поэтому эффективность применения интуитивного [26] подхода к принятию решений может быть разной. Для повышения уровня детерминированности результатов анализа ПВИ в условиях оперативного реагирования необходимо разработать множества лексических переменных, характеризующих обстоятельства и факторы объективной действительности, которые могут быть выявлены ЛПР при помощи средств видеомониторинга, установленных в городской среде.

Этап 4. Обобщение и анализ информации, полученной в результате реализации оперативного видеомониторинга – формирование информационной основы для принятия решений.

В результате практического изучения специфики применения видеоинформации в оперативной деятельности территориального и местных ПСГ были выделены следующие основные виды проблем и последствий (рисунок 1.9).

Проблемы, увеличивающие время оценки обстановки на раннем этапе реагирования на пожар	Группы последствий
<p>Группа проблем 1. Отсутствие информационного обеспечения поддержки принятия решений при поиске и выборе подходящего средства видеомониторинга в конкретной ситуации.</p> <p>По используемым условным графическим обозначениям средств видеомониторинга, интегрированным на практике в картографических сервис, используемый ЛППР:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) невозможно определить, средство видеомониторинга находится внутри или снаружи здания. Причем, во многих случаях доступ ко внутренним средствам видеомониторинга ограничен для должностных лиц МЧС России; 2) невозможно определить, средство видеомониторинга относится к категории «подъездные» (интегрированы в подъездную дверь) или к категории «дворовые» (установлены на уличной территории); 3) невозможно определить, имеется ли в текущий момент времени доступ к конкретной камере видеонаблюдения. <p>Не применяется метод многокритериального анализа для быстрого поиска и выбора наиболее подходящего средства видеомониторинга в конкретной ситуации</p>	<p>Группа последствий 1. Увеличение времени Поиска и выбора нужного средства видеомониторинга в условиях дефицита времени</p>
<p>Группа проблем 2. Отсутствие информационного обеспечения поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования.</p> <p>Отсутствие моделей и алгоритмов информационного обеспечения, формализованных в виде программ для ЭВМ, помогающих ЛППР оценивать информацию, получаемую от средств видеомониторинга.</p> <p>Отсутствуют имитационные модели для интерпретации данных, получаемых в режиме реального времени от средств видеомониторинга, установленных в городской среде, в непосредственной близости от места пожара</p>	<p>Группа последствий 2. Увеличение времени оценки сложности складывающейся на месте пожара обстановки</p>

Рисунок 1.9 – Проблемы, увеличивающие время оценки обстановки на раннем этапе реагирования на пожар

По итогам исследования алгоритма (рисунок 1.10) определено, что при реализации программы «сбор и обработка актуальной видеoinформации о состоянии обстановки на месте пожара» подсистемой видеомониторинга СУОР для двух отдельных этапов работы ЛПР особенно четко прослеживается потребность в разработке информационного обеспечения поддержки принятия решений.

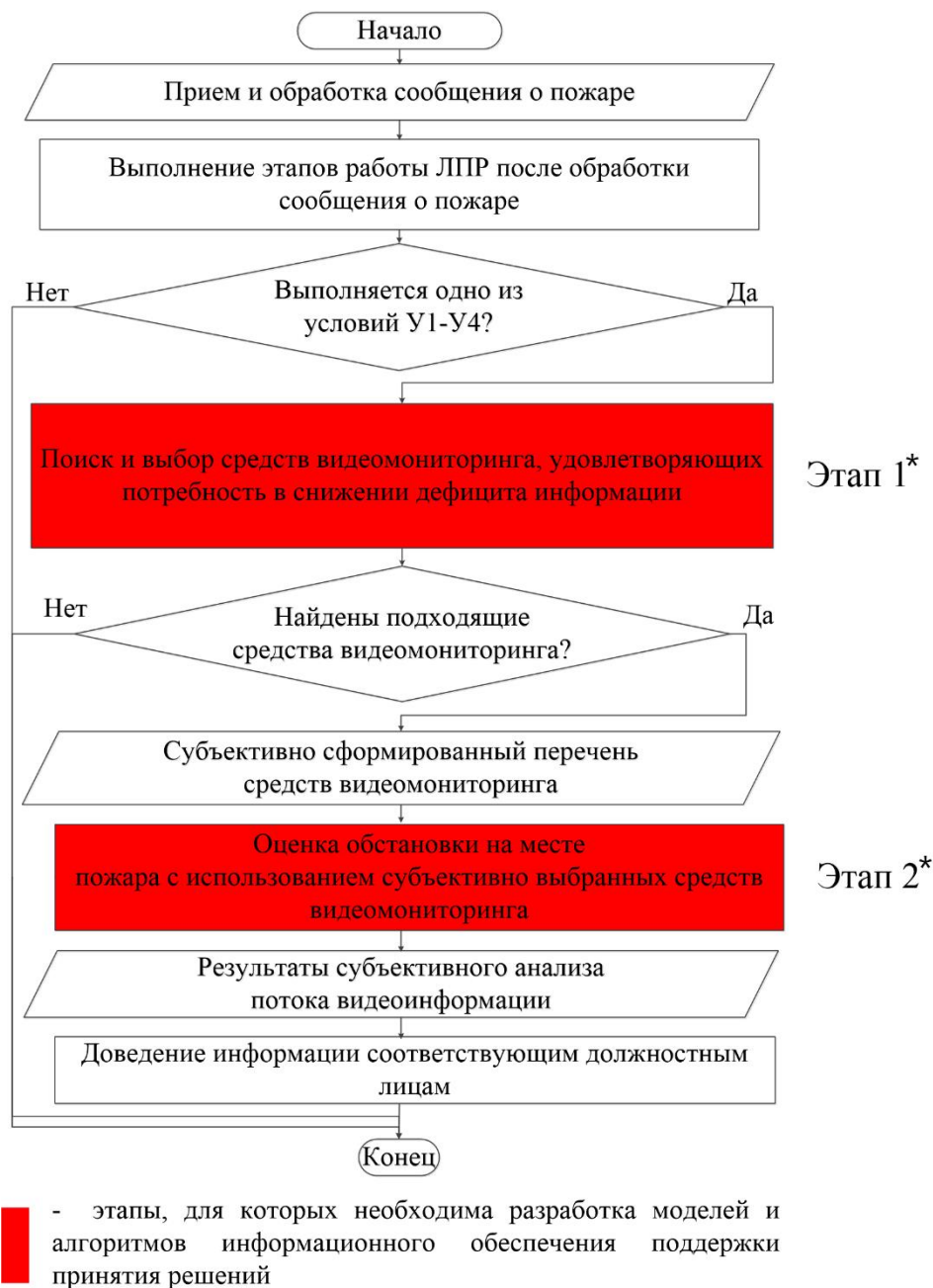


Рисунок 1.10 – Общий алгоритм применения средств видеомониторинга в ОС

На рисунке 1.10 выделены этапы алгоритма, для которых необходима разработка моделей и алгоритмов информационного обеспечения поддержки принятия решений.

Этап 1*, на котором осуществляется поиск и выбор средств видеомониторинга, удовлетворяющих потребность в снижении дефицита информации в СУОР. Время выполнения данного этапа на практике может быть увеличено из-за отсутствия известных алгоритмов многокритериального выбора средств видеомониторинга, подходящих в конкретной ситуации.

Этап 2*, на котором осуществляется оценка обстановки на месте пожара с использованием средств видеомониторинга. По визуальным признакам выявляются факторы, свидетельствующие об осложнении обстановки, складывающейся на месте пожара, в том числе, идентифицирующие ситуацию, в которой требуется привлечение дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны к месту пожара (потребность реализовать схему «поступенного» прибытия не с увеличивающимся, а с минимальным временным интервалом прибытия необходимого количества подразделений пожарной охраны к месту пожара). Процесс оценки сложности обстановки по результатам анализа ПВИ до проведения данного исследования имел исключительно субъективный характер.

Цель разработки информационного обеспечения поддержки принятия решений для описанных выше этапов функционирования СУОР – уменьшение времени, требуемого для выявления необходимости в принятии решения о привлечении дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования.

1.2. Анализ дефицита информации в организационной системе

Оперативное реагирование сил и средств подразделений пожарной охраны сопровождается дефицитом информации в СУОР о возникшем и развивающемся пожаре.

В работе [46] изложен подход к категорированию организационных систем управления на пожаре, определяющий тип информационного кризиса, присущего системе управления: если на месте тушения пожара присутствует до двух единиц пожарной техники, тогда тип информационного кризиса в организационной системе управления – «дефицитный». Соответственно, дефицитный тип информационного кризиса характерен и для периода времени, когда силы и средства подразделений пожарной охраны на место вызова еще не прибыли.

Пусть $D_{inf.}(t')$ дефицит информации – векторная функция времени, которая может изменять свое значение в течение времени следования первых подразделений пожарной охраны $t_{след.}$.

В общем виде условный показатель дефицита имеющейся информации в СУОР в фиксированный момент времени t' выражен в формуле (1.12):

$$D_{inf.}(t') = 1 - V_{inf.}(t'), \quad (1.12)$$

где $V_{inf.}(t')$ – аддитивная векторная функция времени, объединяющая всю имеющуюся в фиксированный момент времени t' информацию о развивающемся пожаре; включает в себя «интуитивную» (но выраженную математически по формуле 1.13) интерпретацию полноты информации, поступившей из различных источников в СУОР.

Условный показатель информационной осведомленности $V_{inf.}(t')$ в период следования первых подразделений пожарной охраны определяется при помощи формулы (1.13) и таблицы 1.3, поясняющей значение ее компонент c_{j1} , c_{j2} , c_{j3} . и c_{j4} .

$$V_{inf.}(t') = c_{j1}(t') + c_{j2}(t') + c_{j3}(t') + c_{j4}(t'). \quad (1.13)$$

Таблица 1.3 – Таблица исходных данных для определения $V_{inf.}(t')$

с – условный коэффициент субъективной полноты полученных данных)	Группы источников информации (j1 – j4)			
	j1 (Сообщения по телефонной связи/ радиообмен)	j2 (Автоматическая пожарная сигнализация)	j3 (Средства массовой информации)	j4 (Видеопоток от средств видеомони- торинга)
0,33	Полноценное сообщение, содержащее всю необходимую информацию об адресе и объекте пожара, описание ситуации, контактные данные для обратной связи и иные сведения, необходимые для оперативного реагирования.	-	В сообщении содержится разноплановая актуальная информация о развивающемся пожаре	Видеоинформация позволяет верифицировать сложность обстановки, складывающейся на месте пожара. Объект пожара полностью попадает в поле зрения средств видеомониторинга. Применяется информационное обеспечение поддержки принятия решений ЛПР при обработке ПВИ, поступающего в реальном времени от средств видеомониторинга
0,25	-	В сообщении содержится информация, указывающая только на возникновение пожара по известному адресу	В сообщении содержится один из типов информации: фото-, видео-, или текстовая информация с места развивающегося пожара, ранее неизвестная и важная для организации оперативного реагирования	Объект пожара не полностью попадает в поле зрения средства видеомониторинга, изображение хорошего качества. Применяется информационное обеспечение поддержки принятия решений ЛПР

Продолжение таблицы 1.3

с (Условный коэффициент субъективной полноты полученных данных)	Группы источников информации			
	j1 (Сообщения по телефонной связи/ радиообмен)	j2 (Автоматическая пожарная сигнализация)	j3 (Средства массовой информации)	j4 (Видеопоток от средств видеомониторинга)
0,10	В сообщении содержится информация, указывающая только на возникновение пожара по неизвестному адресу	-	В сообщении содержится информация, которая подтверждает уже имеющуюся в СУОР информацию	Объект пожара не полностью попадает в поле зрения средств видеомониторинга или изображение плохого качества. Не применяется информационное обеспечение поддержки принятия решений ЛПР
0,00	Информации не поступило	Информации не поступило	Информации не поступило	Информации не поступило

Условный показатель информационной осведомленности может изменяться следующим образом: $0,00 \leq V_{inf}(t') \leq 0,99$. $V_{inf}(t')$ представляет числовой эквивалент, отражающий одну из сторон (детализацию) полноты поступившей информации о развивающемся пожаре, которая, в свою очередь, является одним из свойств [1] качества информации.

Единица в формуле (1.12) представляет эталонное значение. В данном исследовании принято, что $D_{Inf}(t_1)$ в момент поступления информации о возникшем пожаре стремится, но никогда не достигает нуля, при этом стоит принять в общем виде, что $D_{Inf}(t_1) = D_{Inf}(t_2)$. До прибытия первых сил и средств подразделений пожарной охраны на место пожара существует несколько основных источников получения оперативной информации для оценки складывающейся обстановки. Данные источники представлены в таблице 1.3.

Применение систем, средств и способов, обеспечивающих реализацию стадии мониторинга в СУОР, концептуально необходимо для стимулирования процесса (1.14):

$$D_{Inf.}(t') \xrightarrow{t' \in [t_2; t_3]} \min\{D_{Inf.}(t')\}, \quad (1.14)$$

то есть для стремления к минимальному возможному значению условного показателя дефицита информации в заданных условиях.

В векторной форме функция $V_{Inf.}(t')$ имеет общий вид (1.15):

$$V_{Inf.}(t') = (V_{Inf.}(t_2), \dots, V_{Inf.}(t_3)). \quad (1.15)$$

Значение $D_{Inf.}(t')$ – условный показатель информационного дефицита в момент времени t' . Функция, определяющая $D_{Inf.}(t')$ в векторной форме, задается в общем виде (1.16):

$$D_{Inf.}(t') = (D_{Inf.}(t_2), \dots, D_{Inf.}(t_3)). \quad (1.16)$$

В исследовании отбираются только состояния $D_{Inf.}(t')$ и $V_{Inf.}(t')$, характерные для интервала времени $[t_2; t_3]$. При этом предполагается выполнение условия (1.17):

$$\begin{cases} \max\{V_{Inf.}(t')\} = V_{Inf.}(t_3) \\ \min\{D_{Inf.}(t')\} = D_{Inf.}(t_3) \end{cases}. \quad (1.17)$$

В содержательной части такого свойства качества информации как «полнота», выделяются два противоположных состояния: недостаток и избыток информации. Оптимальное состояние достаточности определяется исходя из имеющихся данных, на основе которых возможно принять объективное

управленческое решение. Причем для разных задач управления характеристика достаточности информации может носить индивидуальный характер.

В работе [46] избыток информации имеет негативную интерпретацию, мотивированную осложнением принятия управленческих решений. Однако в контексте исследования информация будет рассматриваться исключительно как достаточная и недостаточная (но не избыточная). Данная позиция аргументируется тем, что согласно «избирательности» – еще одному свойству, определяющему качество информации, «массивы данных большого объема, нивелируются благодаря опыту, квалификации, а также другим личным и профессиональным качествам ЛПР» [1]. ЛПР в текущем контексте совершает целенаправленный поиск и отбор необходимых данных, актуальность которых может быть формализована с помощью понятий «количество семантической информации» и «ценность информации». Также достижение улучшения свойств качества информации – полнота и избирательность – в данной работе будет достигаться за счет разработки моделей и алгоритмов информационного обеспечения поддержки принятия решений.

Избирательность может быть формализована либо на основе только личного опыта ЛПР, либо же на основе синтеза субъективной позиции и рациональных методов теории управления, предназначенных для решения узконаправленной задачи отбора нужной информации. Однако при анализе открытых научных источников по теории управления не было выявлено методов, направленных на анализ ПВИ, а также методов, содержащих функции, индуцирующие множества оценок «количества информации» (с семантической и прагматической точек зрения).

Важность оптимального значения количества семантической информации (избирательность информации) в условиях дефицита времени заключается в том, чтобы из ПВИ выделить количество информации, необходимое для обеспечения достаточности информации (ценность информации), имеющейся у ЛПР при принятии управленческого решения. В известной практике улучшение рассматриваемых свойств качества информации достигается за счет проблемно-

ориентированной разработки и внедрения в организационные структуры информационных (информационно-аналитических) систем поддержки принятия решений (СППР) [15, 20, 72, 95, 102, 104, 109, 111–112, 116, 119].

Один из способов определения ценности информации \tilde{I} был описан А. А. Харкевичем в 1960 году [120]: «ценность информации может быть, естественно, выражена через приращение вероятности достижения цели» (1.18). Данный подход получил широкое развитие в трудах других исследователей, работающих в области изучения свойств информации [18, 45] и не противоречит фундаментальным данным теории информации [125], что указывает на хороший потенциал адаптивности данного подхода.

$$\tilde{I} = \log_2 p_1 - \log_2 p_0 \Rightarrow \log_2 \frac{p_0}{p_1}, \quad (1.18)$$

где p_0 – вероятность достижения цели до поступления информации;

p_1 – вероятность достижения цели после поступления информации.

Дефицит информации, возникающий в СУОР, характеризуется композиционным дуализмом (рисунок 1.11): количественным и качественным показателями.

С помощью значения условного показателя ценности видеоинформации, поступившей в СУОР \tilde{I}^{BM} , в работе определяется, насколько полезны для СУОР полученные к моменту времени t' видеоданные. При вычислении значения условного показателя количества семантической информации, появившейся в СУОР после анализа ПВИ, возможно оценить готовность ЛПР к анализу поступившей видеоинформации.

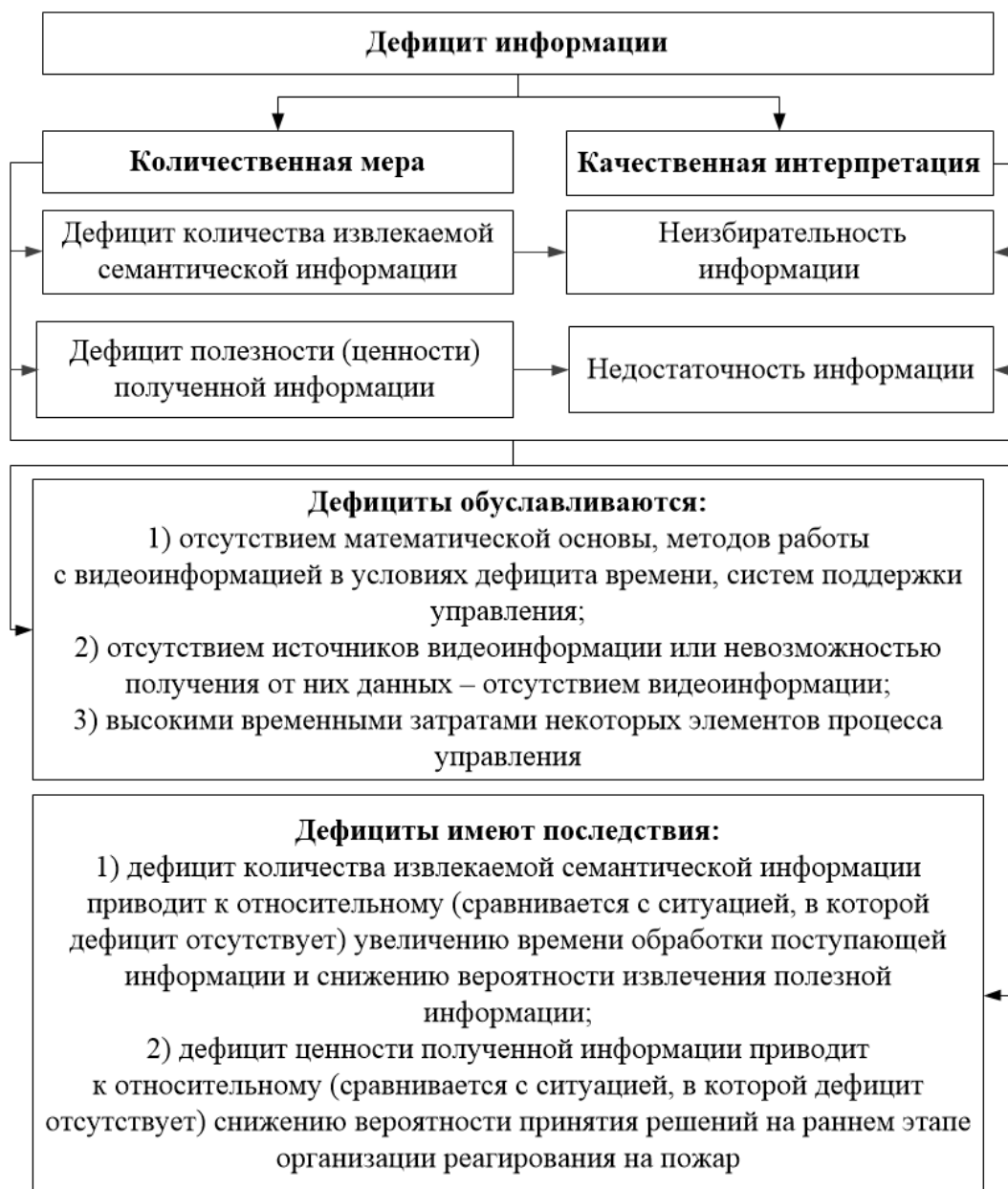


Рисунок 1.11 – Дуализм дефицита информации

Общий вариант определения условных показателей \tilde{I}^{BM} и $I_{Сем}^{BM}$ будет предложен во второй главе настоящего диссертационного исследования. Для интерпретации значений $D_{Inf.}(t')$ и $\tilde{I}^{BM}(t')$ использована идея шкалы Чеддока, с сохранением авторских интервалов (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Шкала определения выраженности дефицита информации при интуитивной и рациональной оценке

Интервал значений $z'_{ТЗУ}$	0-0,3	0,3-0,5	0,5-0,7	0,7-0,9	0,9-0,99
Выраженность дефицита информации $1 - V_{inf.}(t')$ (интуитивный подход: отражает интуитивную полноту поступившей информации)	Слабая	Умеренная	Заметная	Высокая	Весьма высокая
Выраженность дефицита ценности видеoinформации $1 - \tilde{I}^{BM}(t')$ (рациональный подход: отражает математическую интерпретацию ценности извлеченной информации)	Слабая	Умеренная	Заметная	Высокая	Весьма высокая

Для интерпретации значений выраженности дефицита I^{BM} – количества информации, поступающей в СУОР в реальном времени от средств видеомониторинга, установленных в городской среде и количества семантической информации $I_{Сем.}^{BM}$ используется таблица 1.5.

Таблица 1.5 – Шкала определения выраженности дефицита I^{BM} и $I_{Сем.}^{BM}$

Интервал значений	≥ 0	< 0
Выраженность дефицита I^{BM}	Отсутствует	Присутствует
Выраженность дефицита $I_{Сем.}^{BM}$	Отсутствует	Присутствует

Системой неравенств (1.19) в общем виде задано условие достаточности (полноты) видеoinформации для решения ТЗУ. Значение $z'_{ТЗУ}$ могут на этапе планирования определяться ЛПР, как достаточные условия для решения ТЗУ:

$$\begin{cases} 1 - V_{inf.}(t') < z_{ТЗУ}^{D_{inf.}}, I^{BM} > 0 \\ 1 - \tilde{I}^{BM}(t') < z_{ТЗУ}^{\tilde{I}^{BM}}, I^{BM} > 0 \\ I_{Сем.}^{BM}(t') \geq 0, I^{BM} > 0 \end{cases}, \quad (1.19)$$

где $z_{ТЗУ}^{D_{inf.}}$ – максимальное значение (не должно быть достигнуто), характеризующее дефицит информации $D_{inf.}(t')$, в зависимости от степени детализации полученных данных;

$Z_{ТЗУ}^{I_{BM}}$ – максимальное значение (не должно быть достигнуто), характеризующее дефицит ценности видеоинформации.

В иных случаях, когда условия системы не выполняются, возможно возникновение кризиса, связанного с дефицитом информации (в частности, и дефицит видеоинформации).

Если ЛПР на раннем этапе сосредоточения подразделений пожарной охраны выявил дефицит информации в СУОР, то об этом должны быть предупреждены старшие оперативные должностные лица местного ПСГ.

1.3. Анализ общих положений о решении задач управления при сосредоточении подразделений пожарной охраны

Согласно [58] под задачей управления понимается нахождение «допустимых воздействий на предметы управления, приводящих к требуемой динамике состояний (поведению) управляемой системы».

Задачи управления, решаемые в период времени сосредоточения подразделения пожарной охраны, могут быть распределены по трем подпериодам времени.

1. Задачи управления, решаемые в подпериод времени до высылки на место пожара первого подразделения пожарной охраны (задачи управления, решаемые в подготовительный подпериод 0). Необходимо отметить, что процесс сосредоточения в данный подпериод не осуществляется, но создаются условия, от которых зависит эффективность его реализации. Такие задачи управления решаются для сокращения времени прибытия первых сил и средств подразделений пожарной охраны к месту пожара. Ниже приведены работы, направленные на решение задачи по созданию оптимальной системы противопожарной защиты населенных пунктов.

В работах [51, 69, 71] разработана методика «расчета необходимого числа и обоснования мест дислокации оперативных подразделений пожарной охраны на территории населенных пунктов».

По результатам исследований [77, 99–101, 103] разработан подход к определению «реальных скоростей движения оперативных пожарно-спасательных подразделений» к месту пожара на территории города Москвы.

2. Задачи управления, решаемые в подпериод времени после высылки на место пожара первого подразделения пожарной охраны и до его непосредственного прибытия к месту пожара (задачи управления, решаемые в подпериод 1). Подпериод 1 является самым коротким по времени из трех представленных. Несмотря на большую значимость поддержки принятия решений и непосредственного решения задач управления в рамках подпериода 1, последний является малоизученным. Отдельно необходимо отметить труды [2, 108–109, 117], которые посвящены разработке многокритериальных моделей и методов мониторинга динамики пожара в здании. Данное математическое обеспечение может быть масштабировано на решение задачи управления сосредоточением подразделений пожарной охраны в городской среде с целью обеспечения своевременного привлечения необходимого количества пожарной техники и участников боевых действий по тушению пожаров.

3. Задачи управления, решаемые в подпериод времени после прибытия первого подразделения пожарной охраны к месту пожара (задачи управления, решаемые в подпериод 2). Распространенным примером является решение задачи управления привлечением дополнительных подразделений пожарной охраны в зависимости от сложности обстановки, оцененной РТП на месте пожара.

Информационное обеспечение для решения подобных задач управления представлено:

- в работах [36–38] – представлен алгоритм поддержки принятия решения РТП на основе оценки скорости роста площади пожара (определяет необходимость введения дополнительных пожарных стволов на тушение пожара);

- в работах [53, 105–106] – предложен алгоритм определения ранга пожара при управлении тушением пожара в морском порту (предлагает вариант ранга пожара в зависимости от ряда факторов объективной действительности).

По результатам анализа научных трудов, связанных с решением задач управления в подпериоды 0-2, отмечается, что достаточно часто авторы данных работ:

- решают прямую задачу управления [57], осуществляя поиск управленческой альтернативы, реализация которой в условиях объективной действительности направлена на максимизацию эффективности управления (по определенным параметрам);

- решают обратную задачу управления [57], осуществляя поиск множества допустимых управленческих альтернатив, которые обеспечивают перевод ОС в требуемое состояние;

- формализуют разработанное информационное обеспечение в виде программ для ЭВМ и программных комплексов (ПК), реализуя тем самым возможность оперативного диалога «ЛПР – ПК» с целью информационного обеспечения поддержки принятия решений на основе той информации об объективной действительности, которой располагает к текущему моменту времени ЛПР.

Анализируя общие подходы к решению задач управления ОС, изложенные в [57], необходимо отметить, что для задач управления, решаемых в подпериоды 1-2 наиболее вероятно могут применяться следующие подходы:

- при решении прямой задачи управления: поиск управленческой альтернативы (в множестве), характеризующейся максимальной эффективностью в условиях минимизации затрат ресурсов (часто – ресурса времени) ОС. Однако

может использоваться более простой вариант – решение задачи оптимального быстрогодействия с допущением установленного минимального гарантированного результата эффективности;

– при решении обратной задачи управления: поиск множества управленческих альтернатив, обеспечивающих перевод ОС в требуемое состояние. Здесь возможно применение принципа парето-оптимальности управленческих решений, когда «окончательный выбор всегда будет производиться среди эффективных вариантов – оптимальных по Парето» [59–63, 109].

Необходимо отметить один из методов подготовки информационной основы для решения задачи управления при сосредоточении подразделений пожарной охраны – частный случай активного прогноза. В данном случае «информация о будущих значениях параметров, зависящих от состояния природы и действий субъектов» [55], не выходит за пределы системы управления, однако является основой для выбора центром воздействия на агента (например, силы и средства подразделений пожарной охраны), при котором ожидается минимизация затрат в ОС некоторого ресурса (ресурсы, затраченные на организацию оперативного реагирования или ущерб от пожара). На практике центр может получить активный прогноз от имитационных моделей или СППР. Таким образом, от информации, содержащейся в прогнозе, может измениться поведение и центра, и агента. Однако, если поведение центра может быть неоднозначным, то поведение агента в данном случае будет более детерминировано (так как агент, в свою очередь, подчиняется центру). Также агент обладает специфическими особенностями, ввиду которых фактический результат реализации управленческой альтернативы может отличаться от активного прогноза.

Для частных случаев решения задач управления при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде могут быть использованы определенные механизмы управления, например [22], и методы решения задач управления, например [24–25, 70, 78, 96, 98], а также теоретические положения, изложенные в [27, 30, 44, 107, 137].

1.4. Анализ опыта применения средств видеомониторинга в работе экстренных служб

Проведен анализ [16, 33–34, 41, 52, 73, 121–124, 130, 133–139] опыта внедрения различными странами практики использования видеоинформации с места происшествия или из других необходимых локаций для поддержки принятия решений при осуществлении оперативного реагирования экстренными службами, в том числе, связанными с пожаротушением и спасением людей. Результат анализа показал неоднородность практики применения видеомониторинга для информационной поддержки подразделений пожарной охраны в различных странах.

Ввиду того, что каждая страна имеет ряд уникальных свойств, таких как особенности административно-территориального деления; порядок взаимодействия между собой различных экстренных служб; структуру системы оказания экстренной помощи и организации работы подразделений, потребности населения и территорий в определенной степени защиты от деструктивных событий; взаимодействие и взаимоотношения населения и сотрудников экстренных служб, существуют различные подходы и способы применения видеомониторинга в оперативной деятельности, выражающиеся в конкретных технических решениях.

По характеру выявленных примеров практического использования видеомониторинга, воплощенных тем или иным техническим способом, необходимо разделить на периоды относительно момента возникновения пожара: «до возникновения пожара» и «после возникновения пожара – стадии оперативных действий» (данная классификационная группа имеет деление на подпериоды: «до прибытия на место вызова» и «после прибытия на место пожара», рисунок 1.12).

Отечественный и зарубежный опыт применения видеомониторинга для поддержки принятия решений при управлении экстренными службами		
Период «до возникновения пожара»	Период «после возникновения пожара – стадии оперативных действий»	
Извещатель пожарный с видеоканалом обнаружения	Системы видеонаблюдения в городской среде	Д о п р и б ы т и я
Системы видеонаблюдения с видеоаналитикой на объекте защиты	Мобильные приложения для передачи потока видеoinформации очевидцами пожара в диспетчерскую службу в режиме реального времени	
Передвижные разворачиваемые на месте системы видеонаблюдения, разворачиваемые для мониторинга общественного пространства или объекта (для своевременного выявления пожара)	Алгоритмы обнаружения постов в социальных сетях с фото-, видео-, текстовой информацией о пожаре до непосредственного поступления сообщения в диспетчерскую службу	
	Система управления дорожным движением с использованием камер видеонаблюдения для предоставления приоритета движения транспорту экстренных служб, следующих на вызов	П о с л е п р и б ы т и я
	Беспилотные летательные аппараты с бортовыми камерами видеонаблюдения для мониторинга обстановки	
	Системы видеонаблюдения на автомобилях служб экстренного реагирования (автомобили, вертолеты и т.п.) для удаленного подключения вышестоящих ЛПР и оценки сложности складывающейся обстановки на месте вызова	
	Нательные портативные видеокамеры участников тушения пожара для удаленного подключения вышестоящих ЛПР и оценки сложности складывающейся обстановки на месте выполняемых работ	
	Передвижные разворачиваемые на месте вызова системы видеонаблюдения (мачты) для глобального обзора среды или объекта	


 - средства видеомониторинга, изучаемые в данном исследовании

Рисунок 1.12 – Анализ опыта применения видеомониторинга для поддержки принятия решений при управлении экстренными службами

Проанализированный и обобщенный опыт применения видеомониторинга для поддержки принятия решений при управлении экстренными службами подтверждает актуальность разработки информационного и программного обеспечения, помогающего эффективно использовать оперативную видеоинформацию. На основе проведенного анализа разработана «Классификация систем и средств видеомониторинга места пожара» (рисунок 1.13).

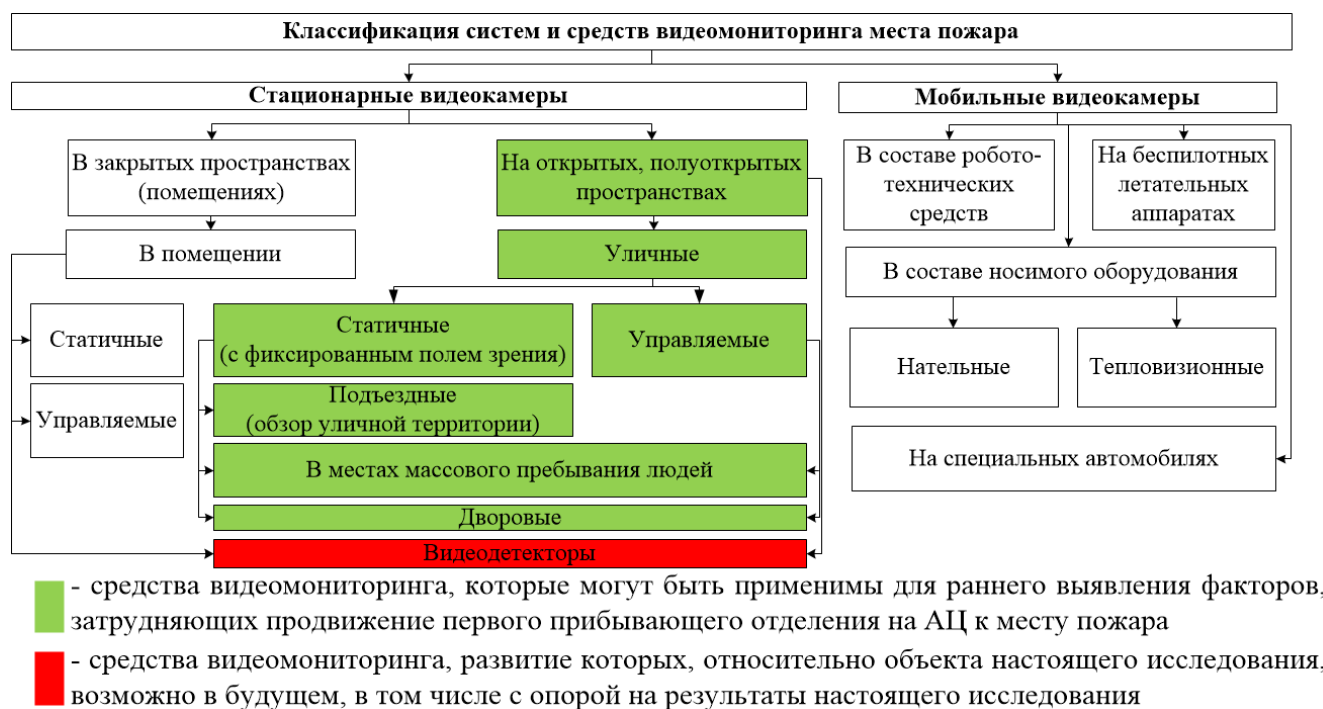


Рисунок 1.13 – Классификация систем и средств видеомониторинга места пожара

Здесь стоит ввести пояснение к употребляемой в классификации терминологии, а именно разъяснить характеристики средств видеомониторинга: «статичные», «стационарные» и «управляемые».

Под приведенными видами средств видеомониторинга понимается:

- статичные – имеющие фиксированное поле зрения (видимая область), без возможности удаленного управления объективом вдоль и вокруг вертикальной оси;
- управляемые – имеющие возможность дистанционного управления отображаемым оператору полем зрения средства видеомониторинга;

– стационарные – не перемещающиеся в физическом пространстве, зафиксированные на неподвижном носителе (конструкции, здании или сооружении).

На основе данной классификации разработаны информационные ресурсы [12, 89], которые позволяют в структурированной форме ознакомиться с системами и средствами видеомониторинга техногенного пожара. Также проведено исследование научных публикаций [18, 17, 33–34, 42, 47, 50, 79, 84, 86, 115–118, 121–124, 126] в области разработки моделей и алгоритмов, предназначенных для информационной поддержки принятия решений при организации тушения пожаров на открытых территориях на основе данных оперативного видеомониторинга (рисунок 1.14).

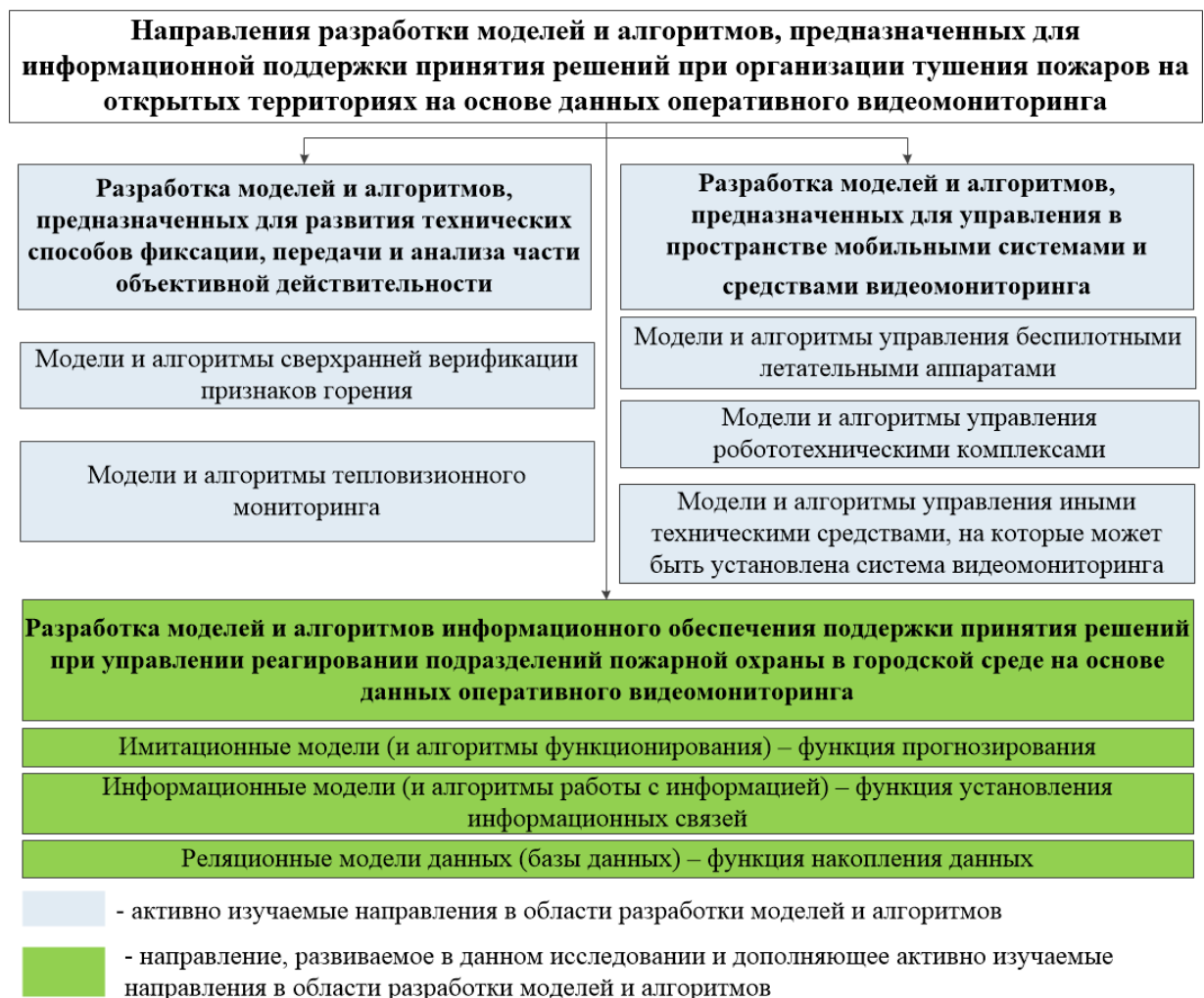


Рисунок 1.14 – Анализ направлений исследований в области разработки специфичных моделей и алгоритмов

Выявлено, что большинство проанализированных исследований направлено на:

– разработку моделей и алгоритмов, предназначенных для развития технических способов фиксации, передачи и анализа части объективной действительности (раннее обнаружение очага пожара и предлагаемые действия);

– разработку моделей и алгоритмов, предназначенных для управления в пространстве мобильными системами и средствами видеомониторинга (или иными техническими средствами, на которые может быть установлена система видеомониторинга).

В данном исследовании предлагается ввести еще одно типовое направление, являющееся малоизученным: разработка моделей и алгоритмов информационного обеспечения поддержки принятия решений при управлении реагированием подразделений пожарной охраны в городской среде на основе данных оперативного видеомониторинга.

Системы видеомониторинга находят широкое применение при построении и развитии современных «безопасных» и «умных» городов [7, 86]. Это связано с тем, что в ходе цифровой трансформации пространства техносферы появилась уникальная возможность удаленно применять видеомониторинг многих процессов, даже без непосредственного контроля ЛПР, так как функцию контроля или идентификации какого-либо явления могут выполнять модули видеоаналитики.

Однако, как показывает анализ научных исследований и рыночных предложений [4, 7, 110], алгоритмическая поддержка видеомониторинга в контексте обеспечения пожарной безопасности в основном направлена на сверхраннее обнаружение возгорания на объекте защиты или определенном пространстве.

При этом технология интеллектуального видеоанализа на данный момент не является всеобъемлющей. Стоит отметить, что логичным этапом в процессе снижения нагрузки на ЛПР за счет передачи части функций системам интеллектуальной поддержки принятия решений является этап разработки моделей и алгоритмов информационного обеспечения поддержки принятия решений (так

как такие модели и алгоритмы нацелены на снижение доли субъективизма при оценке сложности обстановки, выявленной по данным оперативного видеомониторинга).

Основные типы видеонаблюдения в Москве, реализуемые в рамках Государственной программы «Развитие цифровой среды и инноваций» [65], представлены на рисунке 1.15.



Рисунок 1.15 – Основные типы уличного видеонаблюдения города Москвы [31]

Проведен анализ программного обеспечения: свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и БД, удовлетворяющих тематике данного исследования. Для поиска и отбора аналитического материала был составлен логический запрос для поиска в информационных ресурсах Федерального института промышленной собственности: «(видеонаблюдение OR видеомониторинг) AND (пожар OR город OR открытое пространство OR дорожно-транспортное происшествие OR ликвидация OR тушение OR чрезвычайная ситуация OR признак OR верификация)». По данному запросу было найдено 130 свидетельств, опубликованных с января 2013 по сентябрь 2024 года, однако при первичном анализе выяснилось, что могут быть использованы для дальнейшего

рассмотрения только 56 документов. Распределение зарегистрированных в Российской Федерации программ для ЭВМ и БД за анализируемый период представлено на рисунке 1.16.

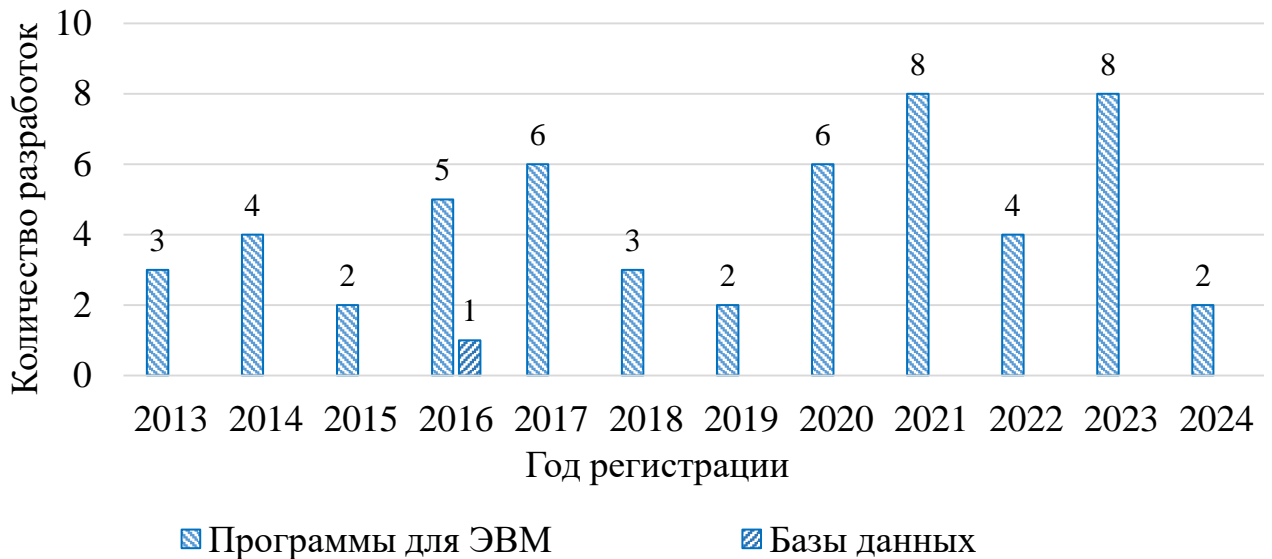


Рисунок 1.16 – Анализ зарегистрированных программ для ЭВМ и БД

На основе сведений, представленных в рефератах, программы для ЭВМ и БД были проанализированы на предмет:

- наличия функций для использования в деятельности служб экстренного реагирования;
- реализации функции информационной поддержки ЛПР.

Из 60 зарегистрированных в период 2013–2024 гг. программ для ЭВМ и БД 12,5% разработок отнесены к категории применимых в деятельности пожарной охраны напрямую (кроме подразделений, занимающихся охраной лесных территорий и заповедников), 17,85% – косвенно (т.е. полученная информация может быть некоторым образом передана оперативным должностным лицам местного ПСГ); в 12,5% разработок присутствует специфичная функция информационной поддержки ЛПР (в основном, встречается работа функции автоматического видеоанализа с оповещением ЛПР).

Также в ряде случаев применимость разработок для информационного обеспечения оперативной деятельности подразделений пожарной охраны достигается при реализации функции удаленного доступа к системам видеомониторинга, размещенным на мобильных или стационарных объектах городской среды.

Стоит отметить, что программ для ЭВМ и БД, предназначенных для информационного обеспечения поддержки принятия решений при управлении сосредоточением подразделений пожарной охраны в городской среде на основе данных оперативного видеомониторинга, за анализируемый отрезок времени выявлено не было.

Таким образом, подробный анализ потенциала применения средств видеомониторинга для поддержки принятия управленческих решений, основанный в том числе на опыте развития системы городского видеонаблюдения Москвы и представленный в работах [4, 6, 110], позволил сделать вывод о важной информационной роли основных типов видеонаблюдения для визуальной оценки сложности обстановки, складывающейся на месте пожара на начальном этапе сосредоточения подразделений пожарной охраны в городской среде. При этом в качестве недостающего звена необходимо выделить именно модели и алгоритмы информационного обеспечения поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде на раннем этапе реагирования.

В результате осуществления представленного анализа СУОР с интегрированной подсистемой видеомониторинга сформирована теоретическая основа для разработки информационного и программного обеспечения поддержки принятия решений при управлении сосредоточением подразделений пожарной охраны в городской среде на раннем этапе реагирования. При этом необходимо:

1. Разработать модель и алгоритм информационного обеспечения поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования. Для решения данной задачи необходимо разработать набор критериев, наиболее полно выражающий потребности ЛПР при оперативном поиске средств видеомониторинга. Далее, при

использовании метода многокритериального анализа необходимо сформировать ранжированное по приоритетности множество всех средств видеомониторинга, доступных для ЛПР.

2. Разработать модель и алгоритм информационного обеспечения поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования. Для формирования теоретической основы модели необходимо провести анализ различных источников информации, содержащих данные о факторах объективной действительности, затрудняющих продвижение первого прибывающего отделения на автоцистерне (АЦ) к месту пожара. Необходимо разработать множества лексических переменных, характеризующие факторы объективной действительности, которые могут быть выявлены ЛПР при помощи средств видеомониторинга, установленных в городской среде. Для оценки результата работы модели и алгоритма следует предложить подход к оценке эффективности реализации выбранной управленческой альтернативы (относительно минимального гарантированного результата), а также подход к определению мер информации прагматического и семантического уровней, характеризующих выраженность свойств качества имеющейся в СУОР видеоинформации.

3. Произвести 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.

Таким образом, планируется разработать теоретическую основу для синтеза трех положений подпункта «2. Предупреждение и защита муниципального образования от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, обеспечение пожарной безопасности предусматривают:...» пункта «1. Безопасность населения и муниципальной (коммунальной) инфраструктуры» раздела «IV. Функции комплекса Безопасный город» [66]:

- «предоставление доступа к видеопотоку соответствующих камер видеонаблюдения;
- моделирование сценариев развития ситуаций и реагирования оперативных служб и населения на чрезвычайные ситуации;
- поддержка принятия решений и обеспечение возможности оперативного управления пожарно-спасательными подразделениями с использованием пространственной информации».

Выводы по главе 1

Анализ исследуемой ОС позволил выявить особенности, характерные для реализации процесса управления в СУОР на раннем этапе сосредоточения подразделения пожарной охраны в городской среде. В результате анализа получены следующие основные результаты.

1. Проведен анализ организационной системы управления оперативным реагированием на пожар в городской среде с интегрированной подсистемой видеомониторинга. Произведено описание основных элементов СУОР с позиции агентного подхода. Проанализированы виды дефицита информации, возникающие в СУОР при анализе информации от средств видеомониторинга на раннем этапе сосредоточения подразделений пожарной охраны в городской среде.

2. Впервые описан и исследован общий алгоритм применения средств видеомониторинга в СУОР. Выделены этапы алгоритма, для которых необходима разработка моделей и алгоритмов информационного обеспечения поддержки принятия решений в целях его совершенствования.

3. Проведен анализ практического опыта применения средств видеомониторинга в работе экстренных служб. Проанализирована отечественная и зарубежная практика использования видеоинформации в работе экстренных служб, в том числе, связанных с пожаротушением и спасением людей; исследованы научные публикации в области разработки моделей и алгоритмов,

предназначенных для информационной поддержки принятия решений при организации тушения пожаров на открытых территориях. Выделено малоизученное направление, связанное с разработкой моделей и алгоритмов информационного обеспечения поддержки принятия решений при управлении реагированием подразделений пожарной охраны в городской среде на основе данных оперативного видеомониторинга.

4. Основываясь на результатах проведенного анализа, были поставлены задачи исследования, решение которых направлено на разработку информационного и программного обеспечения поддержки принятия решений при управлении сосредоточением подразделений пожарной охраны в городской среде на раннем этапе реагирования.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В главе представлена математическая постановка задачи исследования, которая имеет проблемно-ориентированный характер. Для решения поставленной задачи разработаны модели и алгоритмы информационного и программного обеспечения поддержки принятия решений при управлении сосредоточением подразделений пожарной охраны в городской среде на раннем этапе реагирования.

Модели и алгоритмы предназначены для информационного обеспечения поддержки принятия следующих решений.

1. Решение о первоочередном анализе ПВИ от конкретного средства видеомониторинга. Соответствующие модель и алгоритм информационного обеспечения формируют ранжированное по предпочтению ЛПР множество средств видеомониторинга. Научная новизна предлагаемой модели и алгоритма заключается в описании многокритериального анализа множества всех средств видеомониторинга местного 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. Решение о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе организации реагирования. Предложены множества лексических переменных, характеризующие факторы объективной действительности для интерпретации данных, получаемых от средств видеомониторинга. Предложен способ использования выявленной информации из ПВИ для имитационного моделирования. В результате выполнения алгоритма ЛПР получает 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 и от количества личного состава, прибывшего в составе первых подразделений.

Модель и алгоритм обеспечивают СУОР информацией о времени реализации различных управленческих альтернатив (формируют множество допустимых управленческих альтернатив), из которых ЛПР может выбрать оптимальную по времени или ресурсам.

Научная новизна предлагаемых модели и алгоритма заключается в том, что они позволяют осуществлять оперативное имитационное моделирование времени, которое может быть затрачено на продвижение по дворовой территории к месту пожара первого прибывающего отделения на АЦ. Основой моделирования являются факторы объективной действительности, выявленные из ПВИ, поступающего в режиме реального времени с места пожара.

Для оценки качественных свойств информации, имеющейся в СУОР на момент времени t' , использованы меры информации прагматического уровня («ценность» информации) и семантического уровня (количество семантической информации). На основе существующих ранее подходов [1, 18, 45, 120, 125] к выражению прагматической и семантической мер информации предложены адаптированные формулы для определения данных параметров.

2.1. Математическая постановка задачи исследования

При функционировании СУОР ее агент – центр управления $\Omega_{ЦУ}$ (в том числе непосредственно ЛПР) – осуществляет свою деятельность в условиях высокого уровня неопределенности внешней среды. Поэтому в интервал времени $t_{след.} \in [t_2; t_3]$ необходимо повысить уровень детерминированности ситуации. Это возможно сделать при помощи получения информации непосредственно с места развития пожара, анализа полученной информации и соотнесения ее с ретроспективными данными об уже ликвидированных пожарах. При этом

необходимо экономить ресурс времени, имеющийся у центра управления для принятия эффективных решений.

После приема и обработки сообщения о пожаре, а также выполнения стандартных действий, предусмотренных служебным регламентом, ЛПР принимает решение о необходимости (или отсутствии необходимости) использовать средства видеомониторинга.

Поддержка принятия решений в работе сводится к теоретическому обеспечению СУОР с целью реализации определенных превентивных мер, необходимых для соблюдения условия выполнения основной боевой задачи на пожаре (в части выделенного компонента на рисунке 2.1).

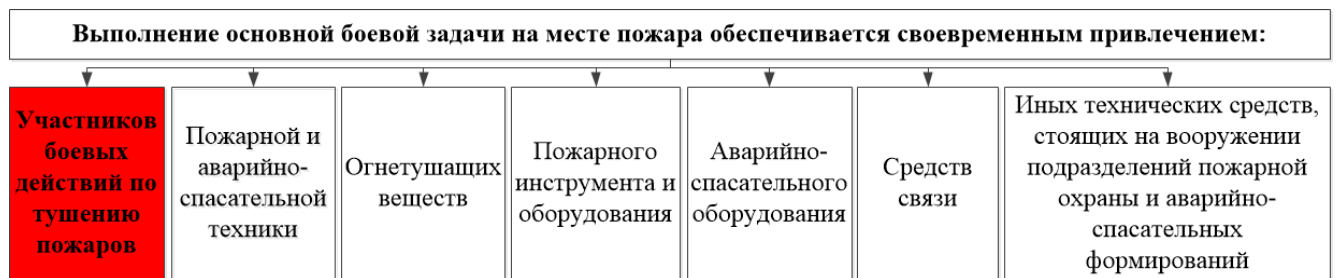


Рисунок 2.1 – Декомпозиция комплексного условия «выполнение основной боевой задачи» на месте пожара с выделением исследуемого компонента

Математическая постановка задачи исследования и ее решение представлены далее в двух частях (I и II).

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 1.13) на раннем этапе реагирования (создать условия для раннего начала процесса оценки сложности обстановки, складывающейся на месте пожара). Пусть $N_{КВ}^{ПСГ}$ – множество, содержащее все средства видеомониторинга, установленные в местном ПСГ и доступные ЛПР. Каждое отдельное средство видеомониторинга имеет номер $c \in C$ (идентификатор в множестве $N_{КВ}^{ПСГ}$, $c = 1, 2, \dots, C$). Предположим, что в множестве $N_{КВ}^{ПСГ}$ существует минимум одно средство видеомониторинга, которое

является полезным для ЛПР в некоторой случайной ситуации. Перед ЛПР стоит задача поиска и выбора данного средства видеомониторинга. Пусть формулой (2.1) задано среднее время ($\tau_{\text{выб.}}$), затрачиваемое ЛПР на поиск и выбор средств видеомониторинга, удовлетворяющих потребность в снижении информационного дефицита в СУОР; множество средств видеомониторинга, отобранных для оценки сложности обстановки, складывающейся на месте пожара, обозначается как $N_{\text{КВ}}^{\text{оц.}} \in N_{\text{КВ}}^{\text{ПСГ}}$. ЛПР может затратить на процесс поиска и выбора средств видеомониторинга некоторую дискретную величину $\tau_{\text{выб.}}$. За это время может быть проанализировано изображение от n средств видеомониторинга.

$$\tau_{\text{выб.}} = n(\tau_c^{\text{поиск}} + \tau_c^{\text{загрузка}} + \tau_c^{\text{доступ упр.}} + \tau_c^{\text{ракурс}}), \quad (2.1)$$

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

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

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

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

Необходимо создать условия в виде информационного обеспечения (модель и алгоритм) поддержки принятия решений для уменьшения времени $\tau_{\text{выб.}}$, благодаря реализации многокритериального анализа для оперативного поиска и выбора приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования. Требованием к модели и алгоритму является стремление к реализации следующего условия: при фиксированном количестве проанализированных средств видеомониторинга ЛПР имеет возможность уменьшить время, затраченное на поиск и выбор подходящих средств видеомониторинга: $\tau_{\text{выб.}}^* < \tau_{\text{выб.}}$, $\tau_{\text{выб.}}^*$ – время, затрачиваемое ЛПР на поиск и выбор средств видеомониторинга с применением информационного обеспечения

поддержки принятия решений. Необходимо, чтобы ЛПР получил ранжированное множество средств видеомониторинга в соответствии с предпочтениями в конкретной ситуации.

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.

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 (2.2) представляет адаптацию подхода, предложенного А. А. Харкевичем [120]) и (или) дефицита количества семантической информации), улучшаются качественные свойства поступившей в СУОР информации – полнота (формула (2.2)) и избирательность (формула (2.3)) информации:

$$\tilde{I}^{BM} = \log_2 \frac{P_{до\ упр.}}{P_{после\ упр.}}, \tilde{I}^{BM} \geq 0, \quad (2.2)$$

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

$P_{\text{до упр.}}$ и $P_{\text{после упр.}}$ – условные показатели вероятности достижения плановых временных показателей сосредоточения сил и средств (участников боевых действий по тушению пожара) на пожаре после выявления осложняющих факторов объективной действительности средствами видеомониторинга: до и после реализации управления в СУОР соответственно.

Условный показатель ценности видеоинформации $\tilde{I}^{\text{ВМ}}$ отражает прирост условной вероятности выполнения основной боевой задачи на месте пожара по компоненту «своевременное привлечение участников боевых действий по тушению пожаров» (рисунок 2.1) относительно ситуации, выявленной на ранней стадии организации реагирования и неустранимой до прибытия первых подразделений к месту пожара. Условный показатель $I_{\text{Сем.}}^{\text{ВМ}}$ определяет готовность ЛПР осуществить комплексный анализ поступающего ПВИ, относительно складывающейся ситуации (2.3):

$$I_{\text{Сем.}}^{\text{ВМ}} = \log_2 \frac{n_{\text{ЛПР}}}{n_{\text{факт.}}}, 0 \leq I_{\text{Сем.}}^{\text{ВМ}} \leq 0, \quad (2.3)$$

где $n_{\text{ЛПР}}$ и $n_{\text{факт.}}$ – количество групп факторов: по которым ЛПР может оценить сложность складывающейся на месте пожара обстановки и по которым фактически возможна достоверная оценка в конкретной ситуации соответственно.

ЛПР должен быть обеспечен по результату моделирования значением прогнозируемого времени преодоления первым прибывающим отделением на АЦ расстояния по дворовой территории многоквартирных домов к объекту пожара, в зависимости от степени затруднения проезда и других факторов объективной действительности, замедляющих продвижение к объекту пожара (формула (2.4)). Также значение $t_i^{\text{д.дв.т.}}$ зависит от количества личного состава, прибывшего к месту пожара в составе первых отделений. Благодаря разработанному далее информационному обеспечению ЛПР должен получить возможность теоретического выбора оптимального варианта из множества допустимых:

$$t_i^{\text{д.дв.т.}}(N_{\text{л.с.}}, ZP, F) \rightarrow \min\{T_{\text{д.дв.т.}}\}, t_i^{\text{д.дв.т.}} \in T_{\text{д.дв.т.}}, \quad (2.4)$$

где $N_{\text{л.с.}}$ – количество личного состава, прибывающее 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 $e=1,2,3$;

F – множество факторов 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 продвижение к месту пожара, i – конкретное значение $N_{\text{л.с.}}$, принятое для момента моделирования. Далее в работе вместо i тождественно используется обозначение (ij) ;

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

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

В зависимости от опыта осуществления видеомониторинга ЛПР, технического состояния системы видеомониторинга, сложности ситуации и других факторов время, затраченное на обработку информации с каждого отдельного средства видеомониторинга, может быть разным.

В результате проведенного микроэлементного анализа циклического процесса, компоненты которого описаны формулой (2.1), было определено, что в среднем на практике параметр $\tau_c^{\text{поиск}}$ может занимать приблизительно 15–25 % от

значения $\tau_{\text{выб.}}$. Однако это значение может варьироваться в зависимости от обстоятельств и профессиональных качеств ЛПП.

Модель информационного обеспечения поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования подразделений пожарной охраны M_1 задана кортежем (2.5). Допустимое ограничение модели M_1 задано условием (2.6):

$$M_1 = (N_{\text{КВ}}^{\text{ПСГ}}; \Theta; W; N_{\text{КВ}}^{\text{р.}}; J_{M_1}), \quad (2.5)$$

$$t_2 + \tau_{\text{выб.}}^* \ll t_3, \quad (2.6)$$

где Θ – координаты места пожара (множество-сингелтон – входные данные M_1);

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

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

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.

Теоретически определен интервал времени, прошедшего от начала сосредоточения подразделений пожарной охраны в городской среде (t_2), в который мероприятия по ранней оценке сложности обстановки, складывающейся на месте пожара будут иметь наиболее высокую эффективность ($t_{\text{оц.}}^{\text{опт.}}$).

Определение оптимального интервала произведено через моделирование динамики изменения значения условного показателя эффективности информационного обеспечения поддержки принятия решений $\mathcal{E}(t_{\text{оц.}})$, заданного формулой (2.7).

$$\varepsilon(t_{\text{оц.}}) = t_{\text{оц.}}^{-1} - \frac{(t_{\text{оц.}})^{-1}}{2 |t_{\text{приб. доп.}}^{\min} - t_{\text{приб. доп.}}^{\max}|} \ln \left(\frac{t_{\text{приб. доп.}}^{\min}}{t_{\text{приб. доп.}}^{\max}} \right), \quad (2.7)$$

где $t_{\text{приб. доп.}}$ – ожидаемое время прибытия дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны к месту пожара, $t_{\text{приб. доп.}} \in [t_{\text{приб. доп.}}^{\min}; t_{\text{приб. доп.}}^{\max}]$.

Данная формула известна в теории управления ОС как один из способов оценки эффективности принятого решения центром управления (осуществленного в условиях неопределенности) [57] и адаптирована для данного исследования. В формуле (2.7) значение $t_{\text{оц.}}$ возведено в степень «-1», потому что, в данном случае эффективность увеличивается при уменьшении $t_{\text{оц.}}$. От того, какое значение принимает $t_{\text{оц.}}$, зависит в том числе и время прибытия дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны $t_{\text{приб. доп.}}$ (высланных согласно решению, принятому по результату оперативного анализа ПВИ) в случае выявления осложнившейся обстановки. Результаты моделирования при $t_{\text{оц.}} \in [1; 10]$ ($t_{\text{оц.}}$ принадлежит множеству натуральных чисел) представлены на графике рисунка 2.2.

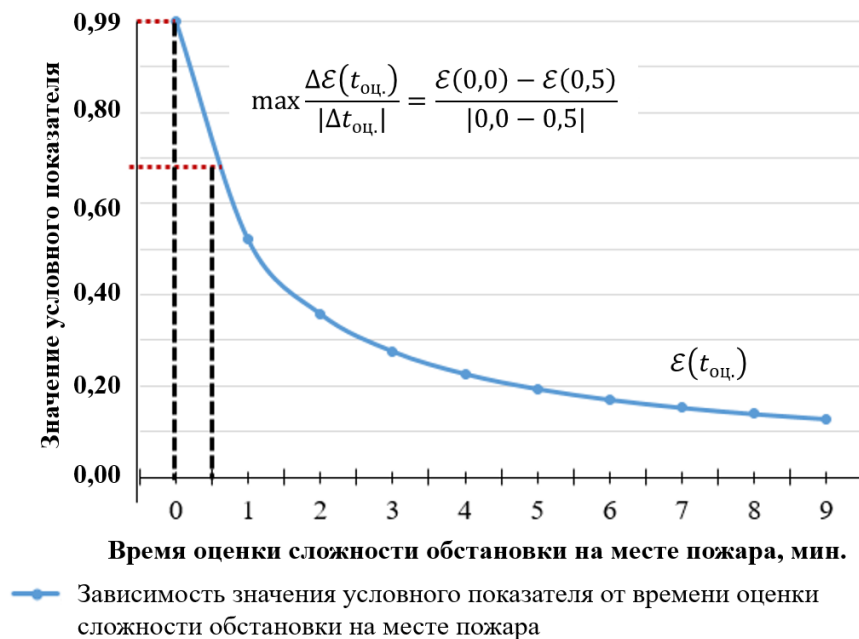


Рисунок 2.2 – Определение оптимального интервала времени для оценки сложности обстановки на месте пожара

При увеличении значения $t_{\text{оц.}}$ уменьшается значение условного показателя эффективности информационного обеспечения поддержки принятия решений $\mathcal{E}(t_{\text{оц.}})$. Наиболее резкое изменение значений $\frac{\Delta\mathcal{E}(t_{\text{оц.}})}{|\Delta t_{\text{оц.}}|}$ (снижение эффективности в секунду) наблюдается в ситуации: $\max \frac{\Delta\mathcal{E}(t_{\text{оц.}})}{|\Delta t_{\text{оц.}}|} = \frac{\mathcal{E}(0,0) - \mathcal{E}(0,5)}{|0,0 - 0,5|}$. Пусть точка пересечения графиков с координатами $[0,5; 0,68]$ свидетельствует о том, что оптимальный интервал (2.8) времени (с точки зрения математического моделирования по формуле 2.7), прошедшего от начала сосредоточения подразделений пожарной охраны в городской среде (t_2) до оценки сложности обстановки, складывающейся на месте пожара, имеет структуру $[0; t_{\text{оц.}}^{\text{опт.}}]$:

$$t_{\text{оц.}}^{\text{опт.}} < 0,5 \text{ мин.} \quad (2.8)$$

Если формула (2.6) задает допустимое ограничение модели M_1 , то формула (2.10) – оптимальное ограничение. На практике выполнение условия (2.8) может быть затруднено, если ЛПР сталкивается с проблемами, описанными на рисунке 1.9. Для преодоления выделенных проблем и стремления к выполнению условия, заданного формулой (2.8), необходимо развитие информационного обеспечения, применимого в деятельности ЛПР (при выполнении алгоритма, представленного на рисунке 1.10).

Множество критериев, используемых ЛПР для поиска и выбора предпочтительного средства видеомониторинга, состоит из трех основных элементов. Структура модели позволяет в будущем дополнять множество W другими необходимыми критериями.

Критерий $W_1 \in W$. Ракурс средства видеомониторинга относительно места пожара. Рассматривается некоторая плоскость ϖ , лежащая в двумерном пространстве. В плоскости ϖ лежит множество точек X . Пусть положение каждой точки ϖ в пространстве возможно определить при использовании декартовой системы координат. Пусть Θ – множество-сингелтон, содержащее сведения о

географическом положении объекта пожара. Множество содержит элемент, определяющий координаты объекта пожара $\{(x^\ominus; y^\ominus)\}$; Λ – множество элементов, определяющих координаты расположения на территории ПСГ средств видеомониторинга (КВ) $\{(x_c^\Lambda; y_c^\Lambda), \dots, (x_{c'}^\Lambda; y_{c'}^\Lambda)\}$, где Λ_c – элемент, определяющий координаты расположения средства видеомониторинга с номером $c \in C$.

Точка пересечения осей абсцисс и ординат $(x^\ominus; y^\ominus) = (0; 0)$ – расположение объекта пожара. Если средство видеомониторинга с координатами Λ_c не соответствует одному из перечисленных далее условий 2.1–2.4, то данное средство видеомониторинга включается в множество $N_{\text{КВ}}^{-W_1}$. До проведения анализа по критерию W_1 : множество $N_{\text{КВ}}^{-W_1} = \emptyset$. При описании условий 2.1–2.4 принято, что направление сторон света север и восток совпадают с частями осей абсцисс и ординат, образующих I координатную четверть и так далее.

Условие 2.1. Если элемент Λ_c лежит в I координатной четверти, то ракурс средства видеомониторинга с номером $c \in C$ должен иметь одно из направлений: северо-восточное, восточное, юго-восточное, южное.

Условие 2.2. Если элемент Λ_c лежит во II координатной четверти, то ракурс средства видеомониторинга с номером $c \in C$ должен иметь одно из направлений: северо-западное, западное, юго-западное, южное.

Условие 2.3. Если элемент Λ_c лежит в III координатной четверти, то ракурс средства видеомониторинга с номером $c \in C$ должен иметь одно из направлений: северное, северо-восточное, восточное, юго-восточное.

Условие 2.4. Если элемент Λ_c лежит в IV координатной четверти, то ракурс средства видеомониторинга с номером $c \in C$ должен иметь одно из направлений: северное, северо-западное, западное, юго-западное.

После анализа множества $N_{\text{КВ}}^{\text{ПСГ}}$ по критерию W_1 формируется множество средств видеомониторинга $N_{\text{КВ}}^{W_1}$, которое будет анализироваться по критериям W_2 и W_3 (2.9):

$$N_{\text{КВ}}^{W_1} = N_{\text{КВ}}^{\text{ПСГ}} \setminus N_{\text{КВ}}^{-W_1}, \quad N_{\text{КВ}}^{W_1} \subset N_{\text{КВ}}^{\text{ПСГ}}. \quad (2.9)$$

Критерий $W_2 \in W$. Расстояние от места установки средства видеомониторинга до объекта пожара по прямой. Пусть Ξ – множество расстояний в пространстве между месторасположением каждого отдельного элемента множества $N_{KB}^{W_1} \subset N_{KB}^{ПСГ}$ и объектом пожара Θ . Отдельный элемент Ξ_c определяется по формуле (2.10):

$$\Xi_c = \rho(\Lambda_c, \Theta), \quad (2.10)$$

где ρ – метрическая функция, определяющая расстояние в пространстве между средством видеомониторинга и объектом пожара.

Функция (формула 2.11) ранжирует по убыванию элементы множества Ξ :

$$f_{\text{ранж.}}(W_2) = \{\max\{\Xi\}, \dots, \min\{\Xi\}\}. \quad (2.11)$$

Ранжированное по убыванию множество расстояний между Λ_c и Θ далее упоминается как $\Xi^{\text{ранж.}}$. Дано множество рангов R_1 мощностью r' (совпадает с мощностью множества C) элементов, $R_1 = \{r, \dots, r'\}$, $r = 1, 2, \dots, r'$. При помощи биективной функции между элементами множеств $\Xi^{\text{ранж.}}$ и R_1 установлено взаимно однозначное соответствие. Причем элементу $\{\max\{\Xi\}\}$ поставлен во взаимное соответствие элемент $\{\min\{R_1\}\}$ и так далее (2.12):

$$f_{bi}: \Xi^{\text{ранж.}} \leftrightarrow R_1. \quad (2.12)$$

Критерий $W_3 \in W$. Высота установки средства видеомониторинга относительно поверхности земли. Дано множество элементов H , которые определяют высоту установки средства видеомониторинга относительно поверхности земли, где отдельный элемент $h_c \in H$. Функция (2.13) ранжирует по убыванию элементы множества H и образует множество $H^{\text{ранж.}}$:

$$f_{\text{ранж.}}(W_3) = \{\max\{H\}, \dots, \min\{H\}\}. \quad (2.13)$$

Дано множество рангов R_2 мощностью r' (совпадает с мощностью множества C) элементов, $R_2 = \{r, \dots, r'\}$, $r = 1, 2, \dots, r'$. Для элементов множеств $H^{\text{ранж.}}$ и R_2 установлена биекция таким образом, что элементу $\{\max\{H\}\}$ поставлен во взаимно однозначное соответствие элемент $\{\min\{H\}\}$ и так далее (2.14):

$$f_{bi}: H^{\text{ранж.}} \leftrightarrow R_2. \quad (2.14)$$

Далее осуществляются математические операции с образом множества $\Xi^{\text{ранж.}}$ при отображении, заданном формулой (2.12) и образом множества $H^{\text{ранж.}}$ при отображении, заданном формулой (2.14). По формуле (2.15) в виде суммы рангов вычисляется двухкритериальная оценка отдельного средства видеомониторинга с номером $c \in C$. Итоговая оценка o_c получена при сложении рангов, определенных по двум критериям, а весь анализ был осуществлен по трем критериям:

$$o_c = f(x_c^\Lambda; y_c^\Lambda) + f(h_c). \quad (2.15)$$

Ранжированные оценки o_c всех $c \in C$ элементов множества $N_{\text{KB}}^{W_1}$ формируют множество $O^{\text{ранж.}}$. Благодаря идентификатору $c \in C$ установлена связь между оценкой $o_c \in O^{\text{ранж.}}$ и конкретным средством видеомониторинга. Таким образом для ЛПР сформирована выборка средств видеомониторинга, ранжированных от наиболее предпочтительного к наименее предпочтительному в зависимости от использованных критериев анализа.

Результаты моделирования могут быть использованы на практике ЛПР в случаях, возникающих при выполнении условий 1.1–1.4 (представлены в первой главе настоящего диссертационного исследования). Эти результаты позволяют создать условия для уменьшения затрат времени на поиск и выбор подходящего средства видеомониторинга, установленного в городской среде. Что имеет важную роль в условиях дефицита времени в СУОР на раннем этапе организации реагирования на пожар.

2.3. Алгоритм информационного обеспечения поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования

Модель M_1 функционально задана алгоритмом Alg_1 . Цель выполнения алгоритма – многокритериальный анализ множества всех находящихся на территории местного ПСГ средств видеомониторинга для формирования выборки приоритетных источников видеoinформации с точки зрения предпочтений ЛПР. Алгоритм представлен в виде основных этапов.

Этап 1. Ввод исходных данных. Необходимо ввести координаты места пожара $(x^0; y^0)$.

Этап 2. Многокритериальный анализ. Необходимо выбрать критерии анализа из множества W , по которым далее осуществляется анализ множества $N_{KB}^{ПСГ}$.

Этап 3. Согласно формулам (2.9)–(2.15) осуществляется моделирование. Синтезируется множество $O^{ранж.}$. Таким образом выделены приоритетные средства видеомониторинга для оперативного ознакомления.

Этап 4. Вывод ранжированного множества оценок элементов множества $N_{KB}^{W_1}$ (или множества $N_{KB}^{ПСГ}$, если не использовался критерий W_1). На данном этапе реализуется результат работы модели M_1 – ЛПР получает ранжированный список средств видеомониторинга для ознакомления при организации оперативного реагирования на пожар. Порядок элементов в полученном списке зависит исключительно от тех критериев анализа, которые использовал ЛПР на этапе 2.

Этап 4. Ознакомление с информацией от средства видеомониторинга. ЛПР изучает информацию от первого предлагаемого моделью и алгоритмом средства видеомониторинга. Если ракурс средства видеомониторинга недостаточно информативен, то изучается информация от следующего по предлагаемому по порядку средству видеомониторинга и так далее до оценки сложности обстановки, складывающейся на месте пожара.

Алгоритм иллюстративно представлен на рисунке 2.3.

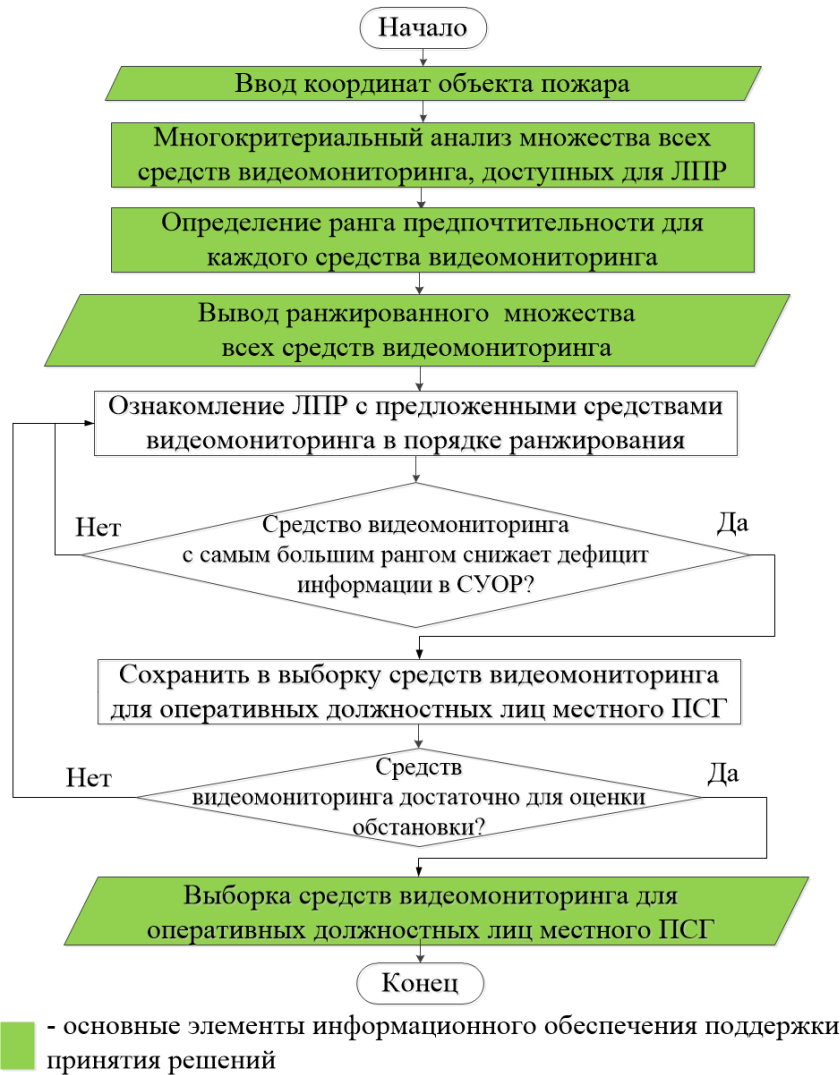


Рисунок 2.3 – Алгоритм информационной поддержки принятия решений Alg_1

В результате проведения анкетирования, устных интервью и личного изучения специфики применения средств видеомониторинга на начальном этапе сосредоточения подразделений пожарной охраны в городской среде, сделаны выводы:

– средняя производительность (Pr) ЛПР по поиску и анализу каждого отдельного средства видеомониторинга под номером c на предмет применимости в конкретной ситуации находится в интервале от 1 до 2 КВ/мин.;

– среднее значение $\tau_c^{\text{поиск}}$ может находиться в интервале от 4,5 до 15 секунд (могут встречаться и экстремальные отклонения) при $n = 1$;

– в данной работе стоит исследовать интервал возможных значений $\tau_{\text{выб.}}$ и $\tau_c^{\text{поиск}}$ с точки нормального распределения.

В таком случае для нормально распределенной случайной величины $\tau_c^{\text{поиск}}$ на интервале от 4,5 до 15 секунд при $n = 1$ математическое ожидание будет составлять $\mu=9,75$, и стандартное отклонение будет равно $\sigma=3,35$.

Модель M_1 и алгоритм Alg_1 позволяют создать условия для уменьшения времени работы ЛПР с картографическим сервисом, в котором необходимо осуществить поиск и выбор средств видеомониторинга, изменяя среднее значение Pr до Pr^* , $Pr \geq Pr^*$.

Таблица 2.1 иллюстрирует моделируемые показатели эффекта от применения модели и алгоритма при формировании выборки средств видеомониторинга. Если модель M_1 и алгоритм Alg_1 применяются ЛПР для поиска максимально информативного средства видеомониторинга за минимальное количество времени, то формально у ЛПР есть потребность к достижению условия: $n = 1$. Представлены моделируемые показатели в расчете на каждую минуту реализации процесса поиска и выбора средств видеомониторинга в СУОР при $n = 1$.

Таблица 2.1 – Моделируемое время, на которое может быть оптимизировано $\tau_{\text{выб.}}$

Пр*, КВ/мин.; вероятность, %	Время стадии, мин.		Комментарий к строке	
	0,5	1		
1,25; ~14% ($\mu + 2\sigma$)	-	15,00	Минимальный гарантированный результат	
			$E_1 = 0,00$	$Ef_1 = 0,00$
1,15; ~34% ($\mu + \sigma$)	-	13,10	$E_1 = 0,13$	$Ef_1 = 1,90$
1,7; ~68% ($\mu \pm 0\sigma$)	-	9,75	$E_1 = 0,35$	$Ef_1 = 5,25$
2,25; ~34% ($\mu - \sigma$)	6,40	-	$E_1 = 0,57$	$Ef_1 = 8,60$
2,15; ~14% ($\mu - 2\sigma$)	4,50	-	$E_1 = 0,70$	$Ef_1 = 10,50$

В таблице 2.1 представлены моделируемые дискретные величины времени, на которое уменьшается итерация поиска и выбора нового источника видеoinформации при организации оперативного реагирования на пожар (Ef_1). Моделирование результата применения модели M_1 и алгоритма Alg_1 произведено относительно «минимального гарантированного результата» (рисунок 2.4).

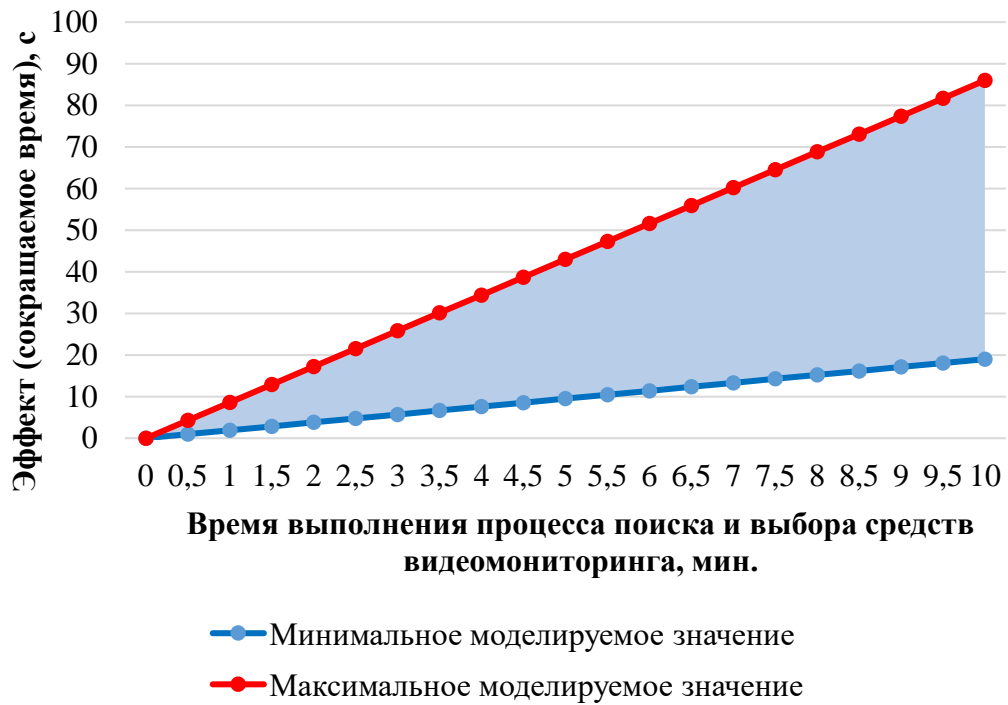


Рисунок 2.4 – Моделирование среднего результата применения модели M_1 и алгоритма Alg_1

Средний моделируемый вероятный эффект от применения модели и алгоритма определяется уменьшением затраченного времени на 1,9–8,6 секунд, в расчете на каждую минуту реализации процесса поиска и выбора средств видеомониторинга в СУОР.

Целевой функционал модели M_1 отражает стремление к уменьшению времени, затрачиваемого ЛПР на поиск и выбор средств видеомониторинга, удовлетворяющих потребность в снижении информационного дефицита в СУОР (2.16):

$$J_{M_1} = 1 - \frac{\tau_{\text{выб.}}^*}{\tau_{\text{выб.}}}, \tau_{\text{выб.}} > \tau_{\text{выб.}}^*, J_{M_1} > 0. \quad (2.16)$$

Таким образом ЛПР получает возможность проанализировать фиксированное количество средств видеомониторинга с обеспечением тактического резерва времени для реализации иных компонентов процесса управления.

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

Вопрос о влиянии внешних факторов на время прибытия подразделений пожарной охраны к месту пожара ранее рассматривался в работах [77, 99–101], однако неизученным остался аспект данного вопроса, касающийся продвижения к месту пожара по дворовым проездам первого прибывающего отделения на АЦ. 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) информационного обеспечения поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования (2.17):

$$M_2 = (ZP, F, N_{л.с.}, t_{ij}^{пр.б.р.}, t_{ij}^{пр.д.}, t_{оц.}, J_{M_2}), \quad (2.17)$$

где $t_{ij}^{пр.б.р.}$ – прогноз времени проведения боевого развертывания (полного развертывания магистральной рукавной линии, с) [75, 113–114];

$t_{ij}^{пр.д.}$ – 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, прибывающем к месту пожара в составе первых отделений, рассчитать прогнозируемое время $t_{ij}^{д.дв.т.}$ (как сумму $t_{ij}^{пр.б.р.}$ и $t_{ij}^{пр.д.}$).

Модель M_2 применяется для решения следующей задачи управления.

Пусть к месту пожара в селитебном районе города следует $N_{отд.}$ отделений подразделений пожарной охраны. Среди $N_{отд.}$ выделяется $N_{перв.отд.}$ – подмножество отделений, которые первыми придут к месту пожара. В множество элементов $N_{перв.отд.}$ включены отделения на основных пожарных автомобилях, в том числе на пожарной АЦ (i – конкретное значение $N_{л.с.}$, принятое для момента моделирования (и прибывшее в составе $N_{перв.отд.}$). Учитывая степень затруднения проезда по дворовой территории многоквартирных домов ZP , через которую пролегает путь следования первого прибывающего отделения на АЦ, и факторы множества F , требуется вычислить значение функции $t_{ij}^{д.дв.т.}(N_{л.с.}, ZP, F)$ в текущих условиях. Основой для моделирования является информация, поступающая от средств видеомониторинга.

Дано множество всех допустимых вариантов преодоления первым прибывающим отделением на АЦ расстояния по дворовой территории многоквартирных домов к месту пожара $L_{доп.}$ (2.18), каждый отдельный элемент которого – $l_{путь}$. Множество $L_{доп.}$ сформировано для синтеза множества $T_{д.дв.т.}$ (множества допустимых вариантов времени, за которое возможно преодолеть $l_{путь}$), которое задано формулой (2.19):

$$L_{доп.} = \{(l_{ij}^{б.р.} + l_{ij}^{д.})_j, \dots, (l_{ik}^{б.р.} + l_{ik}^{д.})_k\}, \quad l_{путь} = l_{ij}^{б.р.} + l_{ij}^{д.}, j = 1, 2, \dots, k, \quad (2.18)$$

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

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

$$T_{д.дв.т} = \left\{ (t_{ij}^{пр.б.р.} + t_{ij}^{пр.д.})_j, \dots, (t_{ik}^{пр.б.р.} + t_{ik}^{пр.д.})_k \right\}, t_{ij}^{д.дв.т.} = t_{ij}^{пр.б.р.} + t_{ij}^{пр.д.}. \quad (2.19)$$

Каждому элементу $l_{путь} \in L_{путь}$ во взаимное однозначное соответствие (2.20) 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 (2.21)):

$$f_{bi}: T_{д.дв.т} \leftrightarrow L_{доп.}; \quad (2.20)$$

$$\tau_{ij} = t_{ij}^{пр.б.р.} + l_{ij}^{д.} v_{ZP} + s_1 t_{преод.}(F_1) + s_2 t_{преод.}(F_2) + s_3 t_{преод.}(F_3) + s_4 t_{преод.}(F_4), \quad (2.21)$$

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 местного ПСГ может отличаться из-за особенностей городской среды и иных обстоятельств, которые характерны для конкретного местного ПСГ.

Целевой функционал J_{M_2} 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 $N_{л.с.}$ (2.22):

$$J_{M_2}: \tau_{ij}(N_{л.с.}, ZP, F) \rightarrow \min\{T_{д.дв.т}\}, \tau_{ij} = t_{ij}^{пр.б.р.} + t_{ij}^{пр.д.}. \quad (2.22)$$

Функция модели M_2 : прогнозирование времени, которое будет затрачено на движение первого прибывающего отделения на АЦ по дворовой территории

многоквартирных домов τ_{ij} при выявленных при использовании средств видеомониторинга факторов объективной действительности, присутствующих на месте пожара (на подъездных путях к объекту пожара), затрудняющих продвижение первого прибывающего отделения на АЦ. Далее разработано теоретическое обеспечение для возможности вычисления конкретных значений τ_{ij} .

Скорость движения внутри дворовых территорий многоквартирных домов первого (первых) прибывающего (прибывающих) к месту пожара отделений на АЦ – v_{ZP} зависит от степени затруднения проезда в этих дворах – $ZP_e \in ZP$, $e = 1, 2, \dots, e'$. Значения скоростей v_{ZP} для случаев ZP_1, ZP_2 и ZP_3 приняты условно для иллюстрации работы модели M_2 . Тестовый набор значений определялся путем анализа видеозаписей, предоставленных СМИ и социальными медиа в открытом доступе, на которых зафиксировано продвижение основных пожарных автомобилей внутри дворовых территорий многоквартирных домов. Модель является открытой для внесения значений v_{ZP} , отличных от представленных в таблице 2.2, в том числе полученных при проведении экспериментов (наблюдений) в естественных условиях оперативного реагирования на пожар. При этом адекватность модели будет повышена.

Таблица 2.2 – Индикация и характеристика степени затруднения проезда внутри дворовых территорий многоквартирных домов для первого прибывающего отделения на АЦ

Степень затруднения проезда $ZP_e \in ZP$	Индикатор степени затруднения проезда ZP	Следствие	Условно принятое значение v_{ZP} (для иллюстрации работы модели)
Степень затруднения проезда во дворе «легкая» ($ZP_1 \in ZP$)	Подъездные пути к месту пожара свободны	Водитель АЦ контролирует скоростной режим	10 км/ч

Продолжение таблицы 2.2

Степень затруднения проезда $ZP_e \in ZP$	Индикатор степени затруднения проезда ZP	Следствие	Условно принятое значение v_{ZP} (для иллюстрации работы модели)
Степень затруднения проезда во дворе «средняя» ($ZP_2 \in ZP$)	Подъездные пути к месту пожара имеют препятствия для проезда первого отделения на АЦ и проведения боевого развертывания (присутствует стихийная парковка частных автомобилей)	Отделение на АЦ вынужденно едет со сниженной скоростью	4–5 км/ч
Степень затруднения проезда во дворе «сильная» ($ZP_3 \in ZP$)	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)	Отделение на АЦ вынужденно едет с очень низкой скоростью или движение невозможно	0–2 км/ч

Кроме степени затруднения проезда ZP на дворовых территориях многоквартирных домов могут присутствовать факторы F_g , составляющие множество F , $g = 1, 2, \dots, g'$. Данные факторы замедляют движение первой АЦ к объекту пожара (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Характеристика факторов, замедляющих продвижение первого прибывающего отделения на АЦ внутри дворовых территорий многоквартирных домов

Код фактора	Индикатор фактора	Характеристика фактора	Следствие
Фактор 1 ($F_1 \in F$)	Частные автомобили припаркованы на повороте перед проездом к объекту пожара	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	Увеличение времени $t_{ij}^{пр.д.}$, либо увеличение времени $t_{ij}^{пр.б.р.}$

Продолжение таблицы 2.3

Код фактора	Индикатор фактора	Характеристика фактора	Следствие
Фактор 2 ($F_2 \in F$)	Частные легковые автомобили оставлены на подъездных путях к объекту пожара	Частные легковые и внедорожные автомобили, оставленные непосредственно на подъездных путях к месту пожара, вызывают прекращение движения первого отделения на АЦ	
Фактор 3 ($F_3 \in F$)	Частные внедорожные (более крупные, чем легковые) автомобили оставлены на подъездных путях к объекту пожара	Частные внедорожные автомобили, оставленные непосредственно на подъездных путях к месту пожара, вызывают прекращение движения первого отделения на АЦ	
Фактор 4 ($F_4 \in F$)	Закрытые ворота или шлагбаумы перед въездом во двор	Закрытые ворота или шлагбаумы перед въездом во двор вызывают прекращение движения первого отделения на АЦ к месту пожара	

Также на основе анализа видеозаписей сформированы зависимости, отражающие прогноз времени преодоления действия факторов F_1 , F_2 и F_3 от количества активно участвующего личного состава. Преодоление фактора F_4 не зависит от количества активно участвующего личного состава.

Модель M_2 является открытой для будущего добавления в нее компонент, отображающих влияние дополнительных факторов на прогнозное значение τ_{ij} . Необходимо отметить, что могут корректироваться зависимости, которые позволяют определить конкретные значения v_{ZPe} и $t_{\text{преод.}}(F_g)$. Модель M_2 является масштабируемой для применения в различных местных ПСГ.

Действие фактора F_1 наиболее вероятно преодолевается тремя способами.

Способ 1. Остановка первого прибывшего отделения на АЦ перед поворотом в жилой двор, который невозможно проехать; осуществление боевого развертывания от места остановки (до фактического местонахождения объекта пожара).

Способ 2. Буксировка частных автомобилей силами прибывшего личного состава или силами очевидцев из числа местных жителей.

Способ 3. Медленное прохождение поворота (возможно не во всех случаях).

На проанализированных видеозаписях, вошедших в выборку наблюдений (рисунок 2.5), действие фактора F_1 преодолевалось вторым и третьим способами. На графике рисунка 2.5 количество активно участвующего личного состава, равное нулю, обозначает, что использовался третий способ преодоления фактора F_1 .

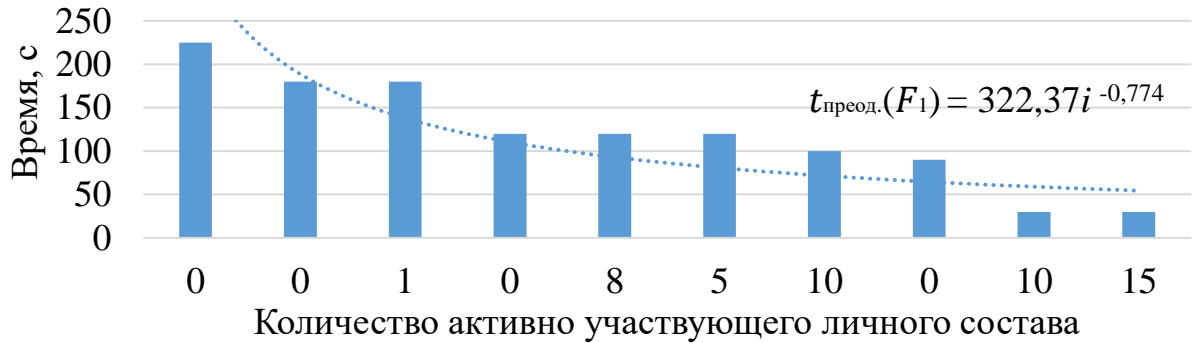


Рисунок 2.5 – Зависимость времени преодоления $t_{\text{преод.}}$ (ордината) действия фактора F_1 от количества активно участвующего личного состава i (абсцисса)

На рисунке 2.6 показана зависимость времени преодоления действия фактора F_2 от количества активно участвующего личного состава в устранении преграды движению.

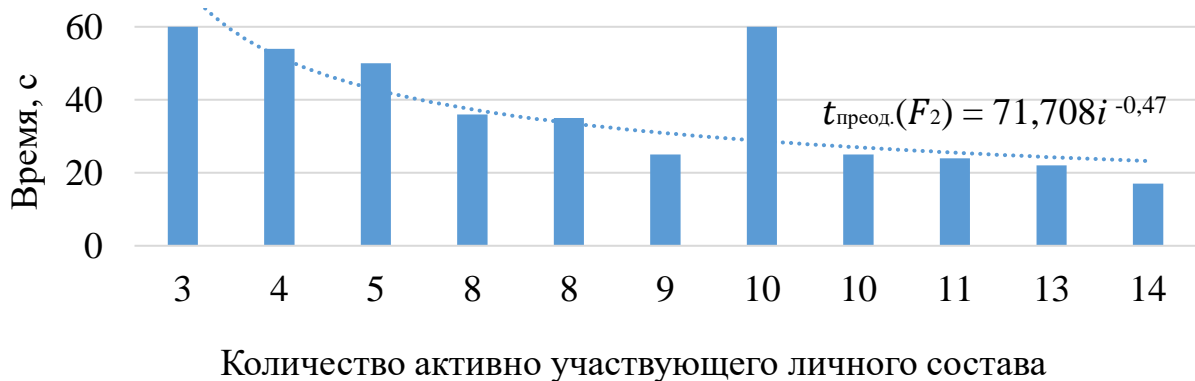


Рисунок 2.6 – Зависимость времени преодоления $t_{\text{преод.}}$ (ордината) действия фактора F_2 от количества активно участвующего личного состава i (абсцисса)

При анализе наблюдений, представленных на рисунках 2.5–2.6, получены уравнения, отражающие зависимость времени преодоления действия факторов F_1 и F_2 от количества активно участвующего личного состава. Для отражения

подобной зависимости для преодоления действия фактора F_3 условно принято, что аргумент функции (рисунок 2.6) дополнительно умножается на коэффициент, равный 3 (может иметь иные способы определения при адаптации модели к конкретному местному ПСГ).

Таким образом сформирована основа для тестового функционирования модели M_2 .

Исходные данные для моделирования. В качестве исходных данных используется значение только одного параметра: количество человек личного состава, прибывающих в составе первых отделений – i .

Дополнительными данными для моделирования является информация о выявленных факторах объективной действительности, которые могут быть описаны как элементы множеств ZP и F .

Краткое описание подхода к имитационному моделированию. Например, дано, что общая длина подъездного пути составляет $l_{\text{путь}} = 100$ м. Даны множества: $T_{\text{д.дв.т.}}$ и $L_{\text{доп.}}$, необходимо определить возможные элементы множества $T_{\text{д.дв.т.}}$. Рассмотрены случаи для одновременно прибывающего количества личного состава $i = 5, 10, 15, 20, 25$ человек. При моделировании по формуле (2.21) учитывается влияние степени затруднения проезда ZP и факторов F_1, F_2, F_3 и F_4 (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Матрица альтернатив №1

Номер и обозначение группы альтернатив, Alt_j	$l_{ij}^{\text{б.п.}}$ м	$l_{ij}^{\text{д.}}$ м	Количество одновременно прибывающего личного состава, i				
			5	10	15	20	25
Группа альтернатив 1 ($Alt_1 \subset T_{\text{доп.}}$)	20	80	τ_{51}	τ_{101}	τ_{151}	τ_{201}	τ_{251}
Группа альтернатив 2 ($Alt_2 \subset T_{\text{доп.}}$)	40	60	τ_{52}	τ_{102}	τ_{152}	τ_{202}	τ_{252}
Группа альтернатив 3 ($Alt_3 \subset T_{\text{доп.}}$)	60	40	τ_{53}	τ_{103}	τ_{153}	τ_{203}	τ_{253}
Группа альтернатив 4 ($Alt_4 \subset T_{\text{доп.}}$)	80	20	τ_{54}	τ_{104}	τ_{154}	τ_{204}	τ_{254}
Группа альтернатив 5 ($Alt_5 \subset T_{\text{доп.}}$)	100	0	τ_{55}	τ_{105}	τ_{155}	τ_{205}	τ_{255}

ЛПР получает информацию о прогнозируемом времени преодоления первым прибывающим отделением на АЦ расстояния по дворовым проездам к месту пожара τ_{ij} . ЛПР изучает полученные значения и выбирает оптимальное (формула

(2.22)) из множества допустимых. Если к моменту времени t_3 (фактическое прибытие к объекту пожара первого отделения на АЦ) к объекту пожара прибыли все подразделения пожарной охраны, которые были запланированы к высылке на данный пожар, тогда сосредоточение необходимо считать законченным процессом. Если к моменту времени t_3 к объекту пожара прибыли не все подразделения пожарной охраны, которые были запланированы к высылке на данный пожар, тогда считается завершенным первый этап процесса сосредоточения.

Полученная в результате моделирования информация является результатом применения модели информационного обеспечения поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования.

Результаты моделирования могут быть использованы на практике в трех случаях.

Случай 1. Данные информационного обеспечения поддержки принятия решений могут быть использованы ЛПР для оперативного управления объектом СУОР. Поддержка принятия решений осуществляется с опорой на обеспечение информацией о значении условного показателя интенсивности $Int(i)$ сосредоточения сил и средств подразделений пожарной охраны на месте пожара. Способ определения значения условного показателя интенсивности будет предложен далее. Согласно нормативной документации [67] ЛПР вправе осуществлять управление процессом сосредоточения сил и средств подразделений пожарной охраны до фактического появления на месте пожара РТП (до момента прибытия первых подразделений).

Таким образом, результаты имитационного моделирования позволяют стимулировать выявление необходимости в срочном привлечении дополнительных подразделений пожарной охраны на раннем этапе – в СУОР создаются условия для реализации оптимальной альтернативы (из множества выявленных допустимых вариантов) путем увеличения значения i и (или) выбора j (возможно реализовать до момента времени t_3).

Значение условного показателя $Int(i)$ имеет наибольшее значение в момент прибытия к месту пожара (в данном случае, к началу автомобильного проезда на дворовую территорию). Стремление к поддержанию начального значения $Int(i)$ в процессе сосредоточения подразделений пожарной охраны, в отдельных случаях, может стимулировать достижение наименьшего в заданных условиях значения τ_{ij} (2.23):

$$Int(i) = \frac{\sum_{r=1}^{r'} int_r}{r'}, \quad int_r = \frac{N_{л.с.}^r \cdot d'}{\sum_{d=1}^{d'} \tau_d^{приб.г}}, \quad (2.23)$$

где int_r – компонента функции $Int(i)$, характеризующая отделение на АЦ, прибывающее на место пожара с порядковым номером r , где $r = 1, 2, 3, \dots, R$; d – порядковый номер элемента в интервале времени (ожидаемое время прибытия на пожар АЦ с порядковым номером прибытия r , согласно Расписанию выезда, находится в интервале времени $[\tau_d^{приб.г}; \tau_{d'}^{приб.г}]$).

Информационным ресурсом для определения значения условного показателя $Int(i)$ является Расписание выезда, утвержденное для соответствующего ПСГ (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Вариант интерпретации Расписания выезда [64] для расчета $Int(i)$

г	Ранжированные интервалы прибытия отделений на АЦ, мин.	Количество личного состава $i_{отд.г}$	Компоненты функции
1	$[\tau_d^{приб.1}; \tau_{d'}^{приб.1}]$	$i_{отд.1}$	int_1
2	$[\tau_d^{приб.2}; \tau_{d'}^{приб.2}]$	$i_{отд.2}$	int_2
3	$[\tau_d^{приб.3}; \tau_{d'}^{приб.3}]$	$i_{отд.3}$	int_3
4	$[\tau_d^{приб.4}; \tau_{d'}^{приб.4}]$	$i_{отд.4}$	int_4
...	$[\tau_d^{приб....}; \tau_{d'}^{приб....}]$	$i_{отд....}$	$int_{...}$
r'	$[\tau_d^{приб.r'}; \tau_{d'}^{приб.r'}]$	$i_{отд.r'}$	$int_{r'}$

В таблице 2.5 буква d обозначает порядковый номер элемента в интервале времени предполагаемого прибытия отделения на АЦ с порядковым номером $г$ к месту пожара, где $d = 1, 2, 3, \dots, d'$ (например, $d = 1$, определяет минимально

возможное абсолютное время, затраченное отделением на АЦ для прибытия из места постоянной дислокации к месту пожара).

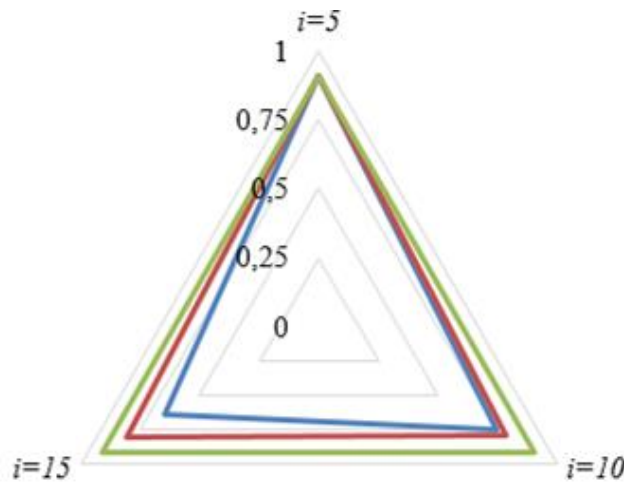
Далее, в таблице 2.6 рассматриваются три варианта управления объектом СУОР с обеспечением ЛПР информацией о значении условного показателя интенсивности $Int(i)$.

Таблица 2.6 – Варианты управления объектом СУОР с обеспечением ЛПР информацией о $Int(i)$

ЛПР обеспечивает прибытие требуемого числа личного состава с увеличивающимся интервалом времени	ЛПР обеспечивает прибытие требуемого числа личного состава с минимальным интервалом времени	ЛПР обеспечивает одновременное прибытие требуемого числа личного состава
В СУОР нет информации о складывающейся обстановке на месте пожара – интервалы времени прибытия отделений на АЦ могут быть разными для каждого отделения (пример показан графиком на рисунке 2.6 с пометкой «Показатель интенсивности при обеспечении прибытия личного состава с увеличивающимся интервалом времени»)	В СУОР имеется информация о складывающейся обстановке на месте пожара – процесс сосредоточения отделений на АЦ может быть стимулирован в пользу увеличения количества прибывающих отделений (пример показан графиком на рисунке 2.6 с пометкой «Показатель интенсивности при обеспечении прибытия личного состава с минимальным интервалом времени»)	В СУОР имеется информация о складывающейся обстановке на месте пожара – процесс сосредоточения отделений на АЦ обеспечивает одновременное прибытие оптимального количества отделений (пример показан графиком на рисунке 2.6 с пометкой «Показатель интенсивности при обеспечении одновременного прибытия личного состава»)

Таким образом, при выявлении по результатам видеомониторинга факторов, препятствующих фактическому прибытию первого отделения на АЦ к месту пожара, возможно управление объектом СУОР по параметру интенсивности $Int(i)$ с целью превентивного создания условий (до прибытия первых должностных лиц местного ПСГ на пожар) для преодоления влияния выявленных обстоятельств.

Оптимальной альтернативой является максимальная интенсивность $Int(i)$ из допустимых вариантов (рисунок 2.7).



- Показатель интенсивности при обеспечении прибытия личного состава с увеличивающимся интервалом времени;
- Показатель интенсивности при обеспечении прибытия личного состава с минимальным интервалом времени;
- Показатель интенсивности при обеспечении одновременного прибытия личного состава.

Рисунок 2.7 – Частный случай определения значения условного показателя интенсивности $Int(i)$ для иллюстрации различных вариантов управления объектом СУОР

Случай 2. Данные информационного обеспечения поддержки принятия решений могут быть использованы начальником караула, который первым прибывает на место пожара для выбора самого быстрого из доступных вариантов продвижения непосредственно к объекту пожара (создание условий для реализации оптимальной альтернативы путем выбора j).

Случай 3. Данные информационного обеспечения поддержки принятия решений могут быть использованы старшими оперативными должностными лицами местного ПСГ, которые привлекаются на место пожара при повышении ранга пожара (при осложнении складывающейся обстановки на месте пожара), в целях подготовки превентивных управленческих решений.

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

Модель M_2 формализована алгоритмом Alg_2 (рисунок 2.8), который позволяет ЛПР на ранней стадии организации реагирования на пожар осуществить имитационное моделирование различных альтернативных вариантов продвижения первого прибывающего отделения на АЦ к месту пожара, в зависимости от выявленных факторов ZP и F .

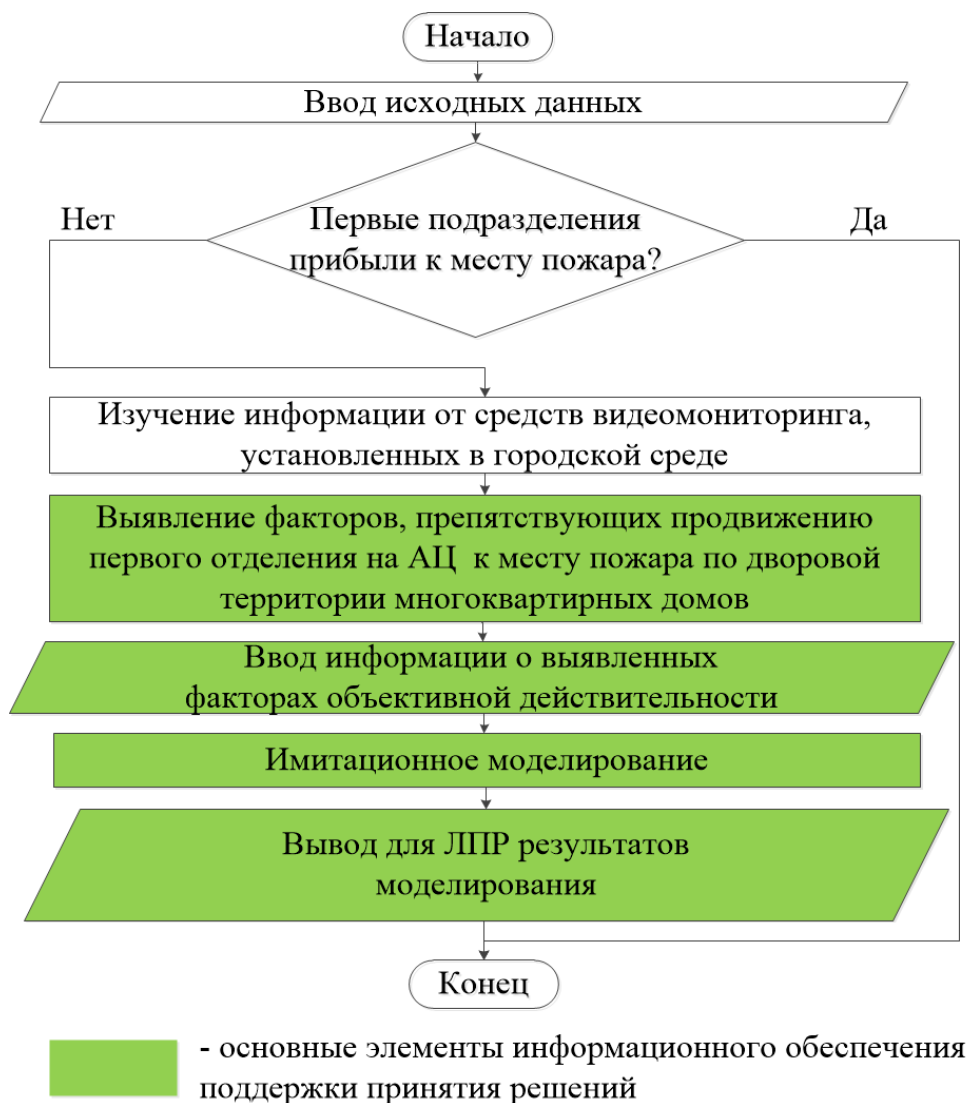


Рисунок 2.8 – Алгоритм информационной поддержки принятия решений Alg_2

Этапы выполнения алгоритма детализированы далее.

Этап 1. Ввод исходных данных. ЛПР указывает количество человек личного состава, прибывающих в составе первых отделений – i .

Этап 2. Проверка актуальности применения алгоритма на практике. Ограничение модели M_2 задано условием, что оценка сложности обстановки, складывающейся на месте пожара по результатам видеомониторинга, должна быть осуществлена до прибытия на пожар первых должностных лиц местного ПСГ. Если соблюдается условие $t_2 + t_{\text{оц.}} \ll t_3$, то алгоритм стоит считать применимым. Если по окончании выполнения алгоритма соблюдается условие $t_{\text{оц.}}^{\text{опт.}} < 0,5$ мин. – результат выполнения алгоритма считается оптимальным по критерию «время оценки сложности обстановки, складывающейся на месте пожара».

Этап 3. Изучение информации от средств видеомониторинга, установленных в городской среде. Среди элементов множества S осуществляется поиск и выбор тех, которые возможно применить в конкретной ситуации для получения дополнительной информации с места пожара. Если выполняется условие (2.24), то время выполнения данного этапа задано формулой (2.1):

$$N_{\text{КВ}}^{\text{оц.}} \neq \emptyset, \quad (2.24)$$

где $N_{\text{КВ}}^{\text{оц.}} \in N_{\text{КВ}}^{\text{ПСГ}}$ – множество средств видеомониторинга, отобранных ЛПР для оценки обстановки на месте пожара.

Этап 4. Выявление факторов объективной действительности, препятствующих продвижению первого прибывающего отделения на АЦ по дворовым территориям многоквартирных домов к месту пожара. ЛПР проводит анализ ПВИ, поступающего в СУОР от средств видеомониторинга (A_c), вошедших в множество $N_{\text{КВ}}^{\text{оц.}}$. При этом необходимо оценить предполагаемую степень затруднения проезда (2.25) и наличие факторов множества F (2.26):

$$f(ZP) = \{A_c \in A \mid \exists ZP_e \in ZP: f(ZP_e) = A_c\}, \quad (2.25)$$

$$f(F) = \{A_c \in A \mid \exists F_g \in F: f(F_g) = A_c\}. \quad (2.26)$$

Этап 5. Ввод информации о выявленных факторах ZP и F .

Этап 6. Имитационное моделирование времени реализации управленческих альтернатив τ_{ij} .

Этап 7. Вывод информации для ЛПР. На данном этапе алгоритма ЛПР получает итоговую информацию от модели M_2 . Информационное обеспечение, предложенное в разделах 2.4 и 2.5 настоящего диссертационного исследования, стремится обеспечить в СУОР выполнение хотя бы одного из условий (2.27):

$$\begin{cases} \tilde{I}^{BM*} > 0, \text{ при } I^{BM} > 0 \text{ (а)} \\ I_{Сем.}^{BM*} \geq 0, \text{ при } I^{BM} > 0 \text{ (б)} \end{cases}, \quad (2.27)$$

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

Значение \tilde{I}^{BM} (условного показателя ценности видеoinформации, поступившей в СУОР) определяется при помощи формул (2.28 а) и (2.28 б):

$$\text{а) } P_{\text{до упр.}} = \exp\left(\frac{\tau_{ij}^*}{\tau_{ij}}\right), i = 5, \quad \text{б) } P_{\text{после упр.}} = \exp\left(\frac{\tau_{i^u j}^*}{\tau_{ij}^*}\right), i^u = 10, 15, 20 \quad (2.28)$$

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 (τ_{ij} – самый быстрый вариант); после выявления осложняющих обстоятельств средствами видеомониторинга (τ_{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.

Значение \tilde{I}^{BM} определяет приращение условной вероятности достижения временных показателей оперативного реагирования на пожар (время и количество прибывающего личного состава), которые ожидалось СУОР до момента оценки сложности обстановки (ожидаемые показатели), после непосредственной обработки данных видеомониторинга. Значение условного показателя ценности видеoinформации будет $\tilde{I}^{BM} > 0$, если результат управления выражен условием: $\tau_{ij}^* > \tau_{i^u j}^*$.

Условие $I_{Сем.}^{BM*} \geq 0$ (2.27 б) достигается за счет применения синтезированного «метода оперативного анализа видеoinформации при осуществлении мониторинга в условиях организации реагирования сил и средств подразделений пожарной охраны на пожар». Данный метод формально является частью модели M_2 и алгоритма Alg_2 , и опирается на данные таблиц 2.2–2.5 и формул (2.17)–(2.28).

На тестовых данных было проведено моделирование различных значений τ_{ij} , исходя из возможных комбинаций множества элементов $(N_{л.с.}, ZP, F)$. Были учтены различные способы преодоления 100 метров дворовой территории многоквартирного дома (принято за эталон). Результаты моделирования показали (рисунок 2.9), 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 информационного обеспечения M_2 позволяет в оперативном режиме оценить различные варианты τ_{ij} . Модель, 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) – $E_{2,i^u j} = 50\%$.

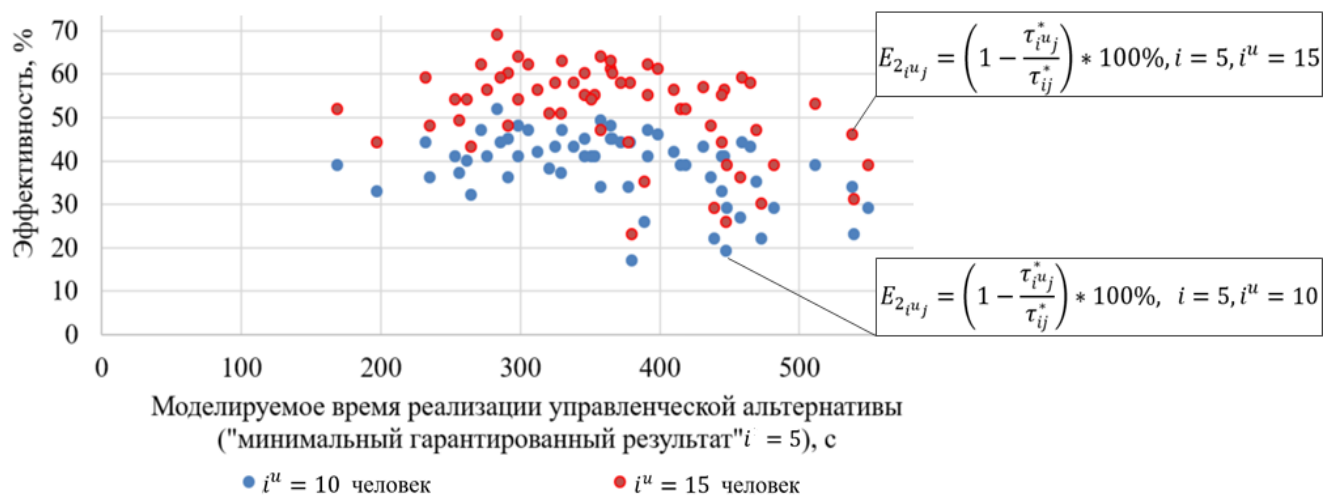


Рисунок 2.9 – Моделируемая эффективность применения модели M_2

Таким образом, после адаптации модели и алгоритма под конкретный местный ПСГ ЛПР сможет на раннем этапе реагирования подразделений пожарной охраны на пожар в городской среде, анализируя оперативный ПВИ (при условии $I^{BM} > 0$), получить теоретическое обоснование потребности привлечения дополнительных сил и средств к месту пожара в момент времени, близкий к моменту выезда первых подразделений.

Выводы по главе 2

В результате проведенного в данной главе исследования были получены следующие основные результаты.

1. Сформулирована математическая постановка задачи по 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.

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

выполняется многокритериальный анализ множества всех находящихся на территории местного ПСГ средств видеомониторинга для формирования выборки приоритетных источников видеoinформации с точки зрения предпочтений ЛПР.

Показано, что средний моделируемый вероятный эффект от применения модели и алгоритма определяется созданием условий для потенциального уменьшения затраченного времени на 1,9–8,6 секунд, в расчете на каждую минуту реализации процесса поиска и выбора средств видеомониторинга в СУОР. Таким образом ЛПР получает возможность проанализировать большее количество средств видеомониторинга без увеличения времени анализа.

3. Разработаны 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.

Алгоритм, формализующий этапы моделирования, позволяет на раннем этапе реагирования сил и средств подразделений пожарной охраны оценить влияние выявленных с помощью средств видеомониторинга факторов объективной действительности, затрудняющих продвижение первого прибывающего отделения на АЦ к месту пожара. Эффективность модели оценивалась исключительно на тестовых данных и определялась в расчете на 100 метров дворовой территории многоквартирных домов (принято за эталон). 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).

Все разработанные в главе модели и алгоритмы являются адаптируемыми под потребности конкретных территориальных (местных) ПСГ. Для этого необходима организация исследования процесса оперативного реагирования в данных ПСГ, особенностей городской среды, а также практики (возможности) осуществления видеомониторинга на территории ПСГ.

ГЛАВА 3. СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

По результатам работы, проведенной в первой и второй главах настоящего диссертационного исследования, сформирована теоретическая основа, на базе которой для достижения цели исследования необходимо осуществить программную реализацию предложенных моделей и алгоритмов. Результатом программной реализации является система информационного обеспечения поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде на раннем этапе реагирования (СИОППР). Концептуально СИОППР представляет программный комплекс (ПК), который состоит из ряда основных компонентов, уникальность каждого из которых подтверждена свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ или БД [89–94], а научная новизна подтверждается публикациями [3–12].

На концептуальном уровне система декомпозирована на два взаимодействующих сегмента: «Информационный» и «Аналитический». Основными структурными элементами СИОППР являются 2 блока и 3 подсистемы. Подсистемы объединены в блоки:

1. Блок 1 «Информационное обеспечение поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования» включает подсистему 1.

2. Блок 2 «Информационное обеспечение поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования» включает подсистему 2 и подсистему 3.

Уровневая структура СИОППР, лежащая в основе ПК, представлена на рисунке 3.1.

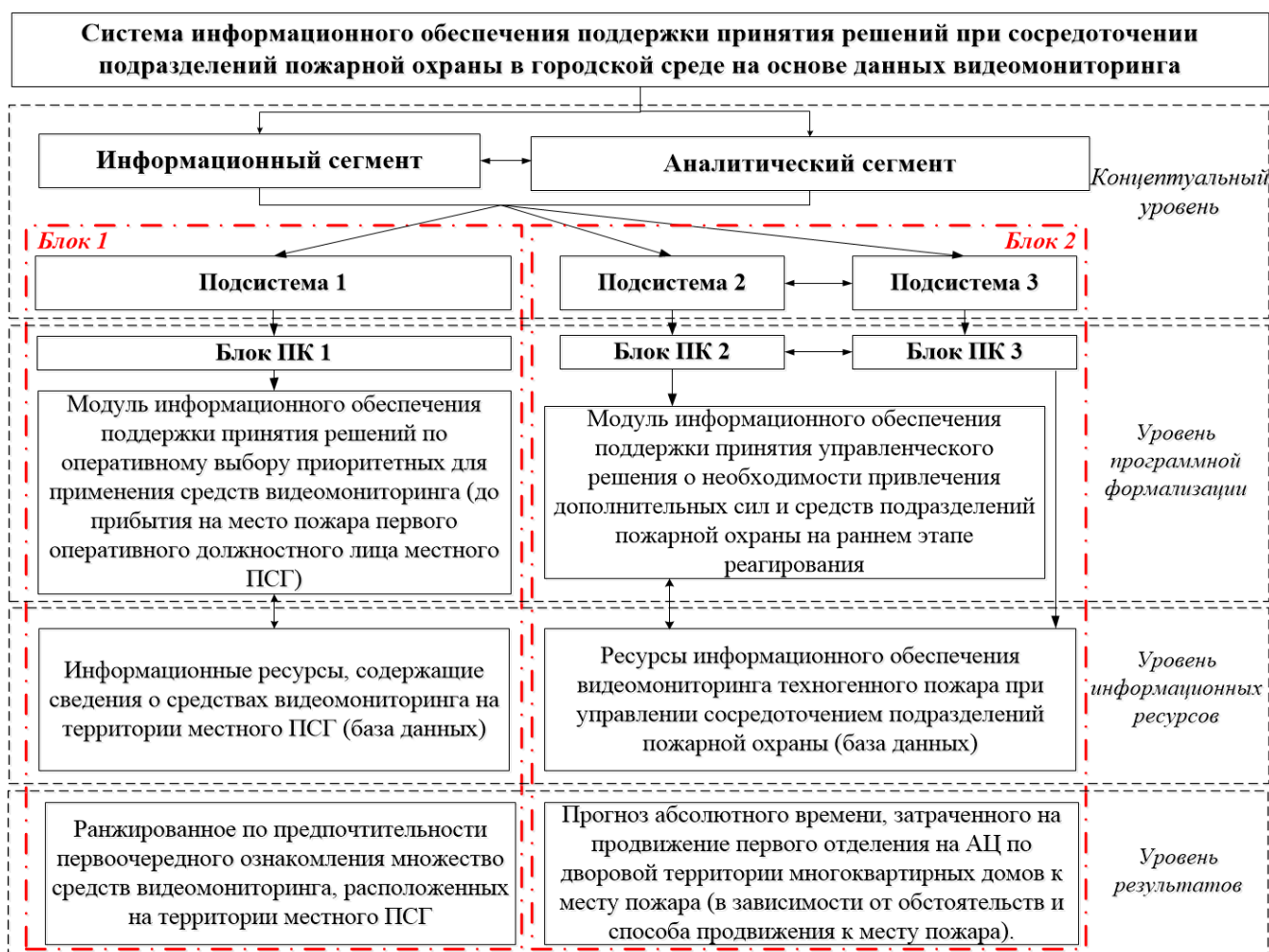


Рисунок 3.1 – Уровневая структура СИОППР

Подсистема 1. Подсистема информационного обеспечения поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования на пожар. Подсистема 1 выполняет следующие функции:

- частичная автоматизация деятельности ЛПП по поиску средств видеомониторинга, установленных в непосредственной близости с местом пожара;
- формирование выборки средств видеомониторинга, установленных в непосредственной близости с местом пожара на основе многокритериального анализа.

Подсистема 2. Подсистема информационного обеспечения поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения

дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны в городской среде на раннем этапе реагирования. На подсистему 2 возложены функции:

- обработка вводимых ЛПР данных о выявленных в объективной действительности элементах множеств ZP и F ;
- имитационное моделирование альтернативных вариантов показателя «прогнозируемое время преодоления первым прибывающим отделением на АЦ расстояния по дворовой территории многоквартирных домов к объекту пожара, в зависимости от степени затруднения проезда и других факторов объективной действительности, замедляющих продвижение к объекту пожара»;
- формирование электронного отчета для оперативных должностных лиц местного ПСГ.

Подсистема 3. Подсистема обработки и систематизации ретроспективной управленческой информации (подсистема 3). Подсистема 3 выполняет функцию: накопление ретроспективной управленческой информации о временных показателях оперативного реагирования первых отделений пожарной охраны, прибывающих к месту пожара, а также накопление информации о выявленных в соответствующих случаях при помощи средств видеомониторинга факторах объективной действительности, формирующих множества ZP и F .

3.1. Функциональная структура системы информационного обеспечения поддержки принятия решений

Блок 1. Включает подсистему 1. Общее назначение блока 1 – информационное обеспечение поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования подразделений пожарной охраны в городской среде.

Подсистему 1 составляют субподсистемы (рисунок 3.2).

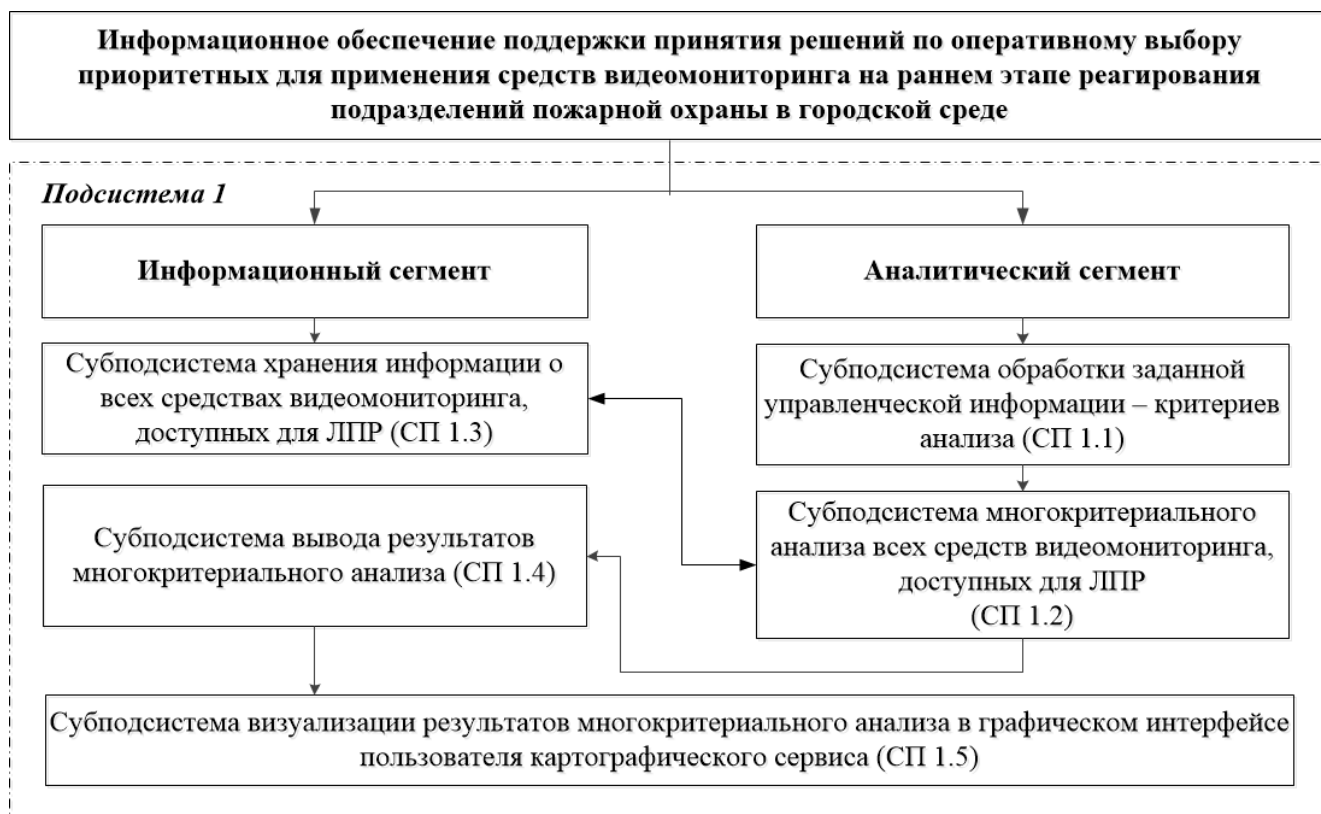


Рисунок 3.2 – Функциональная структура подсистемы 1

1. Субподсистема обработки заданной управленческой информации – критериев анализа (СП 1.1). ЛПР вводит в субподсистему критерии из множества W для формирования выборки средств видеомониторинга, соответствующих предпочтениям ЛПР в складывающейся ситуации.

2. Субподсистема многокритериального анализа множества всех средств видеомониторинга, доступных для ЛПР (СП 1.2), интегрирована с СП 1.3. В СП 1.2 выполняется многокритериальный анализ информации о всех средствах видеомониторинга, доступных для ЛПР.

3. Субподсистема хранения информации о всех средствах видеомониторинга, доступных для ЛПР (СП 1.3). СП 1.3 предназначена для хранения информации, характеризующей все средства видеомониторинга, установленные на территории ПСГ и доступные для ЛПР.

В таблице 3.1 представлены различия кортежей данных, характеризующих средства видеомониторинга в разработанной СИОППР и аналогичными программными компонентами, используемыми на практике.

Расширенный состав кортежа данных, характеризующих источники видеoinформации, позволяет осуществить оперативный поиск средств видеомониторинга, которые согласно запросу ЛПР являются приоритетными для первоочередного просмотра на раннем этапе сосредоточения подразделений пожарной охраны в городской среде.

Таблица 3.1 – Сравнительный анализ кортежей данных, характеризующих средства видеомониторинга, установленные на территории местного ПСГ

Атрибуты кортежа данных	Разработанный кортеж	Применяемые кортежи на практике
Координаты средства видеомониторинга $(x_c^A; y_c^A)$	+	+
Тип средства видеомониторинга: управляемая/статичная ($c_{тип}$)	+	+
Координаты места пожара $(x^\Theta; y^\Theta)$	+	-
Расстояние средства видеомониторинга от места пожара $\rho(\Lambda_c, \Theta)$	+	-
Высота установки средства видеомониторинга над уровнем земной поверхности h_c	+	-
Возможные направления ракурса средства видеомониторинга ввиду места ее установки $Angle_c$	+	-

4. Субподсистема вывода результатов многокритериального анализа (СП 1.4). Данная субподсистема реализует вывод ранжированного по приоритетности для первоочередного оперативного анализа ПВИ, поступающего в режиме реального времени от средств видеомониторинга, установленных на территории местного ПСГ и доступных для ЛПР.

5. Субподсистема визуализации результатов многокритериального анализа в графическом интерфейсе пользователя картографического сервиса.

Усовершенствованный вариант кортежа данных (таблица 3.1) был разработан на основе исследования специфики применения средств видеомониторинга в практической деятельности.

При этом был выявлен ряд других свойств (характеристик), которые важны для повышения эффективности формирования выборки средств видеомониторинга. Данная часть характеристик реализована в виде системы условных графических обозначений для внедрения в графический интерфейс пользователя картографического сервиса, которым пользуется ЛПР. Таким образом ПК позволяет обработать основной объем информации о доступных для ЛПР средствах видеомониторинга, а усовершенствованная система условных графических обозначений – принять окончательное решение о том, от какого средства видеомониторинга в первую очередь запросить ПВИ. Достоинством данной системы символов является одновременное сочетание лаконичности и смысловой емкости. Новизна системы графических изображений подтверждена свидетельством о государственной регистрации БД [91].

Блок 2. Общее назначение блока 2 – информационное обеспечение поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования.

Подсистема 2 и подсистема 3 СИОППР при взаимодействии образуют цикл, в котором после каждого факта решения задачи управления синтезируется информация, используемая при осуществлении информационной поддержки при последующих итерациях использования подсистем, составляющих данный блок.

После завершения каждой итерации цикла предусматривается накопление ретроспективной управленческой информации по ликвидированным пожарам.

Подсистема 2 включает в свой состав четыре подподсистемы. Функциональная структура взаимодействующих подсистем 2 и 3 представлена на рисунке 3.3.

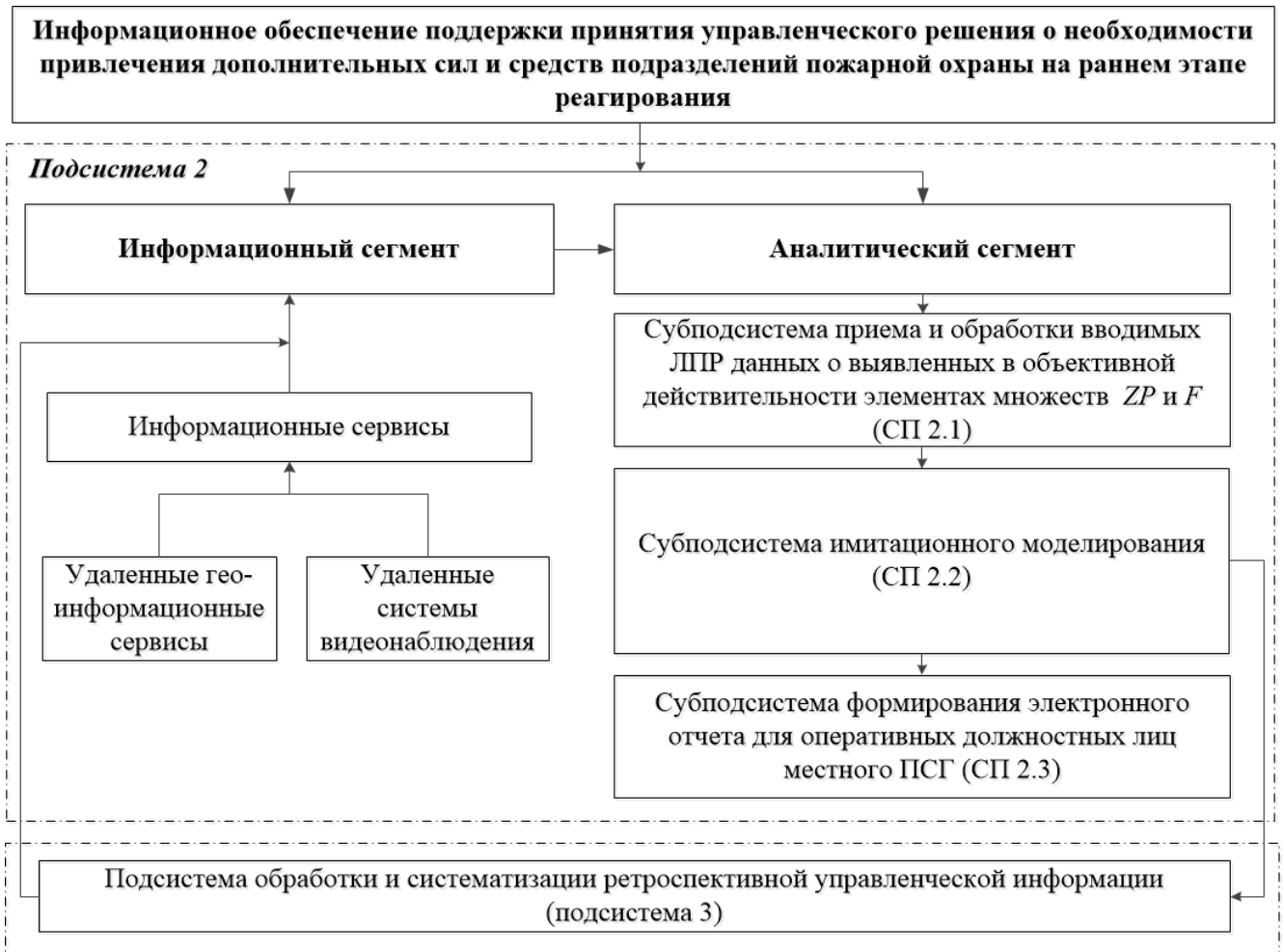


Рисунок 3.3 – Функциональная структура взаимодействующих подсистем 2 и 3

1. Субподсистема приема и обработки вводимых ЛПП данных о выявленных в объективной действительности элементах множеств ZP и F (СП 2.1). В данную субподсистему поступает информация о результатах анализа ПВИ, полученного от средств видеомониторинга, установленных в городской среде или на уличной территории объектов защиты.

2. Субподсистема имитационного моделирования альтернативных вариантов показателя «прогнозируемое время преодоления первым прибывающим отделением на АЦ расстояния по дворовой территории многоквартирных домов к объекту пожара, в зависимости от степени затруднения проезда и других факторов объективной действительности, замедляющих продвижение к объекту пожара» (СП 2.2).

3. Субподсистема формирования электронного отчета для оперативных должностных лиц местного ПСГ (СП 2.3). Субподсистема отвечает за обобщение информации, полученной в результате функционирования СП 2.1-СП 2.2, а также формирует единый документ, который может быть разослан оперативным должностным лицам местного ПСГ, в соответствии с Расписанием выезда.

Подсистема 3. В подсистему обработки и систематизации ретроспективной управленческой информации поступает управленческая информация по результатам решения задачи управления: вводятся результаты работы СП 2.1 и СП 2.2, а также фактические данные о временных показателях оперативного реагирования на пожар (время и количество прибывающих к месту вызова отделений на АЦ).

После завершения каждой итерации цикла решения задачи управления при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде предусматривается накопление управленческой информации по ликвидированным пожарам. Это значит, что ретроспективная информация используется для обеспечения рекуррентного анализа каждой последующей ситуации (итерации цикла).

3.2. Программная реализация системы информационного обеспечения поддержки принятия решений

На основе разработанной функциональной структуры СИОППР произведена программная реализация разработанных моделей и алгоритмов поддержки управления. Программная реализация формально представляет собой ПК, состоящий из программ для ЭВМ и баз данных. Процесс принятия решений представляет циклическую последовательность действий центра управления СУОР. Данные действия направлены на решение проблем, имеющих в текущий момент времени в СУОР. Такой процесс непосредственно включает этапы: анализ ситуации, генерация альтернатив, принятие и формализация решения [85].

Предлагаемое далее программное обеспечение СУОР предназначено для применения на промежуточном этапе между анализом ситуации и генерации альтернатив.

Программная реализация блока 1 СИОППР (структура которого отражена на рисунках 3.1, 3.2) произведена в табличном процессоре. Графический интерфейс пользователя и некоторые скрытые от ЛПР элементы ПК представляется возможным разбить на блоки ПК 1.1–1.5, имеющие соответствующую связь с субподсистемами СП 1.1–1.5 (рисунок 3.4).

Ввод координат места пожара		Информационные ресурсы																												
Визуализация результатов анализа на карте Информационная подсказка Расстояние: 24,01 Высота: 35 Ракурс КВ: 0 Блок ПК 1.5	ВВЕСТИ КООРДИНАТЫ МЕСТА ПОЖАРА 52.830792, 36.639627 (скопировать из ГИС) ВЫБОРКА КАМЕР ПО РАССТОЯНИЮ ДО МЕСТА П Координаты Расстояние Высота Ракурс КВ	Блок ПК 1.1 Вывод результатов многокритериального анализа данных Ссылки на подключение Другая информация	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Адрес установки КВ</th> <th>Широта</th> <th>Долгота</th> <th>Высота установки</th> <th>Направ</th> <th>Блоки</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Адрес 1</td> <td>x</td> <td>y</td> <td>27</td> <td>северо-восточное, вост</td> <td rowspan="4">ПК 1.2, 1.3</td> </tr> <tr> <td>Адрес 2</td> <td>x</td> <td>y</td> <td>5</td> <td>северо-западное, запад</td> </tr> <tr> <td>Адрес 3</td> <td>x</td> <td>y</td> <td>10</td> <td>северное, северо-вост</td> </tr> <tr> <td>Адрес 4</td> <td>x</td> <td>y</td> <td>15</td> <td>северо-восточное, восточное, юго-восточное, южное</td> </tr> </tbody> </table>	Адрес установки КВ	Широта	Долгота	Высота установки	Направ	Блоки	Адрес 1	x	y	27	северо-восточное, вост	ПК 1.2, 1.3	Адрес 2	x	y	5	северо-западное, запад	Адрес 3	x	y	10	северное, северо-вост	Адрес 4	x	y	15	северо-восточное, восточное, юго-восточное, южное
	Адрес установки КВ	Широта	Долгота	Высота установки	Направ	Блоки																								
Адрес 1	x	y	27	северо-восточное, вост	ПК 1.2, 1.3																									
Адрес 2	x	y	5	северо-западное, запад																										
Адрес 3	x	y	10	северное, северо-вост																										
Адрес 4	x	y	15	северо-восточное, восточное, юго-восточное, южное																										
	1 http:// /5 38 23,78 10 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13	Информация о средствах видеомониторинга на территории местного ПСГ ЛПР получает данные о средствах видеомониторинга: <ol style="list-style-type: none"> 1. Ранг приоритетности просмотра; 2. Координаты; 3. Расстояние до места пожара; 4. Высота установки; 5. Направление ракурса относительно места пожара. 	14 http:// /5 37 24 10 15 https:// /5 37 24 25 16 http:// /5 37 24,01 5 17 http:// /5 37 24 18 http:// /5 37 24 19 http:// /5 37 24 20 http:// /5 37 24 Блок ПК 1.4																											

Рисунок 3.4 – Графический пользовательский интерфейс ПК в части реализации блока 1 СИОППР

Блок ПК 1.1 предназначен для ввода и обработки координат объекта пожара. Поступившая информация является дополнительным атрибутом типового кортежа данных, являющегося элементом информационных ресурсов, формально представленных блоком ПК 1.3. После введения координат пожара осуществляется анализ кортежей данных (типовая структура которого представлена формулой (3.1), таблица 3.1):

$$VM_{\text{кортеж}} = ((x^{\Theta}; y^{\Theta}), (x_c^{\Lambda}; y_c^{\Lambda}), \rho(\Lambda_c, \Theta), h_c, Angle_c, c_{\text{тип}}). \quad (3.1)$$

В блоке ПК 1.2 автоматически реализуется многокритериальный анализ информационных ресурсов, содержащихся в блоке ПК 1.3.

В блоке ПК 1.4 осуществляется вывод для ЛПР результатов многокритериального анализа множества средств видеомониторинга – сформированной выборки средств видеомониторинга, которые согласно запросу ЛПР являются приоритетными для первоочередного просмотра на раннем этапе сосредоточения подразделений пожарной охраны в городской среде.

Блок ПК 1.5 визуализирует на карте результаты многокритериального анализа (рисунок 3.5).

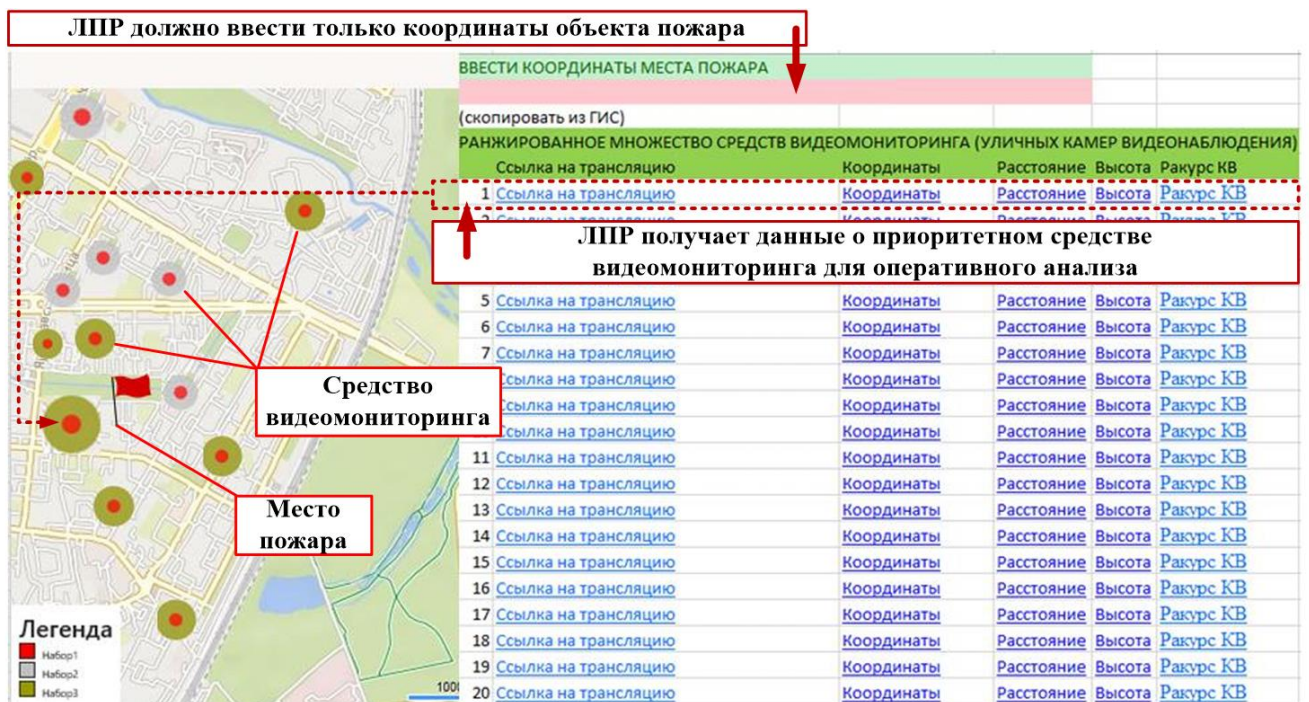


Рисунок 3.5 – Графический пользовательский интерфейс блока ПК 1.5 (окно информационной поддержки ЛПР – окно вывода результата работы модели M_1 и алгоритма Alg_1)

В дальнейшем, при развитии блока ПК 1, возможно также внедрение системы условных графических обозначений средств видеомониторинга в графический интерфейс пользователя картографического сервиса, используемого оперативной дежурной сменой Центров управления в кризисных ситуациях. Данная система функционально направлена на сокращение времени поиска

нужного источника видеoinформации в условиях дефицита времени при организации оперативного реагирования сил и средств подразделений пожарной охраны на поступивший вызов [91].

Программная реализация блока 2 СИОППР (структура которого отражена на рисунках 3.1, 3.3) произведена на языке программирования «Python 3». Дополнительно для формирования информационных ресурсов использовался табличный процессор.

Далее представлена декомпозиция программной реализации блока 2 СИОППР на блоки ПК и приведены комментарии, описывающие принцип взаимодействия пользователя с модулями программы при помощи графического пользовательского интерфейса и инструментов ввода информации в ПК.

Графический пользовательский интерфейс разделен на блоки ПК, каждый из которых определенным образом связан с описанными в виде программного кода функциональными подсистемами блока 2.

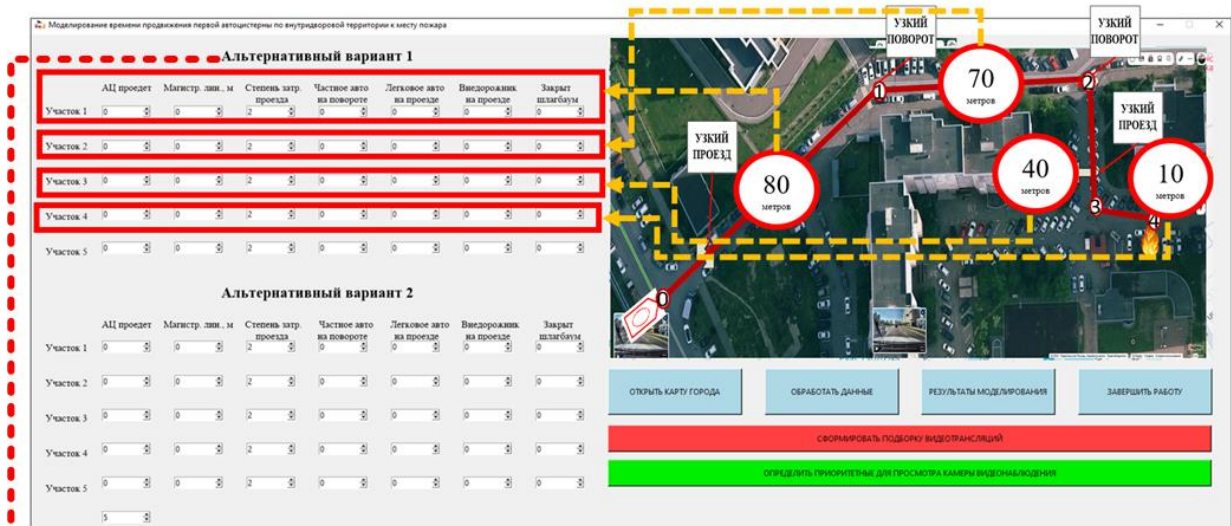
Блок ПК 2.1 предназначен для ввода в ПК (в СП 2.1) информации о выявленных в объективной действительности элементах множеств ZP и F . Вводятся следующие данные.

1. Идентифицированная характеристика степени затруднения проезда внутри дворовой территории многоквартирных домов для первого прибывающего отделения на АЦ к месту пожара (определяется предполагаемая скорость движения АЦ по участку дворовой территории v_{ZP} , элементы множества ZP).

2. Информация об обнаружении факторов объективной действительности, замедляющих продвижение к месту пожара первой АЦ по дворовой территории многоквартирных домов (элементы множества F).

3. Информация о количестве личного состава отделений пожарной охраны, прибывшего в составе первых отделений i .

Графический интерфейс пользователя программной реализации блока ПК 2.1 представлен на рисунке 3.6.



а)



б)

Дискретные значения времени, полученные в результате применения модели M_2 и алгоритма Alg_2

Скорость АЦ (м/с)	Устранение помехи на повороте (секунд)	Устранение помехи на пути следования - легк. авт. (секунд)	Устранение помехи на пути следования - внед. авт. (секунд)	Открыть шлагбаум ворот (секунд)	СУММА (секунд)
2.0	0	0	0	0.0	0.0
2.0	0	0	0	0.0	0.0
2.0	0	0	0	0.0	0.0
2.0	0	0	0	0.0	0.0
2.0	0	0	0	0.0	0.0
					0.0 секунд

в)

Рисунок 3.6 – Графический интерфейс пользователя (красные и желтые линии нанесены иллюстративно) программной реализации блока ПК 2.1 (а – общий вид; б – укрупненный вид окна ввода данных ЛПР) и иллюстрация связи с блоком ПК 2.3 (в – фрагмент итогового отчета) [92]

После ввода данной информации ЛПП, взаимодействуя с любым доступным картографическим сервисом, определяет явно выраженные последовательные участки маршрута первого прибывающего к месту пожара отделения на АЦ, на которых присутствуют (по данным видеомониторинга, осуществляемого в режиме реального времени) помехи для свободного проезда отделения на АЦ к объекту пожара. На каждом из участков ЛПП имеет возможность задать характерную для данного участка предполагаемую скорость движения v_{ZP} и указать наличие или отсутствие факторов из множества F . Программная реализация позволяет одновременно сделать расчет для двух альтернативных вариантов продвижения к объекту пожара. Каждый из альтернативных вариантов может включать до пяти последовательных участков маршрута. Блок ПК 2.2 (СП 2.2) отвечает за имитационное моделирование и представлен исключительно программным кодом.

Блок ПК 2.3 (СП 2.3) имеет функцию формирования электронного отчета для оперативных должностных лиц местного ПСГ (рисунок 3.7).

Поля для ввода ссылок на трансляции от средств видеомониторинга

Поля для ввода комментариев к трансляциям

Функция, обобщающая информацию

ПРОГРАММА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДБОРКИ ОПЕРАТИВНОЙ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНЫХ ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ГАРНИЗОНА

КАМЕРА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ОСНОВНЫМ РАКУРСОМ:

№1 КАМЕРА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ РАКУРСОМ:

№2 КАМЕРА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ РАКУРСОМ:

№3 КАМЕРА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ РАКУРСОМ:

№4 КАМЕРА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ РАКУРСОМ:

ССЫЛКА НА КППИЛИТТПД ДЛЯ ОТЧЕТА:

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

КОММЕНТАРИЙ ПО РАКУРСУ КАМЕРЫ:

КОММЕНТАРИЙ ПО РАКУРСУ КАМЕРЫ:

КОММЕНТАРИЙ ПО РАКУРСУ КАМЕРЫ:

КОММЕНТАРИЙ ПО РАКУРСУ КАМЕРЫ:

КОММЕНТАРИЙ ПО РАКУРСУ КАМЕРЫ:

СФОРМИРОВАТЬ ПОДБОРКУ ОПЕРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Поле для ввода дополнительной текстовой информации

Поле для ввода ссылки на документ предварительного планирования

Рисунок 3.7 – Графический интерфейс пользователя программной реализации блока ПК 2.3 [94]

ЛПР вводит в блок ПК 2.3 данные, полученные из блока ПК 1.4 (ссылки на трансляцию ПВИ средств видеомониторинга, которые были определены как приоритетные для первоочередного ознакомления).

Итак, в блок ПК 2.3 вводятся следующие данные:

- ссылка на средство видеомониторинга, имеющее основной ракурс по отношению к развивающемуся пожару;
- ссылки на средства видеомониторинга, имеющие вспомогательные ракурсы для оперативных должностных лиц;
- ссылка на карточку или план тушения пожара;
- текстовые комментарии к ракурсам и прочие комментарии.

Также существует возможность вставить ссылку на карту местности и основные трансляции для их отдельного отображения в итоговом отчете. Блок ПК 2.3 формирует итоговый отчет для ЛПР, представляющий html-документ (рисунок 3.8), который может быть отправлен нормативно разрешенным способом передачи файлов. Файл может быть открыт как на автоматизированном рабочем месте ЛПР, так и на переносных устройствах, поддерживающих работу веб-браузера. Техническими достоинствами применения html-документа являются возможность открытия на любом устройстве, где предустановлен веб-браузер, и небольшой объем документа (составляет около 1–5 КБ). На рисунке 3.8 внутри html-документа (открытого в браузере смартфона) представлены две таблицы, соответствующие двум альтернативным вариантам продвижения первого отделения на АЦ к объекту пожара по дворовой территории. Каждая из таблиц формально представляет информационные ресурсы с атрибутами:

- номер участка внутридворовой территории;
- АЦ проедет (м; с);
- магистральная линия (м; с);
- скорость АЦ (м/с);
- время устранения помехи на повороте (с);
- время устранения помехи на пути следования – легкового автомобиля (с);

- время устранения помехи на пути следования – крупного автомобиля (с);
- время, затраченное на то, чтобы открыть шлагбаум ворот (с);
- сумма затраченного времени (с). Отображает τ_{ij} .

Альтернатива 1	АЦ проезд (метров/секунд)	Магистральная линия (метров/секунд)	Скорость АЦ (м/с)	Устранение помехи на повороте (секунд)	Устранение помехи на пути следования с использованием -пов. авт. -пов. авт. (секунд)	Устранение помехи на пути следования с использованием -пов. авт. -пов. авт. (секунд)	Устранение помехи на пути следования с использованием -пов. авт. -пов. авт. (секунд)	Открыть шлагбаум (секунд)	СУММА (секунд)	СУММА (минут)
Участок 1	0.0; 0.0	0.0; 0	2.0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
Участок 2	0.0; 0.0	0.0; 0	2.0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
Участок 3	0.0; 0.0	0.0; 0	2.0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
Участок 4	0.0; 0.0	0.0; 0	2.0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
Участок 5	0.0; 0.0	0.0; 0	2.0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
Суммарное время									0.0	0.0

Рисунок 3.8 – Окно информационной поддержки ЛПП (открыт отчет) – окно вывода результата работы модели M_2 и алгоритма Alg_2) [94]

Общая концепция работы программной реализации блока 2 СИОППР представлена на рисунке 3.9.

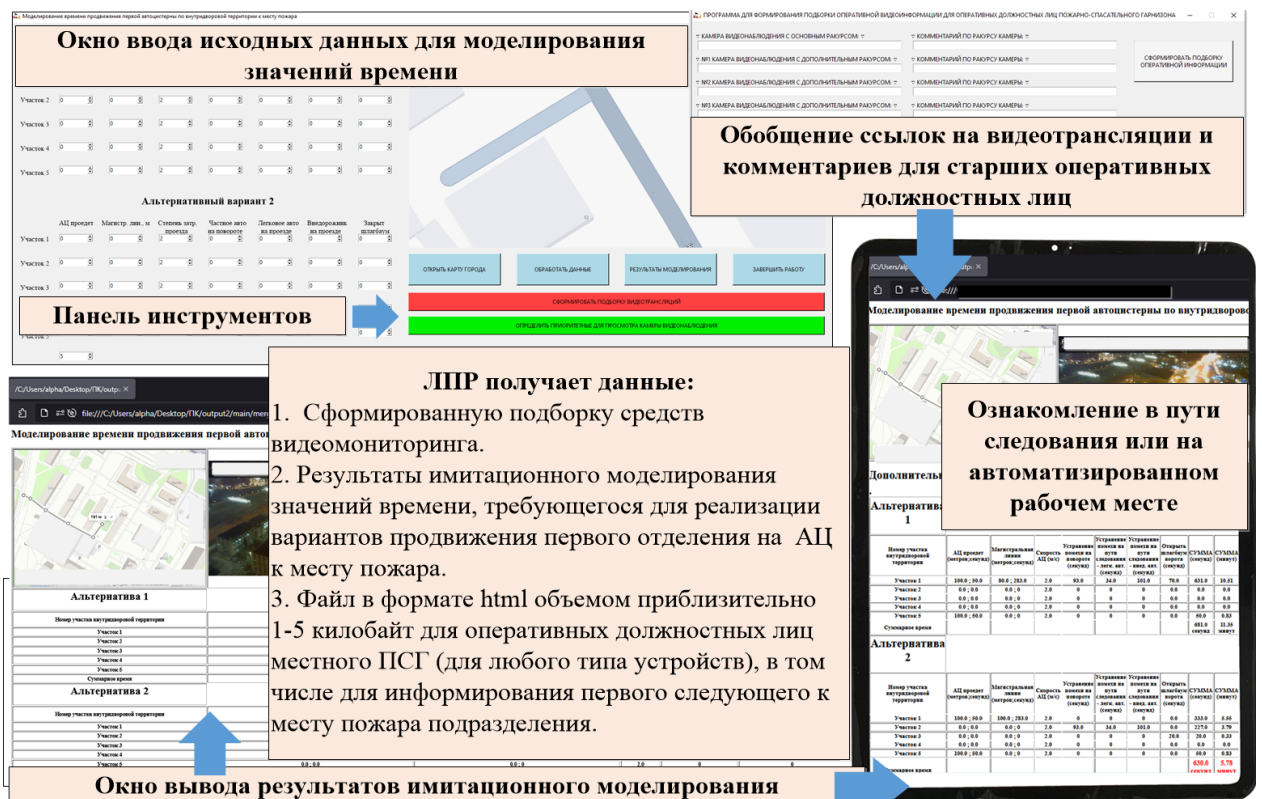


Рисунок 3.9 – Общая концепция программной реализации блока 2 СИОППР

Функции панели инструментов программной реализации СИОППР проиллюстрированы на рисунке 3.10.

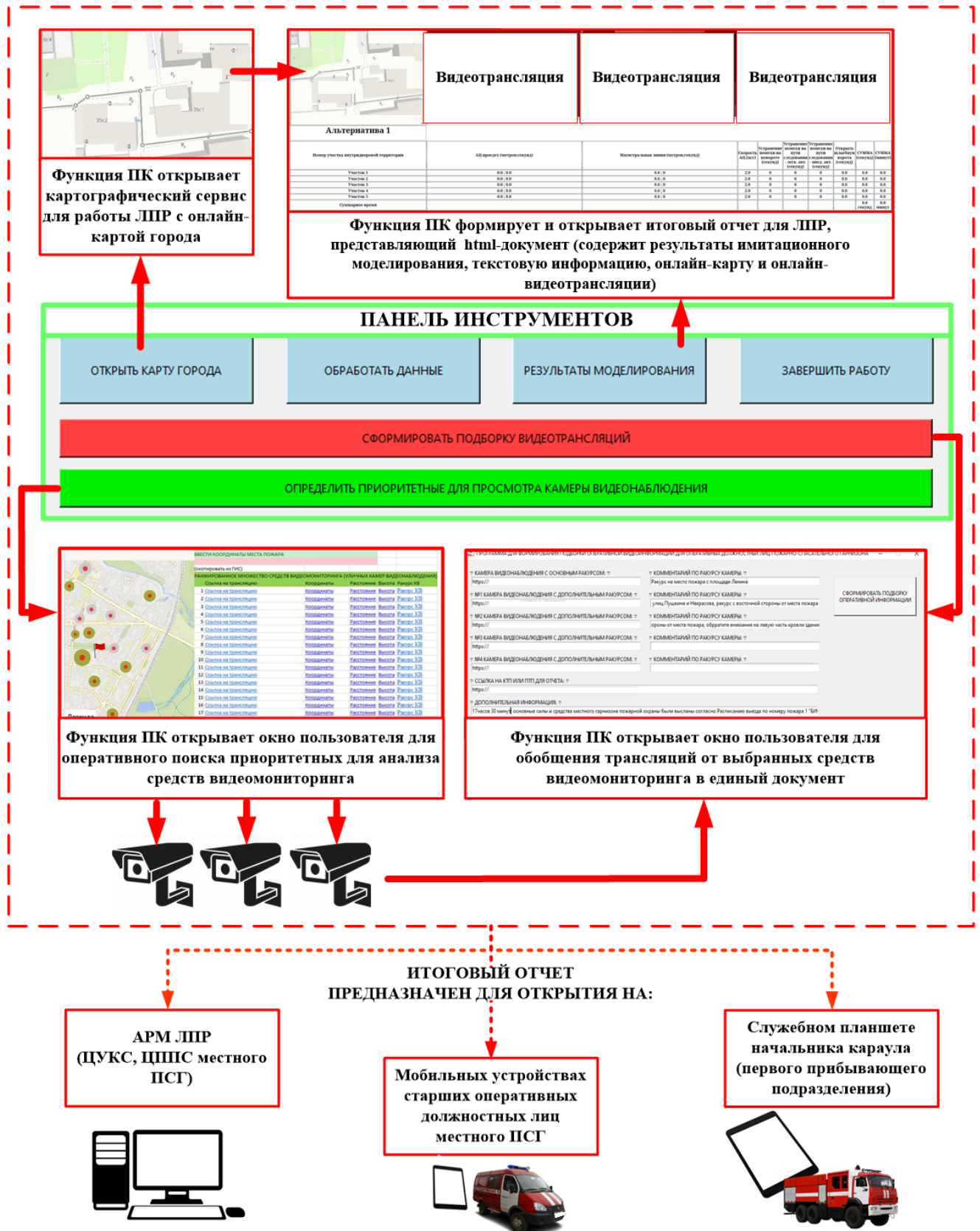


Рисунок 3.10 – Функции панели инструментов программной реализации СИОППР

Далее разрабатывается структура информационных ресурсов подсистемы обработки и систематизации ретроспективной управленческой информации (этап 1 и этап 2).

Этап 1. Описание информационной модели агентов СУОР с точки зрения важных для информационного обеспечения данных. Разработка и описание информационной модели некоторого объекта (в том числе и ОС) имеет положительную практику применения [32, 39–40] и позволяет логично описать важные характеристики агентов ОС. Помимо метода информационного моделирования в данном случае также применяется метод системного анализа, широко используемый для решения управленческих задач [14, 76].

Множества состояний всех агентов СУОР являются подмножествами множества (3.2):

$$S = \{S_{\Omega_{\text{ЦУ}}}, S_O, S_{\theta}\}. \quad (3.2)$$

Состояние агента $\Omega_{\text{ЦУ}}$ в момент времени t' задано кортежем (3.3):

$$s_{t'}^{\Omega_{\text{ЦУ}}} = (u_i, t'), s_{t'}^{\Omega_{\text{ЦУ}}} \in S_{\Omega_{\text{ЦУ}}}, \quad (3.3)$$

Состояние агента O в момент времени t' определено как (3.4):

$$s_{t'}^O = (i, t'), s_{t'}^O \in S_O, \quad (3.4)$$

Состояние агента θ в момент времени t' описано переменной $s_{t'}^{\theta}$, имеющей структуру кортежа (3.5):

$$s_{t'}^{\theta} = (K, t'), s_{t'}^{\theta} \in S_{\theta}, \quad (3.5)$$

где K – аддитивная функция (3.6), формирующая результат анализа поступающей видеоинформации при осуществлении видеомониторинга в условиях оперативного реагирования.

$$K = \begin{cases} f(ZP) = \{A_c \in A \mid \exists ZP_e \in ZP: f(ZP_e) = A_c\}, \\ f(F) = \{A_c \in A \mid \exists F_g \in F: f(F_g) = A_c\}. \end{cases} \quad (3.6)$$

Для накопления и анализа данных системной динамики описанной информационной модели, выражаемых через элементы множества S , разработана реляционная модель данных (RM). Атрибутами информационных ресурсов будут являться множества состояний агентов, взятые от фиксированных моментов времени. Конкретные значения элементов множества атрибутов $RM_{\text{атр.}}$ (3.7) формируют кортеж данных $RM_{\text{кортеж}}$ (3.11).

$$RM_{\text{атр.}} = \{S_{t'}^O, S_{t_l}^O, S_{t'}^{\theta}, S_{t_l}^{\theta}, O_{\text{инф.}'}, K', t'\}, \quad (3.7)$$

где $O_{\text{инф.}'}$ – ретроспективная оперативная управленческая информация;

K' – ретроспективные результаты видеомониторинга.

Текущая оперативная информация включает множество атрибутов (3.8):

$$O_{\text{инф.}} = \{NV^{(0)}, B_{id}, BD_{id}\}, \quad (3.8)$$

где $NV^{(0)}$ – номер вызова, в соответствии с которым осуществлялась первоначальная высылка сил и средств подразделений пожарной охраны;

B_{id} – характеристика объекта пожара (назначение, этажность и др.);

BD_{id} – характеристика плотности застройки жилого квартала.

Этап 2. Описание кумулятивной модели, предназначенной для накопления кортежей данных, содержащих ретроспективную управленческую информацию.

Основная функция модели (3.9): обеспечение ЛПР на раннем этапе сосредоточения подразделений пожарной охраны в городской среде ретроспективной управленческой информацией об уже ликвидированных пожарах, оперативная обстановка на которых складывалась похожим образом:

$$CM = (K_{id}, RM), \quad (3.9)$$

где K_{id} – код-идентификатор запроса ЛППР к кумулятивной модели;

RM – реляционная модель данных и тело реляционного отношения как элемент модели ($RM_{кортеж} \in RM, RM_{атр.} \in RM$).

ЛППР обращается к модели CM для поиска информации о наиболее схожих ситуациях в множестве данных о ликвидированных пожарах (ретроспективная управленческая информация). Для обращения к информационным ресурсам RM модели CM ЛППР использует код-идентификатор запроса K_{id} . Код-идентификатор K_{id} имеет следующую структуру, заданную кортежем (3.10):

$$K_{id} = (K, O_{инф.}). \quad (3.10)$$

Код-идентификатор K_{id}' (код-идентификатор ретроспективной управленческой информации, являющийся частью кортежа данных $RM_{кортеж} \in RM$) имеет структуру идентичную с K_{id} , однако элементы K и $O_{инф.}$ в структуре заменены на K' и $O_{инф.}'$ соответственно (содержат ретроспективную управленческую информацию) (3.11):

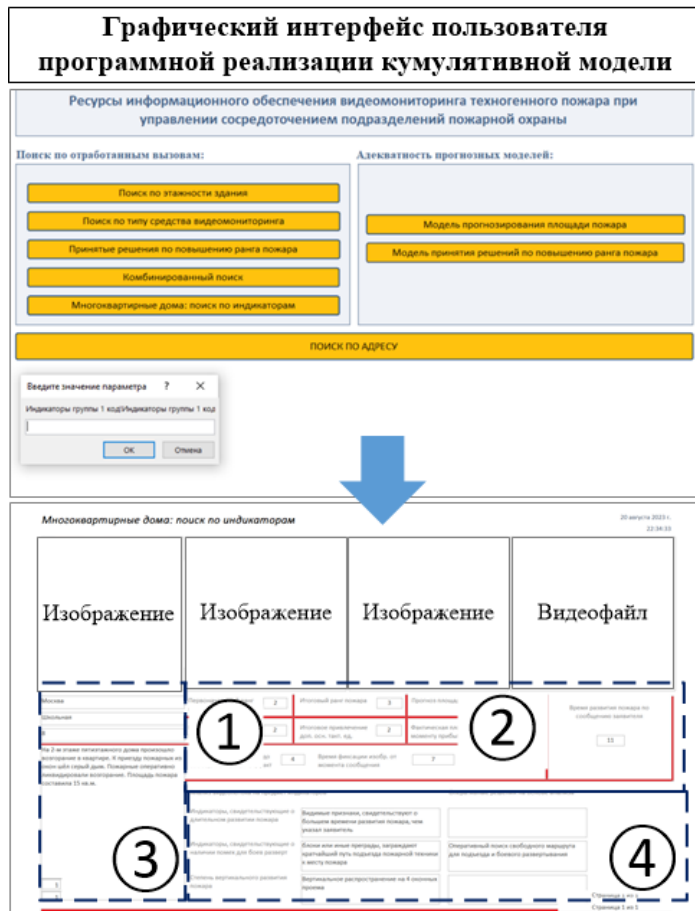
$$RM_{кортеж} = (O_{инф.}', N_{отд.}(t'), N_{л.с.}(t'), N_{отд.}(t_l), N_{л.с.}(t_l), ZP_e(t'), F_g(t'), \Delta t, Q), \quad (3.11)$$

где Δt – отклонение (разность) фактического времени (τ_{ij}^*) прибытия к месту пожара первого отделения на АЦ от ожидаемого времени (τ_{ij}), $\Delta t = \tau_{ij} - \tau_{ij}^*$;

Q – категорирующий критерий ($Q = 1: \Delta t \geq 0; Q = 0: \Delta t < 0$).

Далее разработана программная реализация для информационных ресурсов подсистемы обработки и систематизации ретроспективной управленческой информации. Формализация RM осуществлена при помощи системы управления базами данных (СУБД). Такой подход позволяет сформировать объемную аналитическую сводку, включающую в себя подробное текстовое описание, фотоматериалы, видеозаписи, ссылки. За счет использования функционала СУБД реализуется многокритериальная сортировка информации. Что помогает ЛППР в

режиме оперативной работы осуществлять быстрое формирование выборки интересующих кортежей данных (рисунок 3.11).



ЛПР запрашивает ретроспективную управленческую информацию и получает выборку данных:

1. Ретроспективные данные о временных показателях оперативного реагирования на пожар (время и количество прибывающих к месту пожара отделений на АЦ).

2. Итоговую характеристику задействованных сил и средств подразделений пожарной охраны.

3. Описание пожара и управленческих решений, краткие выводы.

4. Влияние факторов объективной действительности на продвижение первого отделения на АЦ к месту пожара.

Рисунок 3.11 – Графический интерфейс пользователя программной реализации блока ПК 3.1 [90]

ЛПР, используя код-идентификатор, сообщает модели выявленные в результате анализа ПВИ данные и получает выборку ретроспективной управленческой информации (если в БД содержатся данные о ликвидированных пожарах, при управлении сосредоточением подразделений пожарной охраны на которые, были выявлены идентичные факторы объективной действительности).

3.3. Алгоритм применения средств видеомониторинга в организационной системе с использованием системы информационного обеспечения поддержки принятия решений

После осуществления программной реализации моделей и алгоритмов информационного обеспечения поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде на раннем этапе реагирования необходимо описать те изменения, которые произойдут в существующем алгоритме применения средств видеомониторинга в СУОР. Алгоритм, представленный на рисунке 1.10, содержит этапы (этап 1* и этап 2*), реализуемые исключительно с применением субъективного (интуитивного) подхода к принятию решений.

Далее данные элементы алгоритма рассматриваются с точки зрения синтеза субъективного и рационального подхода к принятию решений. Разработка практико-ориентированных моделей и алгоритмов и внедрение их в виде ПК в деятельность СУОР позволяет:

- создать условия для уменьшения времени, затраченного ЛПР на реализацию процесса поиска и выбора средств видеомониторинга в СУОР. Таким образом ЛПР получает возможность проанализировать большее количество средств видеомониторинга без увеличения времени анализа;

- создать условия для оценки на раннем этапе реагирования сил и средств подразделений пожарной охраны влияния выявленных с помощью средств видеомониторинга факторов объективной действительности, затрудняющих продвижение первого прибывающего отделения на АЦ к месту пожара;

- создать условия для выявления необходимости в срочном привлечении дополнительных подразделений пожарной охраны на раннем этапе сосредоточения подразделений пожарной охраны в городской среде.

На рисунке 3.12 представлена измененная структура алгоритма применения средств видеомониторинга в ОС. Структура отображает изменения, которые обусловлены внедрением разработанных во 2 главе настоящего диссертационного

исследования моделей и алгоритмов информационного обеспечения поддержки принятия решений.

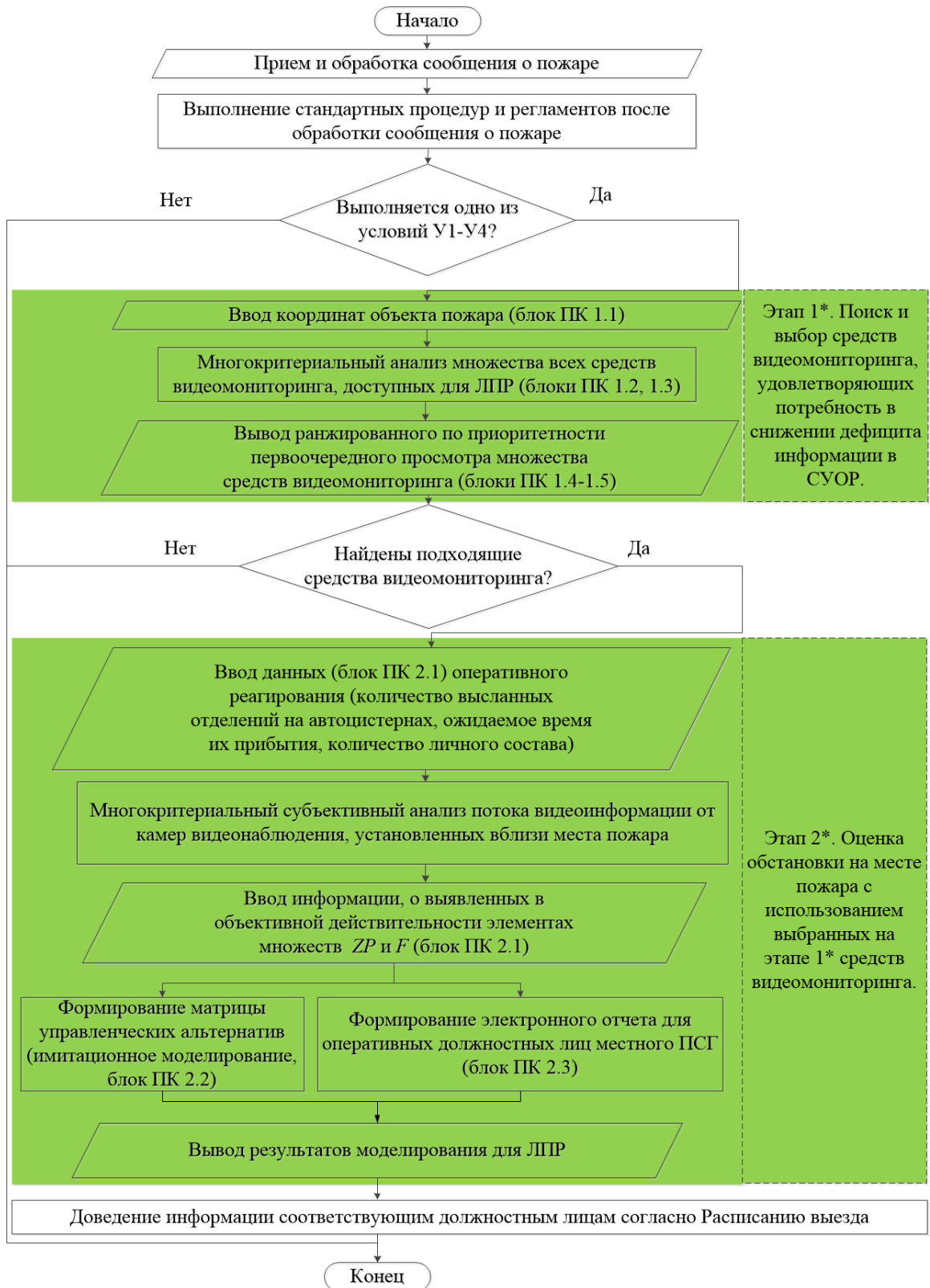


Рисунок 3.12 – Измененная структура алгоритма применения средств видеомониторинга в ОС

Данные обстоятельства снижают выраженность дефицита времени, имеющегося у ЛПР на принятие решения, и снижают изначально высокий уровень внешней неопределенности (в случае, если в СУОР поступает ПВИ).

3.4. Внедрение программного комплекса в структуру организационной системы

Основываясь на результатах анализа ряда работ в области управления ОС, предлагается вариант внедрения разработанного ПК в структуру СУОР с позиции реализации основных функций управления. Характеристика основных функций управления, раскрывающих функциональную роль ПК в СУОР представлена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Основные функции управления и их характеристика для программной реализации СИОППР

Функция управления	Мероприятия, отражающие реализацию функции управления при внедрении	Примечание
Планирование	Дополняются базы данных (блок ПК 1.3), содержащие информационные ресурсы о средствах видеомониторинга, расположенных на территории местного ПСГ. Осуществляется внедрение в используемые кортежи данных дополнительных элементов для снижения уровня неопределенности при формировании выборки средств видеомониторинга, удовлетворяющих потребность в снижении дефицита информации в оперативном режиме (при реализации функции организации)	Разработан усовершенствованный вариант кортежа данных, составляющего информационные ресурсы (таблица 3.1)

Продолжение таблицы 3.2

Функция управления	Мероприятия, отражающие реализацию функцию управления при внедрении	Примечание
	<p>При анализе оперативной деятельности местного ПСГ, проведении пожарно-тактических учений, решении конкретных пожарно-тактических задач на территории местного ПСГ, а в результате также плановых «рейдов» дворовых территорий многоквартирных домов на предмет возможности беспрепятственного проезда первого прибывающего к месту пожара отделения на АЦ накапливаются данные о факторах и событиях объективной действительности, увеличивающих время введения первых сил и средств на тушение пожара (спасение людей)</p>	<p>Программный код [92] является открытым для внесения корректировок в математические зависимости (блок ПК 2.2), отображающие время, затрачиваемое на преодоление элементов из множеств ZP и F</p>
	<p>Дополняются базы данных (блок ПК 3.1), содержащие ретроспективную управленческую информацию</p>	<p>Примечаний нет</p>
	<p>Проводится теоретическое решение пожарно-тактических задач с применением системы имитационного моделирования (блок ПК 2.2) для изучения динамики влияния различных факторов на процесс продвижения сил и средств подразделений пожарной охраны по дворовой территории многоквартирных домов к месту пожара</p>	<p>Разработаны предложения для центра управления СУОР (приложение А)</p>
<p>Организация</p>	<p>При использовании измененной структуры алгоритма (рисунок 3.11) в СУОР возникают более устойчивые информационные связи между агентами (центром управления и объектом управления). Устойчивость объясняется снижением уровня внешней неопределенности на раннем этапе сосредоточения подразделений пожарной охраны в городской среде. Блоки ПК 1.1–1.5 инициируют уменьшение времени поиска и выбора средств видеомониторинга для оценки сложности обстановки, складывающейся на месте пожара. Блоки ПК 2.1–2.3 и 3.1 инициируют улучшение качественных свойств информации, таких как полнота и избирательность информации. Информационное обеспечение поддержки принятия решений создает условия для формирования в СУОР тактического резерва времени. Таким образом повышается эффективность реализации рассматриваемой функции управления, а также появляется больше времени для реализации другой функции управления – функции стимулирование</p>	<p>Разработаны предложения для центра управления СУОР (приложение А)</p>

Окончание таблицы 3.2

Функция управления	Мероприятия, отражающие реализацию функцию управления при внедрении	Примечание
Стимулирование	Функция стимулирования выражена следующим образом $St(t_{\text{акт.}}): \tau_{ij}(N_{\text{л.с.}}, ZP, F) \rightarrow \min\{T_{\text{д.дв.т.}}\}$. Таким образом центр управления $\Omega_{\text{СУ}}$ имеет целевой функционал St , стремящийся в данных условиях, выраженных как $(N_{\text{л.с.}}, ZP, F)$, реализовать на практике теоретически определенное значение оптимальной управленческой альтернативы. Данный вид стимулирования имеет безусловный характер, исходящий из цели номер 3 выезда подразделений пожарной охраны на пожар [88]. Имитационная модель (блок ПК 2.2) позволяет на раннем этапе сосредоточения подразделений пожарной охраны снизить значение времени активации функции управления стимулирование $t_{\text{акт.}}$.	Примечаний нет
Контроль	После ликвидации пожара производится анализ и накопление ретроспективной управленческой информации. Осуществляется рефлексия ЛПР: сбор, обобщение и анализ проблем, возникших при использовании ПК. Выявление путей устранения проблемных вопросов	Примечаний нет

В приложении А представлены разработанные на основе результатов данного исследования предложения по организации видеомониторинга пожаров в сельтебных районах городов (далее – «в городской среде»).

3.5. Решение задачи управления с применением системы информационного обеспечения поддержки принятия решений

Применение разработанной СИОППР позволяет ЛПР решить задачу управления, состоящую в принятии решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны к месту пожара на раннем этапе сосредоточения подразделений пожарной охраны на пожар (до фактического прибытия на место пожара первого отделения на АЦ). Смысл, закладываемый в термин «задача управления» (рисунок 3.13), определяется известными в теории управления ОС источниками [21, 58].

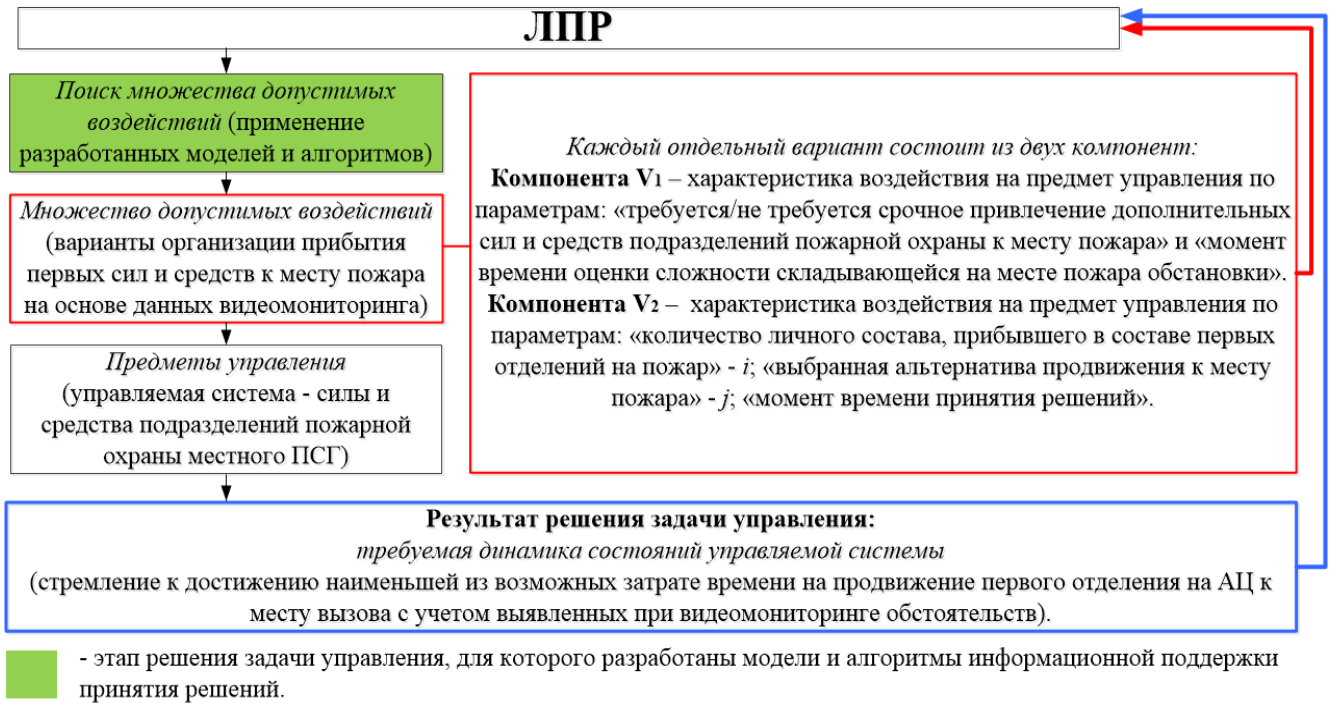


Рисунок 3.13 – Последовательность решения задачи управления

Решение управленческой задачи в рамках данного исследования осуществляется с целью формирования множества допустимых альтернатив с теоретическим выделением оптимального варианта, применимого при управлении сосредоточением подразделений пожарной охраны на пожаре в городской среде. Особенностью данной задачи является возможность (и необходимость) ее решения на раннем этапе организации реагирования на пожар – до прибытия первых должностных лиц местного ПСГ на место пожара, с учетом оперативной обстановки, выявленной при помощи средств видеомониторинга, установленных в городской среде.

Управленческая альтернатива, реализуемая в рамках данной задачи ($u_i \in U_{\text{доп.}}$), это информационно обеспеченное суждение ЛПР о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны для достижения $\tau_{ij}(N_{\text{л.с.}}, ZP, F) \rightarrow \min\{T_{\text{д.дв.т}}\}$, при этом имеющее структуру, заданную формулой (3.12), и осуществленное в момент времени, соответствующий условию: $t_2 + t_{\text{оц.}} \ll t_3$.

Каждый из элементов множества альтернативных вариантов управления (множество допустимых управлений) имеет структуру, заданную (3.12):

$$u_i = (V_1; V_2), u_i \in U_{\text{доп.}}, \quad (3.12)$$

где V_1 и V_2 – компоненты управленческой альтернативы, характеризующие воздействие на предметы управления.

Компонента V_1 характеризует непосредственно факт формирования суждения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств к месту пожара (3.13):

$$V_1 = (\Delta O; t_{\text{оц.}}). \quad (3.13)$$

Компонента V_2 характеризует управленческую альтернативу и конкретизирует способ воздействия управляющей системы на управляемую систему (3.14)–(3.15):

$$V_2 = (i; j; t_{\text{пр.упр.реш.}}); \quad (3.14)$$

$$t_{\text{пр.упр.реш.}} = (t_{\text{оц.}}; t_{\text{перед.инф.}}; t_{\text{согл.}}; t_{\text{довед.}}), t_{\text{пр.упр.реш.}} < t_3, \quad (3.15)$$

где $t_{\text{перед.инф.}}$ – время, затраченное на передачу информации внутри СУОР;

$t_{\text{согл.}}$ – время, затраченное на согласование управленческого решения внутри СУОР;

$t_{\text{довед.}}$ – время, затраченное на доведение управленческого решения от управляющей системы до управляемой системы.

Управленческая альтернатива u_i формализует оперативную потребность системы управления в поддержании первоначального значения Int (интенсивности сосредоточения подразделений пожарной охраны к месту пожара) с целью

уменьшения времени непосредственного прибытия первого отделения на АЦ к месту пожара, которое может быть увеличено за счет влияния факторов объективной действительности, выявленных при помощи средств видеомониторинга, установленных в городской среде (элементы множеств ZP, F).

Каждой допустимой управленческой альтернативе $u_i \in U_{\text{доп.}}$, потенциально реализуемой в условиях складывающейся обстановки на месте пожара $\theta(t)$, соответствует определенный результат $x_i \in X_{\text{упр.}}^{\text{результ.}}$, при этом установлено соответствие (3.16):

$$f_{bi}: \{U_{\text{доп.}} \times \theta(t)\} \leftrightarrow X_{\text{упр.}}^{\text{результ.}}. \quad (3.16)$$

Результат управления выражается через условный показатель вероятности P_i (3.17) и функцию $f(x_i)$.

$$P_i = \exp\left(\frac{\tau_d^{\text{приб.1}} - t_{\text{пр.упр.реш.}} - \tau_d^{\text{приб.r}}}{\tau_d^{\text{приб.r}}}\right), \quad (3.17)$$

где P_i – условный показатель вероятности достижения условия $\tau_d^{\text{приб.1}} = \tau_d^{\text{приб.r}}$, где $r > 1$, $\tau_d^{\text{приб.r}}$ – время прибытия дополнительно вызванных подразделений пожарной охраны, вызванных ЛПР в период времени: $t_{\text{пр.упр.реш.}} < t_3$.

d – минимальное расчётное время прибытия подразделения пожарной охраны к наиболее удалённой точке района выезда.

График рисунка 3.14 иллюстрирует зависимость, заданную (3.17).

Анализируя график, необходимо отметить, что вероятность достижения условия $\tau_d^{\text{приб.1}} = \tau_d^{\text{приб.r}}$, где $r > 1$ уменьшается при увеличении времени (в абсолютном выражении по отношению к моменту высылки первых сил и средств подразделений пожарной охраны к месту пожара) принятия управленческих

решений. P_i , отмеченное знаком «*», получено с применением предложенных в работе моделей и алгоритмов.

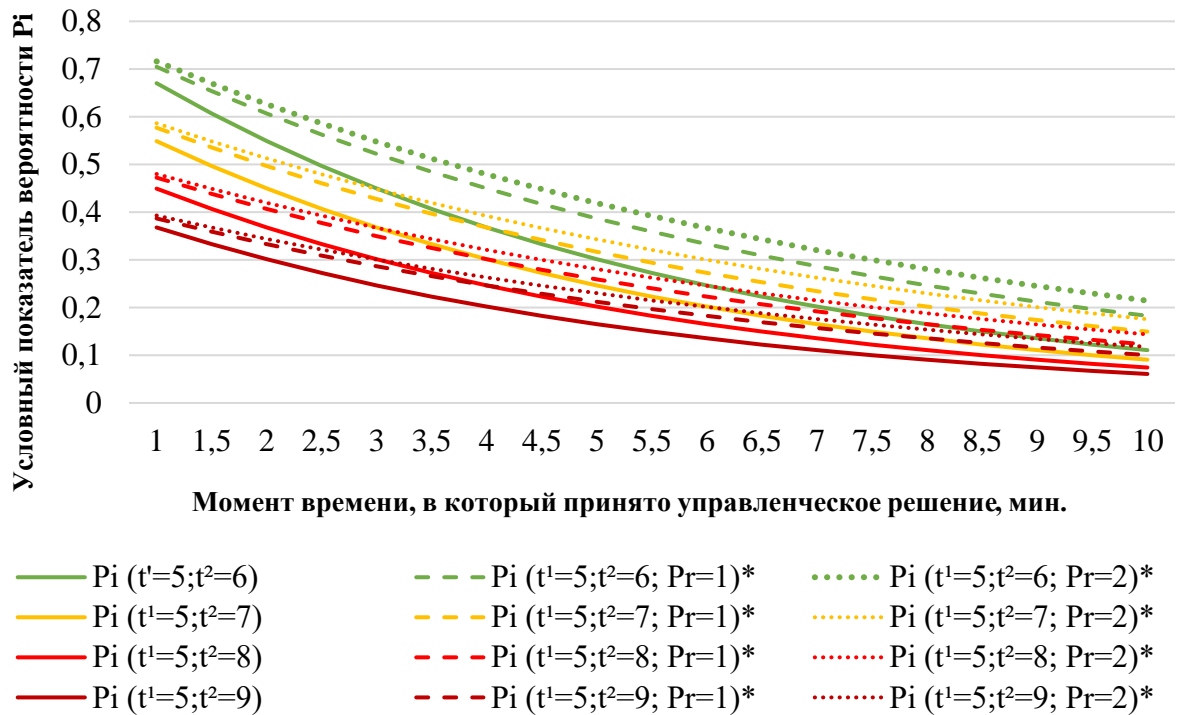


Рисунок 3.14 – Зависимость условного показателя вероятности P_i : от времени принятия управленческого решения; времени следования первого ($t^1 = const$) и последующих (t^2) подразделений пожарной охраны, а также параметра Pr

Значение условного показателя P_i возможно интерпретировать как вероятность одновременного прибытия сил и средств подразделений пожарной охраны: а) высланных в соответствии с Расписанием выезда; б) высланных после оценки сложности обстановки, складывающейся на месте пожара, в дополнение к подразделениям, предусмотренным Расписанием выезда (имеются в виду силы и средства подразделений, которые могут прибыть в данный момент на место пожара быстрее сил и средств тех подразделений, которые предусмотрены Расписанием выезда).

Увеличение значения условного показателя вероятности P_i обуславливается уменьшением времени принятия управленческих решений, достигаемого уменьшением времени, затраченного на оценку сложности обстановки,

складывающейся на месте пожара. То есть при фиксированном времени следования дополнительно вызванных сил и средств некоторого подразделения пожарной охраны к месту пожара и при сокращении времени на оценку сложности обстановки в СУОР уменьшается значение абсолютного показателя времени прибытия данных сил и средств относительно момента выезда первых сил и средств, запланированных к привлечению документацией предварительного планирования. Таким образом в условиях дефицита времени появляется резерв времени, который возможно использовать для стимулирования выполнения условий: $\tau_{ij}^* \geq \tau_{ij}$ и $\tau_{ij}^* \geq \tau_{ij}^*$.

Практические рекомендации по применению ПК при решении задачи управления.

Задача управления решается в три основных этапа. Результаты имитационного моделирования, представленные далее, являются иллюстративными, так как в математической модели M_1 используются тестовые зависимости, выявленные при исследовании только одного местного ПСГ. Однако представленные в работе модели являются адаптируемыми. Для адаптации под потребности конкретных территориальных (местных) ПСГ необходима организация исследования: процесса оперативного реагирования в данных ПСГ; особенностей городской среды; практики (возможности) осуществления видеомониторинга на территории ПСГ.

Этап 1. Оценка сложности обстановки, складывающейся на месте пожара, с применением средств видеомониторинга (подготовка к принятию управленческого решения).

На данном этапе управленческие воздействия на управляемую систему (подсистему в составе СУОР) не производятся. ЛПР в рамках осуществления стадии мониторинга в СУОР принимает решение о том, какие конкретно средства видеомониторинга будут использоваться с целью оценки сложности обстановки, складывающейся на месте пожара.

Результатом выполнения первого этапа в рамках решения задачи управления является сформированное суждение ЛПР о необходимости привлечения

дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны. Применение на первом этапе решения задачи управления программной реализации СИОППР стимулирует уменьшение времени, затраченного на принятие управленческого решения $t_{\text{пр.упр.реш.}}$ (за счет оптимизации процесса поиска и выбора средств видеомониторинга).

Этап 2. Теоретическое определение (на этапе до прибытия первых сил и средств подразделений пожарной охраны) оптимального по времени (в заданных условиях) варианта продвижения по дворовой территории многоквартирных домов первого прибывающего к месту пожара отделения на АЦ, в зависимости от обеспеченного ЛПР количества личного состава (i). После оценки сложности обстановки, складывающейся на месте пожара, – выявления факторов объективной действительности (элементов множеств ZP, F), ЛПР, используя программную реализацию СИОППР, оценивает затраты времени, характерные для реализации различных схем боевого развертывания на месте пожара – ознакамливается с результатами имитационного моделирования.

Программная реализация СИОППР позволяет произвести имитационное моделирование времени, требуемого от заезда первого прибывающего отделения на АЦ на дворовую территорию многоквартирных домов до момента окончания формирования магистральной рукавной линии или готовности подачи первого ствола на тушение (в зависимости от количества личного состава, прибывшего в качестве первых сил и средств).

Далее приведен пример, иллюстрирующий работу модели M_1 для двух пожаров, произошедших на территории Российской Федерации. Основные сведения о пожарах и данные для моделирования представлены в таблице 3.3.

На основе данных таблиц 2.2–2.3, 3.3 осуществлено имитационное моделирование времени реализации управленческих альтернатив τ_{ij} .

Таблица 3.3 – Исходные данные для имитационного моделирования

Данные	Пожар 1	Пожар 2
Объект пожара	Квартира в пятиэтажном жилом доме	Автомобиль на парковке во дворе жилых домов
$l_{\text{путь}}$, м	400	180
$l_{\text{б.р.}}$, м	200	100
$l_{\text{движ.}}$, м	200	80
ZP	ZP_2 (до участка с F_2)	ZP_2 (до участка с F_1)
F	F_2	F_1
$N_{\text{перв.отд.}}$	2 АЦ	2 АЦ
$i_{\text{факт}}$	5 человек (без учета водительского состава)	5 человек (без учета водительского состава)
Комментарий	<p>Первое прибывшее отделение на АЦ не смогло проехать к месту пожара из-за припаркованного в неположенном месте частного легкового автомобиля. Возможность буксировки данного автомобиля отсутствовала из-за высокой плотности «стихийной» автопарковки в данном дворе.</p> <p>От того места, где первое прибывшее отделение на АЦ не смогло проехать, осуществлено развертывание магистральной рукавной линии на 200 метров.</p> <p>Подъездной путь имеет положительный уклон</p>	<p>Первое прибывшее отделение на АЦ не смогло проехать к месту пожара из-за припаркованных в неположенном месте частных автомобилей, в том числе на поворотах.</p> <p>От того места, где первое прибывшее отделение на АЦ не смогло проехать, осуществлено развертывание магистральной рукавной линии на 100 метров</p>

Для случая, обозначенного в таблице 3.3 «пожар 1», результаты имитационного моделирования представлены на графике рисунка 3.15, для случая «пожар 2» – на графике рисунка 3.16; управленческие альтернативы охарактеризованы в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Описание управленческих альтернатив и результаты имитационного моделирования

Группа альтернатив Alt_j	Описание альтернативы	$l_{ij}^{б.р.}$ м	$l_{ij}^{д.}$ м	Количество одновременно прибывшего личного состава, человек, i		
				$i=5$	$i=10$	$i=15$
$Alt_1 \subset Alt_j$ («пожар 1»)	Моделируется вариант, который был реализован на практике (однако также рассматриваются варианты: $i \geq i_{факт}$)	200	200	$\tau_{51} = 433$ с	$\tau_{101} = 251$ с	$\tau_{151} = 193$ с
$Alt_2 \subset Alt_j$ («пожар 1»)	Моделируется вариант, при котором ЛПР СУОР еще до прибытия первых сил и средств к месту пожара смог выявить на подъездных путях фактор F_2 . При этом заранее мог быть проанализирован альтернативный путь для боевого развертывания. Однако осложняющим фактором будет являться наличие уклона местности + 10-15 градусов	80	20	$\tau_{52} = 582$ с	$\tau_{102} = 286$ с	$\tau_{152} = 194$ с
$Alt_3 \subset Alt_j$ («пожар 1»)	Моделируется вариант, который не мог быть достигнут в заданных условиях (беспрепятственное продвижение к месту пожара)	20	380	$\tau_{53} = 160$ с	$\tau_{103} = 160$ с	$\tau_{153} = 160$ с
$Alt_1 \subset Alt_j$ («пожар 2»)	Моделируется вариант, который был реализован на практике (однако также рассматриваются варианты: $i \geq i_{факт}$)	120	80	$\tau_{51} = 335$ с	$\tau_{101} = 177$ с	$\tau_{151} = 127$ с

Продолжение таблицы 3.4

Группа альтернатив Alt_j	Описание альтернативы	$l_{ij}^{б.р.}$ м	$l_{ij}^{д.}$ м	Количество одновременно прибывшего личного состава, человек, i		
				$i=5$	$i=10$	$i=15$
$Alt_2 \subset Alt_j$ («пожар 2»)	<p>Моделируется вариант, при котором отделение пожарной охраны на АЦ сделало попытку вхождения в поворот, который загроможден частными автомобилями. Если попытка оказалась удачной, то АЦ проедет ближе к месту пожара, однако будет затрачено время на вхождение в поворот (возможно и на ручную буксировку частных автомобилей). Если попытка оказалась неудачной, то затраченное время суммируется с одной из альтернатив: τ_1^1, τ_1^2 или τ_1^3</p>	60	140	$\tau_{52} = 381$ с	$\tau_{102} = 335$ с	$\tau_{152} = 187$ с
$Alt_3 \subset Alt_j$ («пожар 2»)	<p>Моделируется вариант, при котором отделение пожарной охраны на АЦ должно успешно пройти два поворота, которые загромождены частными автомобилями. Если попытки окажутся неудачными, то затраченное время суммируется с τ_j^i одной из альтернатив Alt_1 или Alt_2</p>	20	180	$\tau_{53} = 380$ с	$\tau_{103} = 268$ с	$\tau_{153} = 226$ с

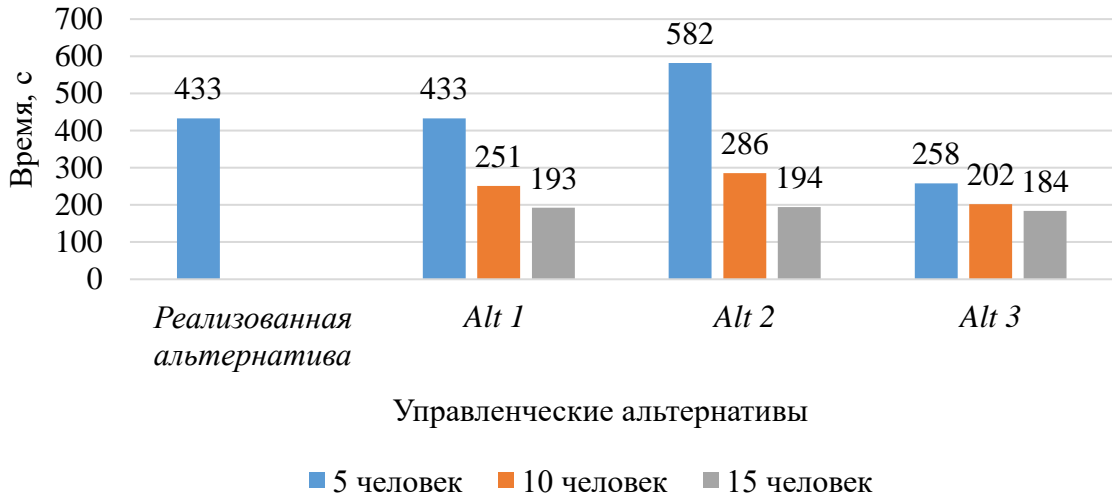


Рисунок 3.15 – Результаты имитационного моделирования для «пожара 1»

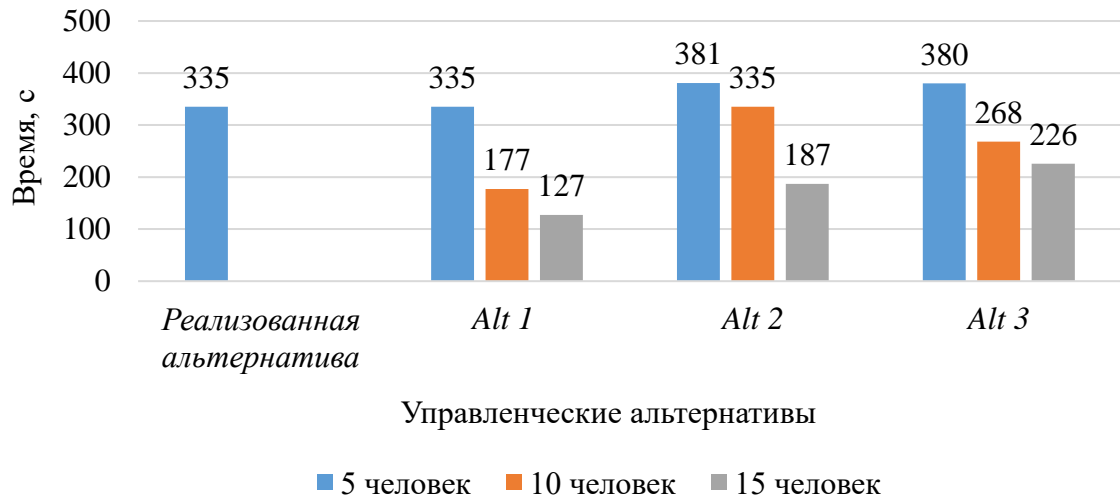


Рисунок 3.16 – Результаты имитационного моделирования для «пожара 2»

Результаты имитационного моделирования подчеркивают, что благодаря раннему выявлению (при помощи средств видеомониторинга) факторов объективной действительности, затрудняющих продвижение первого прибывающего отделения на АЦ к месту пожара, возможно проанализировать различные управленческие альтернативы на предмет достижения значения:

$$\tau_{ij}(N_{л.с.}, ZP, F) \rightarrow \min\{T_{д.дв.т.}\}.$$

Таким образом осуществляется оптимизация по времени процесса сосредоточения сил и средств подразделений пожарной охраны к месту пожара (работы «2–11» см. на рисунке 1.5, в таблице 1.2 первой главы настоящего диссертационного исследования).

Этап 3. Доведение результатов моделирования до оперативных должностных лиц местного ПСГ [64], находящихся в пути следования к месту пожара.

После осуществления имитационного моделирования ЛПР обобщает собранную информацию при помощи «программы для формирования подборки оперативной видеоинформации для оперативных должностных лиц пожарно-спасательного гарнизона» [94]. Информация передается в обобщенном виде.

Способы передачи полученной информации: при ведении радиообмена; на служебные мобильные устройства (планшеты), которыми оснащены отделения на пожарных автомобилях.

Целевая аудитория: ЛПР, оперативные должностные лица местного ПСГ, привлекаемые для тушения возникшего пожара.

Прежде всего, информация предоставляется должностному лицу, которое руководит первым прибывающим на место пожара караулом и будет являться первым РТП.

Получив в пути следования информацию о вариантах продвижения по дворовой территории многоквартирных домов первого отделения пожарной охраны на АЦ, начальник караула (начальник дежурной смены или лица, их замещающие) ознакамливаются с управленческими альтернативами и теоретически оцененными результатами их реализации.

Основываясь на положениях теории информации, информатики и исследовании, посвященном изучению вопросов восприимчивости человеком поступающей информации [140], смоделировано минимальное время, необходимое оперативному должностному лицу для ознакомления с данными о сформированных управленческих альтернативах (3.18), таблица 3.5.

$$t_{\text{ознакомл.}} = 2,85(N_{\text{Alt}} * N_{\text{кр.}} + N_{\text{Alt}} + N_{\text{кр.}}), \quad (3.18)$$

где N_{Alt} – количество предложенных к ознакомлению управленческих альтернатив;

$N_{\text{кр.}}$ – количество критериев для простейшего сравнения (выделить лучшую и худшую альтернативы).

Таблица 3.5 – Моделирование среднего времени, необходимого для ознакомления с управленческими альтернативами

Время ознакомления	Размерность матрицы альтернатив						
	$N_{\text{Alt}} = 2$ $N_{\text{кр.}} = 2$	$N_{\text{Alt}} = 3$ $N_{\text{кр.}} = 2$	$N_{\text{Alt}} = 4$ $N_{\text{кр.}} = 2$	$N_{\text{Alt}} = 5$ $N_{\text{кр.}} = 2$	$N_{\text{Alt}} = 6$ $N_{\text{кр.}} = 2$	$N_{\text{Alt}} = 2$ $N_{\text{кр.}} = 3$	$N_{\text{Alt}} = 3$ $N_{\text{кр.}} = 3$
$t_{\text{ознакомл.}}$, мин.	0,37	0,50	0,64	0,77	0,92	0,50	0,69

Результаты моделирования показывают, что среднее время, необходимое для ознакомления и простейшего анализа управленческих альтернатив оперативным должностным лицом, находящимся в пути следования на пожар, не превышает значение 1,00 минуты. Остальная информация, поступившая оперативному должностному лицу, находящемуся в пути следования на пожар, имеет вспомогательный характер. На рисунке 3.17 продемонстрирован запуск программной реализации СИОППР на автоматизированном рабочем месте ЛПР – представлено отображение на мониторах автоматизированного рабочего места ЛПР графического интерфейса пользователя на трех различных этапах работы ЛПР с информацией (а, б, в).

Нумерация объектов на рисунке 3.16 поясняется следующим образом: 1 – поле ввода координат объекта пожара; 2 – ранжированный список средств видеомониторинга для ознакомления ЛПР; 3 – окно вывода трансляции с выбранного ЛПР средства видеомониторинга; 4 – окно ввода информации для имитационного моделирования; 5 – окно вывода результатов имитационного моделирования для ЛПР; 6 – графический интерфейс пользователя

картографического сервиса; 7 – окно ввода информации для формирования электронного отчета для оперативных должностных лиц местного ПСГ; 8 – окно вывода отчета для оперативных должностных лиц местного ПСГ (на автоматизированном рабочем месте ЛПР); 9 – окно вывода отчета для оперативных должностных лиц местного ПСГ (на планшете или мобильном устройстве – возможность просмотра в пути следования).

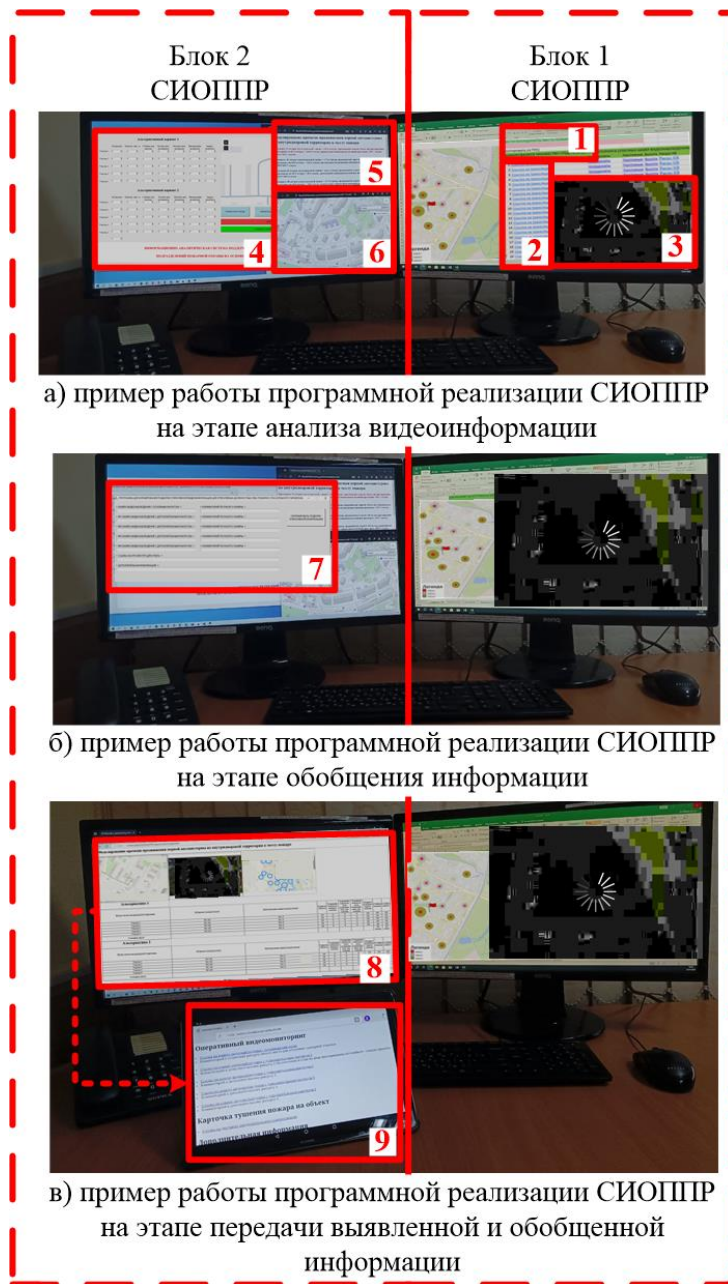


Рисунок 3.17 – Пример функционирования СИОППР на автоматизированном рабочем месте ЛПР

Выводы по главе 3

Третья глава диссертационного исследования посвящена разработке программной реализации моделей и алгоритмов информационного обеспечения поддержки принятия решений при сосредоточении подразделений пожарной охраны в городской среде. В данной главе были получены следующие результаты:

1. Разработана концепция ПК в виде уровневой структуры СИОППР. Структура включает: два сегмента (информационный и аналитический), два блока (блок 1 «Информационное обеспечение поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования» и блок 2 «Информационное обеспечение поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования»).

2. Произведена программная реализация СИОППР. Уникальность программных компонентов, составляющих ПК, подтверждена свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ и БД.

3. Предложен вариант внедрения ПК в структуру СУОР с позиции реализации основных функций управления.

4. Рассмотрен пример задачи управления с применением СИОППР.

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 ЛПР 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) ЛПР 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 ЛПР (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 ЛПР на осуществление подготовки детально проанализированного управленческого решения за минимально возможный интервал времени, прошедший с момента принятия сообщения о пожаре.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БД	–	база данных
КВ	–	камера видеонаблюдения
ЛПР	–	лицо, принимающее решения (также группа лиц, принимающих решения)
МЧС России	–	Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
ОС	–	организационная система
СУОР	–	система управления оперативным реагированием на пожар
ПВИ	–	поток видеоинформации
ПК	–	программный комплекс
ПСГ	–	пожарно-спасательный гарнизон
РТП	–	руководитель тушения пожара
СИОППР	–	система информационного обеспечения поддержки принятия решений
СПТ	–	служба пожаротушения
СППР	–	система поддержки принятия решений
ЦУКС	–	Центр управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации
ЭВМ	–	электронно-вычислительная машина

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулов, О. А. Информатика: базовый курс: учебник / О. А. Акулов, Н. В. Медведев. – Москва : Омега-Л, 2008. – 574 с. – Текст : непосредственный.
2. Алгоритм прогнозирования температуры газовой среды в здании при пожаре по данным мониторинга / Н. Г. Топольский, Д. В. Тараканов, Е. С. Варламов, М. В. Илеменов. – Текст : непосредственный. // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 4(56). – С. 6.
3. Апарин, А. А. Базовые положения поддержки принятия решений при управлении подразделениями пожарной охраны / А. А. Апарин. – Текст : непосредственный // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – Вып. 3 (93). – С. 88–102.
4. Апарин, А. А. Видеомониторинг: мировая практика использования и перспективы применения в обеспечении пожарной безопасности / А. А. Апарин. – Текст : непосредственный // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – Вып. 1 (91). – С. 67–84.
5. 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.
6. Апарин, А. А. Информационные ресурсы для планирования видеомониторинга действий по тушению техногенного пожара / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов. – Текст : непосредственный // Технологии техносферной безопасности. – 2022. – № 1(95). – С. 121–130.
7. Апарин, А. А. Исследование потенциала применения информации с систем видеомониторинга для поддержки принятия решений при реагировании на техногенные пожары / А. А. Апарин. – Текст : непосредственный // Безопасность и охрана труда: материалы Молодежной программы 25-ой Международной специализированной выставки и Форума БИОТ-2021. – Москва : Ассоциация

разработчиков, изготовителей и поставщиков средств индивидуальной защиты, 2021. – С. 64–67.

8. 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.

9. 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 : Тезисы докладов, Новосибирск, 24–28 октября 2022 года. – Новосибирск : ФГБНУ «ФИЦ ИВТ», 2022. – С. 47.

10. 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.

11. Апарин, А. А. Программный комплекс для поддержки принятия решений при видеомониторинге пожаров в городской среде / А. А. Апарин. – Текст : непосредственный // Пожарная и аварийная безопасность: материалы XVIII Международной научно-практической конференции. – Иваново : ИПСА ГПС МЧС России, 2023. – С. 973–976.

12. 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. – Химки : АГЗ МЧС России, 2022. – С. 11–16.

13. Апарин, А. А. Анализ процесса сосредоточения подразделений пожарной охраны для тушения пожаров / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы пожаротушения : сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции. – Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. – С. 105-110.

14. Артемов, А. С. Анализ системы управления гарнизоном пожарной охраны города / А. С. Артемов, Р. С. Семикин, Р. А. Мирзаянов. – Текст : непосредственный // Технологии техносферной безопасности. – 2013. – № 2(48). – 5 с.

15. Бабенышев, С. В. Информационные технологии поддержки принятия решений в чрезвычайных ситуациях : учебное пособие / С. В. Бабенышев, Е. Н. Матеров. – Железногорск : ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. – 145 с. – Текст : непосредственный.

16. «Безопасный город» в регионах мира: сравнительный анализ с российской концепцией / С. В. Колеганов, Д. Л. Кувшинов, С. В. Пигина [и др.]. – Текст : непосредственный // Технологии гражданской безопасности. – 2021. – Т. 18. – № 3(69). – С. 56–60. – DOI 10.54234/CST.19968493.2021.18.3.69.11.55.

17. Богуш, Р. П. Алгоритм комплексного обнаружения дыма и пламени на основе анализа данных систем видеонаблюдения / Р. П. Богуш, Д. А. Тычко. – Текст : непосредственный // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2015. – № 6(92). – С. 65–71.

18. Бонгард, М. М. Проблемы узнавания / М. М. Бонгард. – Москва : Наука, 1967. – 320 с. – Текст : непосредственный.

19. Бочков, В. С. Алгоритм поиска зон очагов пожара на видео / В. С. Бочков, Л. Ю. Катаева, Д. А. Масленников. – Текст : непосредственный // Будущее технической науки: сборник материалов XVI Международной молодежной научно-технической конференции, Нижний Новгород, 26 мая 2017 года. – Нижний Новгород : Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2017. – С. 678–679.

20. Брушлинский, Н. Н. Опыт применения компьютерных имитационных систем моделирования деятельности экстренных служб / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, Е.М. Алехин, Ю.И. Коломиец, П. Вагнер. – Текст : непосредственный // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25, № 8. – С. 6-16.

21. Бурков, В. Н. Введение в теорию управления организационными системами / В. Н. Бурков, Н. А. Коргин, Д. А. Новиков ; под ред. чл.-корр. РАН Д. А. Новикова. – Москва : Либроком, 2009. – 264 с. – Текст : непосредственный.

22. Бурков, В. Н. Механизмы управления в активных системах / В. Н. Бурков. – Текст : непосредственный // Тренды и управление. – 2014. – № 4. – С. 428–440.

23. Бурков, В. Н. Механизмы функционирования организационных систем / В. Н. Бурков, В. В. Кондратьев. – Москва : Наука, 1981. – 383 с. – Текст : непосредственный.

24. Бурков, В. Н. Прикладные задачи теории графов / В. Н. Бурков, И. А. Горгидзе, С. Е. Ловецкий. – Тбилиси : Мецниереба, 1974. – 237 с. – Текст : непосредственный.

25. Бурков, В. Н. Сетевые модели и задачи управления / В. Н. Бурков, Б. Д. Ланда, С. Е. Ловецкий [и др.]. – Москва : Советское радио, 1967. – 144 с. – Текст : непосредственный.

26. Бурыкин, Е. С. Подходы к принятию оптимального управленческого решения: рациональный и интуитивный / Е. С. Бурыкин. – Текст : непосредственный // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. – 2022. – № 2(41). – С. 74-80. – DOI 10.21777/2587-554X-2022-2-74-80.

27. Вилисов, В. Я. Модели, методы и алгоритмы информационно-аналитической поддержки принятия решений по распределению сил и средств при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций : специальность 2.3.4. «Управление в организационных системах» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Вилисов Валерий Яковлевич. – Москва, 2021. – 433 с. – Текст : непосредственный.

28. ГОСТ Р 22.1.15-2014. Технические средства мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера классификация. Общие технические требования : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 апреля 2014 г. № 360-ст :

введен впервые : дата введения 2014-09-01 / разработан Федеральным государственным бюджетным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (Федеральный центр науки и высоких технологий) (ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)). – Москва : Стандартинформ, 2014. – 6 с. – Текст : непосредственный.

29. ГОСТ Р 70387-2022. Комплексное благоустройство и эксплуатация городских территорий. Правила благоустройства муниципальных образований. Основные требования, процессы разработки и актуализации : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 октября 2022 г. № 1094-ст : введен впервые : дата введения 2023-05-01. – Москва : Российский институт стандартизации, 2022. – 12 с. – Текст : непосредственный.

30. Глуховенко, Ю. М. Разработка методов совершенствования организационной структуры противопожарной и аварийно-спасательной службы: специальность 05.26.01 «Охрана труда (по отраслям)», специальность 05.13.10 «Управление в социальных и экономических системах» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Глуховенко Юрий Михайлович. – Москва, 1992 – 20 с. – Текст : непосредственный.

31. Городская система видеонаблюдения. – URL: <https://video.dit.mos.ru/faq/> (Дата обращения: 11.10.2021). – Текст : электронный.

32. Грибков, А. Н. Информационная модель процесса транспортировки биотоплива от производителей к потребителям на множестве состояний функционирования / А. Н. Грибков, Н. Ю. Залукаева. – Текст : непосредственный // Южно-Сибирский научный вестник. – 2021. – № 3(37). – С. 19–25.

33. Демехин, Ф. В. Методологические основы совершенствования автоматизированных систем противопожарной защиты предприятий нефтеперерабатывающего комплекса с применением видеотехнологий : специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)»

: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Демехин Феликс Владимирович. – Санкт-Петербург, 2009. – 399 с. – Текст : непосредственный.

34. Демехин, Ф. В. Методы обнаружения пожара на основе видеотехнологий / Ф. В. Демехин. – Текст : непосредственный // Пожаровзрывобезопасность. – 2006. – Т. 15. – № 2. – С. 33–39.

35. Еникеева, К. Р. Концепция поддержки принятия решений при разработке сценариев реагирования на чрезвычайные ситуации с использованием агентного моделирования и геоинформационных технологий / К. Р. Еникеева, С. А. Митакович, Х. А. Абдуллин. – Текст : непосредственный // Информационные технологии и системы / ФГБОУ ВПО ЧелГУ; ФИЦ «Информатика и управление»; ИСА РАН ФГБОУ ВПО УГАТУ; ФГБОУ ВПО УФУ. – Банное: Челябинский государственный университет, 2016. – С. 92–94.

36. Журавлев, Н. М. Анализ причин для разработки системы поддержки принятия управленческих решений руководителя тушения пожаров / Н. М. Журавлев, А. Н. Денисов. – Текст : непосредственный // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России : научно-аналитический журнал. – 2020. – № 2. – С. 78–85.

37. Журавлев, Н. М. Глубина тушения как критерий эффективности управления боевыми действиями по тушению пожара в жилых зданиях / Н. М. Журавлев. – Текст : непосредственный // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – № 4(94). – С. 201–209. – DOI 10.25257/TTS.2021.4.94.201-209.

38. Журавлев, Н. М. Модель и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений для планирования тушения пожаров в жилых зданиях : специальность 2.3.4 «Управление в организационных системах» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Журавлев Николай Михайлович. – Москва, 2022. – 197 с. – Текст : непосредственный.

39. Залукаева, Н. Ю. Алгоритм оптимального управления процессом распределения топливных пеллет / Н. Ю. Залукаева, А. Н. Грибков. – Текст :

непосредственный // Энергетика будущего – цифровая трансформация : Сборник трудов II всероссийской научно-практической конференции, Липецк, 15–16 декабря 2021 года. – Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2021. – С. 69–73.

40. Залукаева, Н. Ю. Информационно-управляющая система процессом распределения топливных пеллет : специальность 05.11.16 «Информационно-измерительные и управляющие системы (по отраслям)» диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Залукаева Наталия Юрьевна. – Тамбов, 2022. – 149 с. – Текст : непосредственный.

41. Изингер, А. В. Использование аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» в деятельности органов внутренних дел / А. В. Изингер. – Текст : непосредственный // Вестник Тюменского института повышения квалификации сотрудников МВД России. – 2018. – № 2(11). – С. 29–37.

42. Катковский, Л. В. Разработка аппаратно-программного видеотеплового комплекса дистанционного обнаружения пожаров / Л. В. Катковский, С. Ю. Воробьев, Р. П. Богуш. – Текст : непосредственный // Технологии безопасности. – 2012. – №1. – С. 43–45.

43. Кинжалиева, А. Р. Имитационная модель управления оперативно-выездными бригадами электросетевой компании / А. Р. Кинжалиева, А. А. Ханова. – Текст : непосредственный // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2020. – № 2-3(79). – С. 77–94.

44. Коробко, В. Б. О парадигмах управления техносферной и пожарной безопасностью в современных условиях / В. Б. Коробко, Е. Н. Кияткина // Современные проблемы гражданской защиты. – 2023. – № 4(49). – С. 50-58.

45. Корогодина, В. И. Информация как основа жизни / В. И. Корогодина, В. Л. Корогодина. – Дубна : ИЦ «Феникс», 2000. – 60 с. – Текст : непосредственный.

46. Кузнецов, А. В. Модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при мониторинге крупных пожаров : специальность 2.3.4 «Управление в организационных системах» : автореферат диссертации на

соискание ученой степени кандидата технических наук / Кузнецов Александр Валерьевич. – Москва, 2023. – 24 с. – Текст : непосредственный.

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

48. Кузнецов, А. В. Технологии обработки и получения фотоматериалов с использованием беспилотных летательных аппаратов / А. В. Кузнецов, М. О. Баканов, Д. В. Тараканов. – Текст : непосредственный // 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.

49. Линн, Ч. Н. З. Анализ эффективности расположения пожарных станций с использованием ГИС-модели / Ч. Н. З. Линн, С. А. Lupin, X. X. Линн. – Текст : непосредственный // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8, № 3. – С. 12–19.

50. Маленичев, А. А. Разработка системы быстрого распознавания дыма в видеопотоке / А. А. Маленичев, О. В. Красоткина. – Текст : непосредственный // Механика, управление и информатика. – 2012. – № 3(9). – С. 158–164.

51. Матюшин, Ю. А. Методические основы проектирования гарнизонов пожарной охраны городских и сельских поселений : специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Матюшин Юрий Александрович. – Москва, 2009. – 24 с. – Текст : непосредственный.

52. Методические рекомендации по разработке и согласованию схемы мест установки и сцен обзора. – URL: [https:// gurb.mosreg.ru/deyatelnost/sistema-](https://gurb.mosreg.ru/deyatelnost/sistema-)

videonablyudeniya-bezopasnyy-region/metodicheskie-rekomendacii8/30-05-2022-14-06-46-metodicheskie-rekomendatsii-po-razrabotke-i-soglas?ysclid=18spzp7kic23997423 (Дата обращения: 20.09.2022). – Текст : электронный.

53. Нейро-нечеткая модель поддержки управления тушением пожаров в морских портах / С. Ю. Бутузов, В. Б. Коробко, Б. М. Пранов [и др.]. – Текст : непосредственный // Системы управления и информационные технологии. – 2016. – № 4(66). – С. 91–96.

54. Новиков, Д. А. / Методология управления / Д. А. Новиков. – Москва : Либроком, 2011. – 128 с. – Текст : непосредственный.

55. Новиков, Д. А. Активный прогноз / Д. А. Новиков, А. Г. Чхартишвили. – Москва : ИПУ РАН, 2002. – 101 с. – Текст : непосредственный.

56. Новиков, Д. А. Прикладные модели информационного управления / Д. А. Новиков, А. Г. Чхартишвили. – Москва : ИПУ РАН, 2004. – 129 с. – Текст : непосредственный.

57. Новиков, Д. А. Теория управления организационными системами. 4-е изд., испр. и дополн. / Д. А. Новиков. – Москва : ЛЕНАНД, 2022. – 500 с. – Текст : непосредственный.

58. Новиков, Д. А. Управление, деятельность, личность / Д. А. Новиков. – Москва : ИПУ РАН, 2020. – 80 с. – Текст : непосредственный.

59. Ногин, В. Д. Новый способ сужения области компромиссов / В. Д. Ногин. – Текст : непосредственный // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1976. – № 5. – С. 10–14.

60. Ногин, В. Д. Относительная важность критериев и ее применение в многокритериальной оптимизации : специальность 01.01.11 «Системный анализ и автоматическое управление» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук / Ногин Владимир Дмитриевич. – Санкт-Петербург, 1995. – С. 24. – Текст : непосредственный.

61. Ногин, В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В.Д. Ногин. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 144 с. – Текст : непосредственный.

62. Ногин, В. Д. Принятие решений при многих критериях : учебно-метод. пособие / В. Д. Ногин. – Санкт-Петербург : ЮТАС, 2007. – 104 с. – Текст : непосредственный.

63. Ногин, В. Д. Проблема сужения множества Парето: подходы к решению / В. Д. Ногин. – Текст : непосредственный // Искусственный интеллект и принятие решений – 2008. – № 1. – С. 98–113.

64. О введении в действие Расписания выезда подразделений территориального пожарно-спасательного гарнизона для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ на территории города Москвы от 31.03.21 № 333. – URL [https:// 5nomer.ru/wp-content/uploads/2022/03/РВ-Москва-2021-Приказ-333-31.03.2021.pdf](https://5nomer.ru/wp-content/uploads/2022/03/РВ-Москва-2021-Приказ-333-31.03.2021.pdf) (Дата обращения: 31.10.2021). – Текст : электронный.

65. Об утверждении Государственной программы города Москвы «Развитие цифровой среды и инноваций»: Постановление Правительства Москвы от 9 августа 2011 г. № 349-ПП. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/537906652?ysclid=lkzxy7g16s814623483> (Дата обращения: 10.10.2021). – Текст : электронный.

66. Об утверждении Концепции построения и развития аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 03.12.2014 № 2446-р. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70717448/?ysclid=lz5lwj7m6v12682139> (Дата обращения: 12.10.2022). – Текст : электронный.

67. Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах : приказ МЧС России от 25.10.17 № 467. – Текст : электронный. – URL <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71733064/> (Дата обращения: 31.10.2021).

68. Об утверждении методических рекомендаций по разработке норм и правил по благоустройству территорий муниципальных образований : Приказ Минстроя России от 29 декабря 2021 г. № 1042/пр. – Текст : непосредственный.

69. Обоснование законов распределения временных характеристик оперативного реагирования подразделений пожарной охраны / А. В. Матюшин, А. А. Порошин, А. А. Кондашов, Ю. А. Матюшин. – Текст : непосредственный // Пожарная безопасность. – 2006. – № 6. – С. 69–79.

70. Олейник, А. Г. Метод системной динамики в задачах информационно-аналитической поддержки развития компонентов макросистемы АЗРФ / А. Г. Олейник, В. А. Путилов. – Текст : непосредственный // Теория и практика системной динамики : Материалы конференции VIII Всероссийской конференции (с международным участием), Апатиты, 01–05 апреля 2019 года ; отв. ред. А. Г. Олейник. – Апатиты : Кольский научный центр Российской академии наук, 2019. – С. 117–123.

71. Определение максимально допустимого расстояния между пожарным депо и объектом предполагаемого пожара при стохастической постановке задачи / А. В. Матюшин, А. А. Порошин, А. А. Кондашов, Ю. А. Матюшин. – Текст : непосредственный // Пожарная безопасность. – 2007. – № 2. – С. 103–121.

72. Остудин, Н. В. Модели и алгоритмы информационно-аналитической поддержки антикризисного управления : специальность 2.3.4 «Управление в организационных системах» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Остудин Никита Вадимович. – Санкт-Петербург, 2018 – 24 с. – Текст : непосредственный.

73. Отчет о выполнении Государственной программы города Москвы «Безопасный город» за 2021 год. – URL: <https://www.mos.ru/drbez/documents/programma-bezopasnyi-gorod/view/270206220> (Дата обращения: 22.07.2022). – Текст : электронный.

74. Патент на изобретение. Способ обследования полигонов твердых отходов : № 2743281 : заявл. 2019.07.12 : опубл. 2021.02.16 : зарегистр. 16.02.2021 / Патентообладатели: Общество с ограниченной ответственностью

«Технологический институт энергетических обследований, диагностики и неразрушающего контроля «ВЕМО» (RU). – 30 с. – Текст : непосредственный.

75. Подгрушный, А. В. Совершенствование управления боевыми действиями пожарных подразделений на основе их тактических возможностей : специальность 05.13.10 «Управление в социальных и экономических системах» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Подгрушный Александр Васильевич. – Москва, 2004 – 24 с. – Текст : непосредственный.

76. Применение методов системного анализа при исследовании деятельности пожарно-спасательных подразделений / Н. В. Мартинович, И. Н. Татаркин, А. В. Антонов, А. А. Мельник. – Текст : непосредственный // Интернет-журнал «Науковедение». – 2015. – Т. 7. – № 6(31). – С. 119.

77. Пряничников, В. А. Концепция модели обеспечения нормативного времени прибытия аварийных служб в условиях мегаполиса / В. А. Пряничников, М. В. Сибиряков. – Текст : непосредственный // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2015. – № 3. – С. 37–40.

78. Путилов, В. А. Синтез имитационных моделей сложных систем на основе экспертных знаний / В. А. Путилов, А. В. Горохов, В. В. Быстров. – Текст : непосредственный // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2008. – № 2. – С. 27–35.

79. Пятаева, А. В. Обнаружение дыма на видеопоследовательности с применением локальных бинарных шаблонов в условиях шума / А. В. Пятаева. – Текст : непосредственный // Материалы XIX-й международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева «Решетневские чтения». – 2015. – Ч. 2. – С. 245–246.

80. Пятаева, А. В. Применение эволюционного алгоритма для сглаживания гистограмм при раннем обнаружении дыма на открытых пространствах / А. В. Пятаева, М. Н. Фаворская. – Текст : непосредственный // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. – 2016. – Т. 6. – № 4. – С. 866–871.

81. Пятаева, А. В. Сегментация областей задымления на видеопоследовательности видеоданным / А. В. Пятаева. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. – 2016. – Том 17(№3). – С. 625–630.

82. Пятаева, А. В. Сегментация областей задымления при раннем обнаружении дыма на открытых пространствах видеоданным / А. В. Пятаева. – Текст : непосредственный // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы III Международной научной конференции. – Красноярск, 2016. – С. 178–181.

83. Пятаева, А. В. Обнаружение пламени и дыма по видеоданным / А. В. Пятаева, О. Е. Бандеев. – Текст : непосредственный // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: техника и технологии. – 2019. – №5 (12). – С. 542–554.

84. Пятаева, А. В. Обнаружение пламени и дыма по видеоданным видеоданным / А. В. Пятаева, О. Е. Бандеев. – Текст : непосредственный // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2019. – Т. 12. – № 5. – С. 542–554.

85. Разработка и принятие управленческих решений : учеб. пособие / Л. И. Найденова, Л. Ф. Каримова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2020. – 56 с.

86. Разработка организационно-управляющей модели аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» на территории Московской области / И. М. Тетерин, Н. Г. Топольский, О. В. Наместникова [и др.]. – Текст : непосредственный // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 6 (82). – 2018. – С. 36–45.

87. Рычихина, Э. Н. Мониторинг как общая функция управления: монография / Э. Н. Рычихина. – Ухта : УГТУ, 2008. – 140 с.

88. СП 11.13130.2009. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения. – Введ. 2009-05-01. – Москва : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 15 с. – Текст : непосредственный.

89. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации базы данных. Информационные ресурсы для планирования видеомониторинга действий по тушению техногенного пожара : № RU 2022620524 : заявка № 2022620275 : зарег. 18.02.2022 : опубл. 15.03.2022 / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов, А. О. Семенов. – Текст : непосредственный.

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

91. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации базы данных. Условные графические обозначения камер видеонаблюдения, предназначенные для интеграции в картографический сервис, используемый должностными лицами оперативной дежурной смены Центра управления в кризисных ситуациях : № RU 2024620419 : опубл. 25.01.2024 / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов, А. О. Семенов. – Текст : непосредственный.

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

93. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ. Определение количества и мест установки камер уличного видеонаблюдения для обеспечения информационных потребностей органов управления оперативным реагированием на пожар : № RU 2024612570 : опубл. 02.02.2024 / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов, А. О. Семенов. – Текст : непосредственный.

94. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для формирования подборки оперативной видеоинформации для оперативных должностных лиц пожарно-спасательного гарнизона : № RU

2023689145 : опубл. 26.12.2023 / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов, А. О. Семенов. – Текст : непосредственный.

95. Семенов, А. О. Информационные системы поддержки принятия решения / А. О. Семенов, Д. В. Тараканов : учебное пособие. – Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. – 120 с. – Текст : непосредственный.

96. Семиков, В. Л. Разработка научно-технической политики в системе противопожарных и аварийно-спасательных служб Российской Федерации: специальность 05.26.01 «Охрана труда (по отраслям)»; 05.13.10 «Управление в социальных и экономических системах» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Семиков Владимир Леонтьевич. – Москва, 1992. – С. 48. – Текст : непосредственный.

97. Семиков, В. Л. Статистический анализ зависимости показателей ущерба от времени прибытия первого пожарного подразделения на пожар / В. Л. Семиков, С. П. Алексеев, В. Я. Вилисов. – Текст : непосредственный // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 2 (84). – 2019. – С. 72–83.

98. Семиков, В. Л. Теория организации в схемах и таблицах / В.Л. Семиков, В.Д. Ушаков. – Москва : РГАЗУ, 2009. – 257 с. – Текст : непосредственный.

99. Сибиряков, М. В. Анализ геоинформационных данных о следовании пожарно-спасательных подразделений к местам экстренных вызовов / М. В. Сибиряков. – Текст : непосредственный // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 6(70). – С. 214–221.

100. Сибиряков, М. В. Информационно-аналитическая поддержка управления оперативными пожарно-спасательными подразделениями : специальность 05.13.10 «Управление в социальных и экономических системах» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сибиряков Максим Владимирович. – Москва, 2018. – 24 с. – Текст : непосредственный.

101. Сибиряков, М. В. Программа обработки и анализа ГЛОНАСС данных о следовании к месту вызова пожарно-спасательных подразделений: свидетельство

Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017613626, 23.03.2017 / М. В. Сибиряков. – Текст : непосредственный.

102. Смирнов, А. В. Модель и алгоритмы поддержки управления пожарной безопасностью предприятий химической промышленности : специальность 2.3.4 «Управление в организационных системах» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Смирнов Андрей Владимирович. – Москва, 2020. – 23 с. – Текст : непосредственный.

103. Соколов, С. В. Определение преимущества движения пожарно-спасательных подразделений в транспортном потоке / С. В. Соколов, М. В. Сибиряков. – Текст : непосредственный // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 1(71). – 11 с.

104. Сорокин, Л. А. Информационно-аналитическая поддержка управления безопасностью в местах массового пребывания людей : специальность 05.13.10 «Управление в социальных и экономических системах» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сорокин Леонид Андреевич. – Москва, 2017. – 24 с. – Текст : непосредственный.

105. Станкевич, Т. С. Информационно-аналитическая поддержка принятия управленческих решений при тушении пожаров в морских портах в условиях неопределенности / Т. С. Станкевич. – Текст : непосредственный // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2017. – № 4. – С. 71–80. – DOI 10.24143/2072-9502-2017-4-71-80.

106. Станкевич, Т. С. Разработка алгоритма выбора ранга пожара и алгоритма прогнозирования площади пожара при тушении пожаров в морских портах / Т. С. Станкевич, С. Ю. Бутузов, А. А. Рыженко. – Текст : непосредственный // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – № 7(114). – С. 109–116. – DOI 10.21285/1814-3520-2016-7-109-116.

107. Структура системы управления пожарно-спасательными подразделениями на начальном этапе пожаротушения / А. Н. Денисов,

О. И. Степанов, В. Б. Коробко, А. В. Матюшин // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 3(73). – С. 56-63.

108. Тараканов, Д. В. Математическая модель мониторинга состояния пожара в здании / Д. В. Тараканов. – Текст : непосредственный. // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2016. – Т. 1. – № 1(7). – С. 200–202.

109. Тараканов, Д. В. Многокритериальные модели и методы поддержки управления пожарными подразделениями на основе мониторинга динамики пожара в здании : специальность 05.13.10 «Управление в социальных и экономических системах» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Тараканов Денис Вячеславович. – Москва, 2018. – 340 с. – Текст : непосредственный.

110. 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.

111. Тараканов, Д. В. Поддержка принятия управленческих решений при тушении крупных пожаров на основе многокритериальной оптимизации : специальность 05.13.10 «Управление в социальных и экономических системах» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тараканов Денис Вячеславович. – Москва, 2011 – 23 с. – Текст : непосредственный.

112. Тараканов, Д. В. Система информационной поддержки управления звеньями газодымозащитной службы при ликвидации пожаров в зданиях / Д. В. Тараканов. – Текст : непосредственный // Пожарная и аварийная безопасность: материалы X Международной научно-практической конференции. – Иваново : ИПСА ГПС МЧС России, 2015. – С. 185–186.

113. Терехнев, В. В. Обоснование параметров для разработки нормативов по боевому развертыванию пожарных подразделений на автоцистернах и автонасосах : специальность 05.26.01 «Охрана труда (по отраслям)» : автореферат диссертации

на соискание ученой степени кандидата технических наук / Терещнев Владимир Васильевич. – Москва, 1989 – 23 с. – Текст : непосредственный.

114. Терещнев, В. В. Пожарная тактика : Основы тушения пожаров : учеб. пособие / В. В. Терещнев, А. В. Подгрушный. – Москва : Академия ГПС МЧС России, 2012. – 322 с. – Текст : непосредственный.

115. Топольский, Н. Г. Комплексная оценка эффективности автоматизированных систем противопожарной защиты предприятий нефтепереработки с использованием видеотехнологий / Н. Г. Топольский, Ф. В. Демехин. – Текст : непосредственный // Безопасность жизнедеятельности. – 2009. – № 4(100). – С. 33–36.

116. Топольский, Н. Г. Концепция информационно-аналитического обеспечения управления поисково-спасательными работами / Н. Г. Топольский, Д. С. Береснев, А. А. Рыженко. – Текст : непосредственный // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 4(62). – 8 с.

117. Топольский, Н. Г. Прогнозирование динамики пожара в здании по данным мониторинга температурных полей / Н. Г. Топольский, Д. В. Тараканов. – Текст : непосредственный. // Проблемы управления безопасностью сложных систем : Материалы XXII международной конференции, Москва, 03 декабря 2014 года. – Москва : Российский государственный гуманитарный университет, 2014. – С. 252–254.

118. Фаворская, М. Н. Детектирование дыма на открытых пространствах в сложных погодных условиях с применением пространственно-временных локальных бинарных шаблонов видеоданным / М. Н. Фаворская, А. В. Пятаева. – Текст : непосредственный // Информационно-управляющие системы. – 2016. – №1 (80). – С. 16–25.

119. Фроленков, С. В. Современное состояние вопроса управления оперативно-тактическими действиями пожарных подразделений и возможные пути его совершенствования / С. В. Фроленков, В. В. Терещнев. – Текст : непосредственный // Современные проблемы гражданской защиты. – 2019. – № 4(33). – С. 108–112.

120. Харкевич, А. А. О ценности информации / А. А. Харкевич. – Текст : непосредственный // Проблемы кибернетики. – 1960. – № 4. – С. 53–57.

121. Членов, А. Н. Анализ методов обнаружения пожара по видеоизображению / А. Н. Членов, Ф. В. Демехин. – Текст : непосредственный // Вестник Академии Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2006. – № 5. – С. 85–93.

122. Членов, А. Н. Новые возможности применения видеодетекторов / А. Н. Членов, И. Г. Дровникова, Ф. В. Демёхин. – Текст : непосредственный // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2010. – № 1. – С. 73–78.

123. Членов, А. Н. Новые направления применения видеотехнологий в системах безопасности / А. Н. Членов, Ф. В. Демёхин, Т. А. Буцынская [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2009. – № 3. – С. 88-93.

124. Членов, А. Н. Общие принципы построения видеодетектора пожара / А. Н. Членов. – Текст : непосредственный // Технологии техносферной безопасности. – 2005. – № 4. – С. 3.

125. Шеннон, К. Э. Работы по теории информации и кибернетике / К. Э. Шеннон. – Москва : Издательство иностранной литературы, 1963. – 830 с. – Текст : непосредственный.

126. Шестаков, Д. А. Алгоритм видеообнаружения дыма в реальном времени на основе сверточной нейронной сети / Д. А. Шестаков, В. А. Березина, В. Г. Струкова. – Текст : непосредственный // Современные проблемы и перспективные направления инновационного развития науки: сборник статей Международной научно-практической конференции, Магнитогорск, 07 декабря 2021 года. – Уфа : Общество с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС», 2021. – С. 40–44.

127. Штерензон, В. А. Влияние показателей оперативного реагирования и тушения пожаров на показатели обстановки с пожарами / В. А. Штерензон,

С. А. Худякова, А. В. Шпаньков. – Текст : непосредственный // Техносферная безопасность. – 2023. – № 4(41). – С. 71–89.

128. Ямалов, И. У. Поддержка принятия решений для управления в условиях чрезвычайных ситуаций на основе когнитивных и динамических моделей : специальность 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Ямалов Ильдар Уралович. – Уфа, 2007. – 34 с. – Текст : непосредственный.

129. Cohen-Hatton, S.R., Butler, P.C., and Honey R.C. (2015). An Investigation of Operational Decision Making in Situ: Incident Command in the U.K. Fire and Rescue Service: Human Factors The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society. Human Factors 57(5), pp. 793–804.

130. Damaševičius, R. From Sensors to Safety: Internet of Emergency Services (IoES) for Emergency Response and Disaster Management / Damaševičius, R., Bacanin, N., Misra, S. // Journal of Sensor and Actuator Networks. –2023. – DOI:10.3390/jsan12030041.6

131. Hart, O. On the Design of Hierarchies: Coordination vs Specialization / O. Hart, J. Moore // The Journal of Political Economy. – 2005. – Vol. 113. – Pp. 675–702.

132. Hart, Oliver D. and Moore, John Hardman, On the Design of Hierarchies: Coordination Versus Specialization (1999). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=237454> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.237454>.

133. Linderoth, G. Live video from bystanders' smartphones to medical dispatchers in real emergencies / Linderoth, G., Lippert, F., Østergaard, D. [et al.] // BMC Emergency Medicine. –2021. – DOI:10.1186/s12873-021-00493-5.

134. Linderoth, G. Medical dispatchers' perception of visual information in real out-of-hospital cardiac arrest: A qualitative interview study / Linderoth, G., Palsgaard Møller, T., Folke, F. [et al.] // Scandinavian Journal of Trauma Resuscitation and Emergency Medicine. –2019. – DOI:10.1186/s13049-018-0584-0.

135. Nan, L. Situational awareness for supporting building fire emergency response: Information needs, information sources, and implementation requirements /

Nan, L., Zheng, Y. Ghahramani, A. [et al.] // *Fire Safety Journal*. – 2014. – DOI:10.1016/j.firesaf.2013.11.010.

136. Petratou, D. Decision-making criteria to shape mulching techniques for fire-prone landscapes / Petratou, D., Nunes, J.P., Guimarães, M.H. [et al.] // *Landscape Ecology* –2023. – DOI:10.1007/s10980-023-01659-1.

137. Power, D.J. Decision support systems: Concepts and resources for managers / D.J. Power // Quorum Books, Greenwood Publishing. – 2002. – 272 p.

138. Rezaeifam, S. Fire emergency response systems information requirements' data model for situational awareness of responders: A goal-directed task analysis / Rezaeifam, S., Ergen, E. Günaydın, H.M. // *Journal of Building Engineering*. – 2022. – DOI:10.1016/j.jobbe.2022.105531.

139. Ter Avest, E. Live video footage from scene to aid helicopter emergency medical service dispatch: A feasibility study/ Ter Avest, E., Lambert, E., De Coverly, R. [et al.] // *Scandinavian Journal of Trauma Resuscitation and Emergency Medicine*. –2019. – DOI:10.1186/s13049-019-0632-4.

140. The user illusion: cutting consciousness down to size / Tor Norretranders; translated by Jonathan Sydenham. p. 481.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ВИДЕОМОНИТОРИНГА
ПОЖАРОВ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ**

1. Предложения для этапа подготовки к реализации стадии видеомониторинга в процессе сосредоточения подразделений пожарной охраны в городской среде.

1.1. Предлагается учитывать возможность формирования и обновления БД, содержащих информационные ресурсы о средствах видеомониторинга, расположенных на территории местного ПСГ.

1.2. Предлагается учитывать возможность формирования и обновления БД [90], в которых накапливается информация о факторах объективной действительности, увеличивающих время введения первых сил и средств подразделений пожарной охраны на тушение пожара (спасение людей).

1.3. Предлагается расширять профессиональный кругозор лиц, принимающих решения по результатам видеомониторинга и лиц, непосредственно работающих с системами видеомониторинга. В качестве материала для первичного ознакомления со спецификой различных средств видеомониторинга разработаны информационные ресурсы [89].

1.4. При теоретическом и практическом решении пожарно-тактических задач предлагается учитывать факторы объективной действительности, которые могут затруднять продвижение первого прибывающего отделения на АЦ к месту пожара по дворовой территории многоквартирных домов. Для получения прогноза времени, которое может понадобиться для продвижения первого прибывающего отделения на АЦ к месту пожара по дворовой территории многоквартирных домов в выявленных условиях возможно применять имитационную модель [92] (после адаптации к конкретному местному ПСГ).

1.5 Предлагается учитывать возможность применения в картографических сервисах программного обеспечения оперативной дежурной смены ЦУКС более информативную систему условных обозначений средств видеомониторинга на территории муниципального образования, способствующую сокращению времени поиска нужного средства видеомониторинга в заданных условиях. В качестве примера разработана практико-ориентированная система условных графических обозначений [91].

2. Предложения для этапа реализации стадии видеомониторинга в процессе сосредоточения подразделений пожарной охраны в городской среде.

2.1. Предлагается учитывать возможность применения многокритериального подхода к анализу поступающего в режиме реального времени с места пожара ПВИ. В качестве примера (первого в своем роде, но не исчерпывающего и не эталонного) в настоящем диссертационном исследовании предложен материал таблиц 2.2-2.3.

2.2. Предлагается учитывать возможность подготавливать для старших оперативных должностных лиц местного ПСГ подборку актуальных трансляций видеоизображения с места пожара от средств видеомониторинга. Это необходимо для формирования стратегического резерва времени на принятие управленческих решений. В качестве средства информационной поддержки оперативных должностных лиц местного ПСГ, возможно использование программы [94].

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

**СВИДЕТЕЛЬСТВА О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ БАЗ
ДАНЫХ И ПРОГРАММ ДЛЯ ЭВМ**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU

2024681047ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): <u>2024681047</u>	Авторы: Апарин Александр Александрович (RU), Тараканов Денис Вячеславович (RU), Семенов Алексей Олегович (RU)
Дата регистрации: 04.09.2024	
Номер и дата поступления заявки: 2024680173 29.08.2024	Правообладатели: Апарин Александр Александрович (RU) Тараканов Денис Вячеславович (RU) Семенов Алексей Олегович (RU)
Дата публикации и номер бюллетеня: <u>04.09.2024</u> Бюл. № <u>9</u>	
Контактные реквизиты: нет	

Название программы для ЭВМ:

Имитационное моделирование времени движения по внутривортовой территории первого прибывающего к месту пожара отделения на автоцистерне**Реферат:**

Программа предназначена для имитационного моделирования времени движения по внутривортовой территории первого прибывающего к месту пожара отделения на автоцистерне в условиях современной городской застройки. При моделировании учитываются факторы объективной действительности, выявленные при оперативном анализе потока видеoinформации, поступающего в режиме реального времени от камер видеонаблюдения, установленных в непосредственной близости с местом пожара. Результат моделирования: дискретные значения времени, необходимого для реализации альтернативных вариантов движения первого прибывающего отделения на автоцистерне к объекту пожара, в зависимости от выявленных на подъездных путях (внутривортовой территории) факторов объективной действительности. Область применения: использование оперативной дежурной сменой ЦУКС ГУ МЧС России по субъектам Российской Федерации для информационной поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на основе поступающего с места пожара потока видеoinформации (в период времени: до прибытия первых оперативных должностных лиц местного пожарно-спасательного гарнизона на место пожара). Возможно применение программы в качестве теоретического обеспечения при решении пожарно-тактических задач. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК; ОС: Windows 10.

Язык программирования: Python**Объем программы для ЭВМ:** 115 МБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU

2022621358

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ

Номер регистрации (свидетельства): <u>2022621358</u>	Автор: Апарин Александр Александрович (RU)
Дата регистрации: 08.06.2022	Правообладатель: Апарин Александр Александрович (RU)
Номер и дата поступления заявки: 2022621056 17.05.2022	
Дата публикации и номер бюллетеня: <u>08.06.2022</u> Бюл. № 6	

Название базы данных:

Ресурсы информационного обеспечения видеомониторинга техногенного пожара при управлении сосредоточением подразделений пожарной охраны

Реферат:

База данных является ресурсом для информационного обеспечения процесса видеомониторинга техногенного пожара. Структура объектов базы данных позволяет накапливать фото- и видеoinформацию, сопровождаемую описанием в виде числовых значений. Кorteжи данных в том числе предусматривают содержание дискретной информации, структурирующей хранящиеся фото- и видеоданные по различным параметрам. База данных потенциально применима для информационной поддержки оператора мониторинга при работе с видеопотоком данных. Функциональные возможности: накопление, хранение и структурирование результатов видеомониторинга произошедших техногенных пожаров с целью формирования информационных ресурсов, позволяющих осуществлять быстрый поиск и получение интересующей оператора видеомониторинга информации. ОС: Windows 10.

Вид и версия системы управления базой данных: Access

Объем базы данных: 1,71 МБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2022620524**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
**ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ, ОХРАНЯЕМОЙ
АВТОРСКИМИ ПРАВАМИ**

Номер регистрации (свидетельства): 2022620524 Дата регистрации: 15.03.2022 Номер и дата поступления заявки: 2022620275 18.02.2022 Дата публикации и номер бюллетеня: 15.03.2022 Бюл. № 3	Автор(ы): Апарин Александр Александрович (RU), Тараканов Денис Вячеславович (RU), Семенов Алексей Олегович (RU) Правообладатель(и): Апарин Александр Александрович (RU), Тараканов Денис Вячеславович (RU), Семенов Алексей Олегович (RU)
--	--

Название базы данных:

Информационные ресурсы для планирования видеомониторинга действий по тушению техногенного пожара

Реферат:

База данных является информационным ресурсом для планирования видеомониторинга действий по тушению техногенного пожара. База данных содержит информацию об источниках видеоинформации, потенциально применимых при превентивном мониторинге, оперативном реагировании подразделений пожарной охраны по сообщению о пожаре и непосредственно на месте вызова. Область применения: база данных возможна к использованию в учебном процессе высших учебных заведений пожарно-технического профиля для подготовки специалистов и повышения квалификации должностных лиц пожарно-спасательных гарнизонов. Функциональные возможности: база данных позволяет в структурированной форме ознакомиться с системами и средствами видеомониторинга техногенного пожара. Материал в определенных случаях раскрывает функционал средств видеомониторинга, область применения, а также опыт практического использования, что позволяет планировать примерный перечень средств видеомониторинга, потенциально применимый для некоторого пожара на некотором объекте защиты, основываясь на технических ресурсах пожарно-спасательного гарнизона. ОС: Windows 10.

Вид и версия системы управления базой данных: Access

Объем базы данных: 17,5 МБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU

2024620419

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ

Номер регистрации (свидетельства):

2024620419

Дата регистрации: 25.01.2024

Номер и дата поступления заявки:

2024620127 15.01.2024

Дата публикации и номер бюллетеня:

25.01.2024 Бюл. № 2

Контактные реквизиты:

нет

Авторы:

Апарин Александр Александрович (RU),
Тараканов Денис Вячеславович (RU),
Семенов Алексей Олегович (RU)

Правообладатели:

Апарин Александр Александрович (RU)
Тараканов Денис Вячеславович (RU)
Семенов Алексей Олегович (RU)

Название базы данных:

Условные графические обозначения камер видеонаблюдения, предназначенные для интеграции в картографический сервис, используемый должностными лицами оперативной дежурной смены Центра управления в кризисных ситуациях

Реферат:

База данных является информационным ресурсом для совершенствования имеющейся системы условных графических обозначений камер видеонаблюдения в картографических сервисах, используемых при организации оперативного реагирования сил и средств подразделений пожарной охраны на поступивший вызов. Область применения: картографические сервисы, используемые должностными лицами оперативной дежурной смены Центра управления в кризисных ситуациях ГУ МЧС России по субъектам Российской Федерации. Система условных графических обозначений камер видеонаблюдения имеет практико-ориентированный характер и функционально направлена на сокращение времени поиска нужного источника видеoinформации в условиях дефицита времени при организации оперативного реагирования сил и средств подразделений пожарной охраны на поступивший вызов.

Вид и версия системы управления базой данных: Access

Объем базы данных: 1,14 МБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU

2023689145ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства): <u>2023689145</u>	Авторы: Апарин Александр Александрович (RU), Тараканов Денис Вячеславович (RU), Семенов Алексей Олегович (RU)
Дата регистрации: 26.12.2023	Правообладатели: Апарин Александр Александрович (RU) Тараканов Денис Вячеславович (RU) Семенов Алексей Олегович (RU)
Номер и дата поступления заявки: 2023688117 15.12.2023	
Дата публикации и номер бюллетеня: <u>26.12.2023</u> Бюл. № <u>1</u>	
Контактные реквизиты: Нет	

Название программы для ЭВМ:

Программа для формирования подборки оперативной видеoinформации для оперативных должностных лиц пожарно-спасательного гарнизона**Реферат:**

Программа предназначена для должностных лиц оперативной дежурной смены ЦУКС ГУ МЧС России по субъектам Российской Федерации. Программа позволяет создать подборку трансляций с систем городского видеонаблюдения, сопроводить каждый ракурс камеры видеонаблюдения комментарием и сформировать итоговый документ в формате html для отправки оперативным должностным лицам, руководящим организацией оперативного реагирования сил и средств подразделений пожарной охраны на сообщение о пожаре. Область применения: информационная поддержка оперативных должностных лиц местного пожарно-спасательного гарнизона при организации оперативного реагирования сил и средств подразделений пожарной охраны на сообщение о пожаре. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК; ОС: Windows 10.

Язык программирования: Python 3**Объем программы для ЭВМ:** 29,1 МБ

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ

РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

УТВЕРЖДАЮ

Начальник МПСГ г. Москвы
полковник внутренней службы
Медведев А.А.

«26» *Медведев* 2024 г.



АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук Апарина Александра Александровича в деятельность Главного управления МЧС России по г. Москве

Комиссия в составе:

Председатель комиссии – начальник центрального пункта пожарной связи службы пожаротушения федеральной противопожарной службы Пожарно-спасательного отряда ФПС Управления по ЗАО Главного управления МЧС России по г. Москве лейтенант внутренней службы Зиновьев М.С.

Члены комиссии:

- старший мастер связи центрального пункта пожарной связи службы пожаротушения федеральной противопожарной службы Пожарно-спасательного отряда ФПС Управления по ЗАО Главного управления МЧС России по г. Москве мл. сержант внутренней службы Семенов И.Д.
 - старший мастер связи центрального пункта пожарной связи службы пожаротушения федеральной противопожарной службы Пожарно-спасательного отряда ФПС Управления по ЗАО Главного управления МЧС России по г. Москве прапорщик внутренней службы Привалов С.С.
- подтверждает, что результаты диссертационной работы Апарина А.А. посвященной разработке моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при видеомониторинге пожаров в городской среде, внедрены в ГУ МЧС России по г. Москве, а именно:
- практические рекомендации по организации видеомониторинга пожаров в селитебных районах городов;
 - метод оперативного анализа видеоинформации при осуществлении мониторинга в условиях организации реагирования сил и средств подразделений пожарной охраны на пожар.

Председатель комиссии:

Начальник центрального пункта пожарной связи службы пожаротушения федеральной противопожарной службы Пожарно-спасательного отряда ФПС Управления по ЗАО Главного управления МЧС России по г. Москве лейтенант внутренней службы

М.С. Зиновьев

Члены комиссии:

Старший мастер связи центрального пункта пожарной связи
службы пожаротушения федеральной противопожарной службы
Пожарно-спасательного отряда ФПС Управления по ЗАО Главного
управления МЧС России по г. Москве
мл. сержант внутренней службы



И.Д. Семенов

Старший мастер связи центрального пункта пожарной связи
службы пожаротушения федеральной противопожарной службы
Пожарно-спасательного отряда ФПС Управления по ЗАО Главного
управления МЧС России по г. Москве
прапорщик внутренней службы
«26» января 2024 г.



С.С. Привалов

УТВЕРЖДАЮ
 Заместитель начальника Главного
 управления МЧС России по Ростовской
 области (по антитеррористическому управлению
 и антитеррористической деятельности)
 полковник

«*А*» *02* 2024 г. Е.А. Никитин

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук Апарина Александра Александровича в деятельность Главного управления МЧС России по Ростовской области

Комиссия в составе:

Председатель комиссии – начальник центра управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по Ростовской области полковник внутренней службы Литвинчук Н.Н.

Члены комиссии:

– заместитель начальника центра управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по Ростовской области полковник внутренней службы Медведев С.А.;

– начальник отдела взаимодействия с органами управления функциональных и территориальных подсистем РСЧС федерального округа центра управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по Ростовской области подполковник внутренней службы Тюрин А.Р.,

подтверждает, что результаты диссертационной работы Апарина А.А., посвященной разработке моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при видеомониторинге пожаров в городской среде, используются при планировании мероприятий по совершенствованию информационно-аналитического обеспечения деятельности оперативной дежурной смены Главного управления МЧС России по Ростовской области.

Председатель комиссии:

Начальник центра управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по Ростовской области



Н.Н. Литвинчук

Члены комиссии:

Заместитель начальника центра управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по Ростовской области полковник внутренней службы



С.А. Медведев

Начальник отдела взаимодействия с органами управления функциональных и территориальных подсистем федерального округа центра управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по Ростовской области подполковник внутренней службы


А.Р. Тюрин

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Ивановской
пожарно-спасательной академии
ГПС МЧС России по учебной работе
подполковник внутренней службы

 А.С. Федорицов
« 01 » 10 2024 г.

АКТ

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

Комиссия в составе: председателя – заместителя начальника учебно-методического центра Майзлиша Алексея Владимировича, и членов комиссии – заместителя начальника кафедры основ гражданской обороны и управления в ЧС Данилова Павла Владимировича и старшего преподавателя кафедры основ гражданской обороны и управления в ЧС Разумовой Екатерины Федоровны подтверждает, что результаты диссертационной работы Апарина Александра Александровича используются при организации и проведении учебных занятий по дисциплинам «Тактика сил РСЧС и ГО» и «Управление в системе МЧС» (специальность 20.05.01 «Пожарная безопасность»; направление подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность», профиль «Пожарная безопасность»).

Председатель комиссии:



А.В. Майзлиш

Члены комиссии:



П.В. Данилов

Е.Ф. Разумова