

**Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан
Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина**

**Кусаинов А.Б., Макишев Ж.К., Альменбаев М.М., Максимов П.В.,
Захаров И.А., Смагулов Б.Е.**

**Автоматизация процессов поиска источников противопожарного
водоснабжения при оперативном реагировании пожарных
подразделений**

Монография

Кокшетау 2026 г.

УДК 614.842
ББК 38.96
A22

Рекомендованно Ученым советом Академии гражданской защиты
имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан

Рецензенты:

Кандидат технических наук Мусайбеков А. Г.
Кандидат технических наук, ассоциированный Карденов С.А.

**Кусаинов А.Б., Макишев Ж.К., Альменбаев М.М., Максимов П.В.,
Захаров И.А., Смагулов Б.Е.** Автоматизация процессов поиска источников
противопожарного водоснабжения при оперативном реагировании пожарных
подразделений: монография - Академия гражданской защиты имени Малика
Габдуллина МЧС Республики Казахстан, 2026. 102 с.

ISBN 978-601-08-6219-7

В монографии представлен анализ проблем оперативного реагирования
противопожарных подразделений, связанных с поиском и использованием
источников противопожарного водоснабжения в условиях чрезвычайных
ситуаций. Рассмотрены вопросы автоматизации информационного
обеспечения, разработана и апробирована система автоматизированного
поиска источников противопожарного водоснабжения, направленная на
сокращение временных затрат и повышение обоснованности управленческих
решений руководителя тушения пожара. Монография ориентирована на
научных и практических работников в области пожарной безопасности и
гражданской защиты, а также на магистрантов и докторантов Академии
гражданской защиты им. М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан.



УДК 614.842
ББК 38.96
A22

Оглавление

Введение	5
Теоретические основы оперативного реагирования противопожарных подразделений	8
Пожары и чрезвычайные ситуации как объект оперативного управления	8
Роль противопожарного водоснабжения в системе тушения пожаров	9
Факторы, влияющие на эффективность поиска источников противопожарного водоснабжения	15
Влияние временного фактора на тактические возможности противопожарных подразделений	17
Современные подходы к оценке времени оперативного реагирования противопожарных подразделений	19
Анализ и обоснование и методологии автоматизации поиска источников противопожарного водоснабжения	22
Анализ существующих методов поиска источников противопожарного водоснабжения	22
Использование геоинформационных систем в задачах обеспечения противопожарного водоснабжения	23
Модели определения оптимальных маршрутов и выбора источников противопожарного водоснабжения	26
Формализация задачи автоматизации поиска источников противопожарного водоснабжения	37
Алгоритмическая реализация метода дерева решений при выборе источников противопожарного водоснабжения	40
Сравнительный анализ алгоритмических подходов и обоснование выбора решений для программной реализации	44
Разработка и реализация программного продукта Geohydrants	47
Требования к программной системе и обоснование выбора технологий автоматизации	48
Архитектура автоматизированной системы поиска источников противопожарного водоснабжения	51
Реализация моделей данных и интеграция с базами данных	53
Реализация картографического модуля программного продукта GeoHydrants	55
Реализация алгоритмов поиска источников противопожарного водоснабжения и маршрутизации в программном коде	62
Реализация алгоритмов маршрутизации и выбора источников противопожарного водоснабжения в программном продукте GeoHydrants	65
Реализация механизмов учёта эксплуатационного состояния пожарных гидрантов и поддержки принятия решений в программном продукте GeoHydrants	68

Интеграция картографического и AR-представления данных как инструмент повышения ситуационной осведомлённости	71
Методические рекомендации по применению программного продукта GeoHydrants в деятельности противопожарных подразделений	76
Экспериментальная оценка эффективности системы	80
Методические рекомендации по использованию системы автоматизированного поиска источников противопожарного водоснабжения	88
Описание работы приложения и общая логика интерфейса	88
Использование картографического режима приложения	89
Использование режима дополненной реальности при поиске гидрантов	90
Инструкция по внесению объекта «гидрант» в базу данных Firestore	92
Рекомендации по контролю и актуализации данных источников противопожарного водоснабжения	94
Алгоритм использования системы автоматизированного поиска источников противопожарного водоснабжения при тушении пожара	95
Список литературы	97

Введение

Пожары и чрезвычайные ситуации техногенного и природного характера продолжают оставаться одной из наиболее значимых угроз безопасности населения, объектов инфраструктуры и окружающей среды. Устойчивый рост урбанизации, увеличение плотности застройки, усложнение инженерных и транспортных систем, а также интенсификация производственных процессов приводят к возрастанию масштабов потенциального ущерба при возникновении пожаров. В этих условиях особую актуальность приобретает задача повышения эффективности оперативного реагирования противопожарных подразделений на чрезвычайные ситуации. Оперативное реагирование является ключевым фактором, определяющим успешность проведения аварийно-спасательных и неотложных работ. Сокращение временных параметров от момента обнаружения пожара до начала подачи огнетушащих средств в очаг возгорания напрямую влияет на снижение человеческих потерь и материального ущерба. Анализ практики тушения пожаров показывает, что даже незначительное увеличение времени реагирования может приводить к кратному росту площади пожара, усложнению оперативной обстановки и повышению риска для личного состава.

Одним из определяющих элементов системы пожаротушения является противопожарное водоснабжение. Несмотря на развитие альтернативных огнетушащих веществ и технических средств, вода по-прежнему остаётся основным и наиболее широко применяемым средством тушения пожаров. В условиях городской застройки дополнительными источниками водоснабжения, как правило, выступают пожарные гидранты, водоёмы и другие элементы инженерной инфраструктуры. Однако практика показывает, что процесс их оперативного поиска и использования в реальных условиях пожара зачастую сопряжён с существенными временными потерями.

Результаты анализа времени оперативного реагирования противопожарных подразделений в городах Республики Казахстан свидетельствуют о том, что в большинстве случаев пожары ликвидируются силами одного караула и с использованием ограниченного количества пожарных стволов, при этом необходимость установки пожарной техники на водоисточник возникает в относительно небольшом, но тактически значимом проценте случаев. Вместе с тем именно эти ситуации характеризуются повышенной сложностью и требуют максимально быстрой и точной идентификации ближайших доступных источников водоснабжения.

Существующие методы обеспечения противопожарных подразделений информацией о расположении водоисточников в значительной степени основаны на использовании бумажных карт, планшетов и статических схем. Данные средства не позволяют в полной мере учитывать динамику дорожной обстановки, сезонные факторы, фактическое состояние водоисточников, а также изменения городской инфраструктуры. В условиях ограниченного времени и высокой тактической напряжённости такие методы не отвечают

современным требованиям оперативного управления и нуждаются в существенной модернизации.

Развитие информационных технологий, геоинформационных систем, мобильных устройств и технологий дополненной реальности открывает новые возможности для автоматизации процессов поиска источников противопожарного водоснабжения. Интеграция пространственных данных, алгоритмов оптимального маршрутизации и визуализации информации в режиме реального времени позволяет принципиально изменить подход к поддержке принятия решений руководителем тушения пожара и повысить тактические возможности противопожарных подразделений.

В рамках реализации научно-исследовательского проекта, посвящённого автоматизации процессов поиска источников водоснабжения для оперативного реагирования противопожарных подразделений, были выполнены исследования, направленные на анализ временных характеристик реагирования, изучение перспектив использования современных технологий автоматизации, а также разработку моделей поиска кратчайших маршрутов для обеспечения бесперебойной подачи воды на тушение пожара. Полученные результаты подтвердили целесообразность комплексного научного подхода к решению данной задачи и необходимость дальнейшего развития программно-аппаратных средств поддержки оперативной деятельности.

Целью настоящей монографии является научное обоснование и разработка методов автоматизации процессов поиска источников противопожарного водоснабжения, направленных на сокращение времени оперативного реагирования противопожарных подразделений в условиях пожаров и чрезвычайных ситуаций.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи: анализ теоретических основ оперативного реагирования и противопожарного водоснабжения; исследование существующих методов и технологий поиска водоисточников; разработка методологии автоматизации указанных процессов; обоснование архитектуры и принципов функционирования программного продукта; проведение натурных экспериментальных исследований с участием противопожарных подразделений; оценка эффективности внедрения разработанных решений и определение перспектив их дальнейшего развития.

Объектом исследования является система оперативного реагирования противопожарных подразделений при тушении пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Предметом исследования являются методы, алгоритмы и программные средства автоматизации поиска источников противопожарного водоснабжения.

Методологическую основу исследования составляют положения системного анализа, теории эффективности, теории оптимизации, дискретной математики, теории графов, а также методы математической статистики и экспериментальных исследований.

Научная новизна работы заключается в разработке комплексного подхода к автоматизации поиска источников противопожарного водоснабжения с использованием современных информационных технологий и алгоритмов оптимального маршрутизации, а также в экспериментальном обосновании эффективности предлагаемых решений в реальных условиях деятельности противопожарных подразделений.

Практическая значимость монографии состоит в возможности внедрения разработанных методов и программного продукта в деятельность территориальных подразделений органов гражданской защиты, что позволяет сократить время поиска водоисточников, повысить оперативность реагирования и эффективность тушения пожаров.

Монография состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованных источников и приложений, в которых представлены материалы экспериментальных исследований и элементы программной реализации.

1 Теоретические основы оперативного реагирования противопожарных подразделений

1.1. Пожары и чрезвычайные ситуации как объект оперативного управления

Пожары и чрезвычайные ситуации представляют собой сложные, динамично развивающиеся процессы, характеризующиеся высокой степенью неопределённости, ограниченностью времени на принятие решений и значительным риском для жизни людей и сохранности материальных ценностей. В условиях пожара оперативная обстановка может изменяться в течение считанных минут, что требует от противопожарных подразделений высокой степени готовности, скоординированности действий и наличия достоверной информации о состоянии окружающей среды и инженерной инфраструктуры.

Оперативное управление при тушении пожаров включает совокупность организационных, тактических и технических мероприятий, направленных на локализацию и ликвидацию очага возгорания, спасение людей и минимизацию ущерба. Ключевым элементом данного управления является своевременное принятие решений, основанных на объективных данных о развитии пожара, доступных силах и средствах, а также ресурсах противопожарного водоснабжения.

Как показывают результаты исследований и анализа практической деятельности противопожарных подразделений, временной фактор оказывает определяющее влияние на эффективность тушения пожара. В структуре времени оперативного реагирования выделяется ряд последовательных этапов — от момента возникновения и обнаружения пожара до прибытия подразделений, боевого развертывания и подачи огнетушащих средств. Каждый из этих этапов вносит вклад в общее время реагирования и может стать критическим при неблагоприятном развитии обстановки.

Особую роль в системе оперативного управления играет обеспечение бесперебойной подачи воды на тушение пожара. Несмотря на развитие современных огнетушащих веществ и технических средств, вода остаётся основным и наиболее универсальным средством пожаротушения. В условиях городской застройки и промышленных территорий пожарные автомобили обладают ограниченным запасом воды, которого, как правило, хватает лишь на начальный этап тушения. В дальнейшем эффективность действий подразделений напрямую зависит от скорости и точности определения ближайших источников дополнительного водоснабжения.

На практике значительная часть противопожарных подразделений при решении задач поиска водоисточников использует так называемые планшеты водоисточников, представляющие собой карты местности с нанесёнными пожарными гидрантами, водоёмами и иными элементами противопожарного водоснабжения. Данные планшеты могут быть выполнены как в бумажном,

так и в электронном виде, и традиционно применяются в процессе оперативной подготовки и при выездах на пожары.

Вместе с тем использование планшетов водоисточников имеет ряд объективных ограничений. В первую очередь, такие средства носят статический характер и не обеспечивают оперативного обновления информации о фактическом состоянии водоисточников, дорожной обстановке и доступности подъездных путей. Планшеты, как правило, не учитывают временные изменения городской инфраструктуры, сезонные факторы (снежный покров, промерзание гидрантов), а также наличие препятствий, возникающих в процессе пожара или в ходе повседневной эксплуатации территории.

Кроме того, эффективность использования планшетов в значительной степени зависит от опыта и субъективной оценки должностных лиц, что в условиях высокой психоэмоциональной нагрузки и дефицита времени может приводить к принятию не оптимальных решений. В реальной обстановке пожара работа с картографическими материалами затруднена ограниченной видимостью, задымлением, неблагоприятными погодными условиями и необходимостью одновременного выполнения нескольких тактических задач.

Таким образом, традиционные средства информационного обеспечения оперативного управления, основанные на использовании планшетов водоисточников, не в полной мере соответствуют современным требованиям к скорости, точности и адаптивности принятия решений. Указанные обстоятельства обуславливают необходимость перехода к более совершенным формам информационной поддержки противопожарных подразделений, основанным на автоматизации процессов поиска и визуализации источников противопожарного водоснабжения с использованием современных информационных технологий.

Анализ современных тенденций в области пожарной безопасности показывает, что внедрение автоматизированных систем, интегрирующих геоинформационные данные, алгоритмы оптимального маршрутизации и средства визуализации информации в режиме реального времени, позволяет существенно повысить качество оперативного управления и сократить временные потери на критических этапах тушения пожара.

1.2. Роль противопожарного водоснабжения в системе тушения пожаров

Противопожарное водоснабжение является одним из базовых элементов системы пожаротушения и играет определяющую роль в обеспечении устойчивости и эффективности боевых действий противопожарных подразделений. Независимо от характера пожара, типа объекта и условий его развития, возможность своевременной и бесперебойной подачи воды в очаг возгорания рассматривается как ключевой фактор успешной локализации и ликвидации пожара.

Практика тушения пожаров показывает, что подавляющее большинство пожаров ликвидируется с применением водяных струй. Это обусловлено универсальностью воды как огнетушащего вещества, её доступностью, высокой теплоёмкостью и способностью эффективно снижать температуру горения. Вместе с тем технические характеристики пожарных автомобилей накладывают объективные ограничения на продолжительность автономной работы без подключения к источнику внешнего водоснабжения.

Средний запас воды в пожарных автоцистернах, в зависимости от типа и модификации техники, составляет, как правило, от 2,5 до 5,0 м³. При интенсивной подаче огнетушащих средств данный объём может быть израсходован в течение 5–14 минут, что подтверждается результатами анализа оперативно-тактической деятельности противопожарных подразделений [1]. По истечении этого времени дальнейшее ведение боевых действий без установки на источник водоснабжения становится невозможным либо существенно ограниченным.

Типовые значения запаса воды в пожарных автоцистернах, применяемых в подразделениях противопожарной службы, приведены в таблице 1.1. Следует отметить, что даже при использовании автоцистерн большой вместимости продолжительность автономной подачи воды, как правило, не превышает 10–14 минут, что обуславливает необходимость оперативного подключения к внешним источникам противопожарного водоснабжения.

Таблица 1.1 – Типовые значения запаса воды пожарных автоцистерн, применяемых в противопожарных подразделениях

Тип пожарного автомобиля	Назначение	Запас воды, м³	Ориентировочное время автономной работы*, мин
АЦ малой вместимости	Первичное реагирование, плотная городская застройка	2,5–3,0	5–7
АЦ средней вместимости	Универсальное применение	3,5–4,0	7–10
АЦ большой вместимости	Объекты повышенной пожарной опасности, промзоны	4,5–5,0	10–14
АЦ с увеличенным водяным баком	Удалённые районы, ограниченный доступ к водоисточникам	6,0–8,0	14–20

** Время автономной работы приведено ориентировочно и зависит от расхода воды, количества подаваемых стволов и условий тушения пожара*

В системе оперативного управления тушением пожаров особое место занимает деятельность руководителя тушения пожара, на которого возлагается принятие решений по организации боевых действий, расстановке сил и средств, а также обеспечению бесперебойной подачи огнетушащих веществ. Одной из приоритетных задач на начальном и развёрнутом этапах тушения является определение доступных источников противопожарного водоснабжения и организация эффективной схемы подачи воды.

В населённых пунктах основными источниками противопожарного водоснабжения являются пожарные гидранты, водоёмы искусственного и естественного происхождения, а также иные элементы инженерной инфраструктуры. При этом пожарные гидранты рассматриваются как наиболее распространённый и оперативно доступный источник воды в условиях городской застройки. Однако фактическая доступность гидрантов в реальных условиях пожара может быть существенно ограничена рядом факторов, включая особенности планировки территории, состояние улично-дорожной сети, сезонные условия и техническое состояние самих водоисточников.

Анализ практики тушения пожаров показывает, что значительная часть временных потерь приходится на этап боевого развертывания, включающий поиск ближайшего водоисточника, оценку его работоспособности и подключение пожарной техники. Для формализованного описания данного процесса суммарное время оперативного реагирования противопожарного подразделения может быть представлено в виде суммы отдельных временных интервалов:

$$T_{\text{реag}} = t_{\text{обр}} + t_{\text{выезд}} + t_{\text{след}} + t_{\text{разв}} \quad (1.1)$$

где: $T_{\text{реag}}$ - суммарное время оперативного реагирования;

$t_{\text{обр}}$ - время обработки сообщения о пожаре;

$t_{\text{выезд}}$ - время сбора и выезда подразделения;

$t_{\text{след}}$ - время следования пожарной техники к месту пожара;

$t_{\text{разв}}$ - время боевого развертывания, включая поиск и подключение к источнику противопожарного водоснабжения.

Время оперативного реагирования противопожарных подразделений включает несколько этапов, каждый из которых влияет на общее время реагирования (рисунок 1.1) [1].

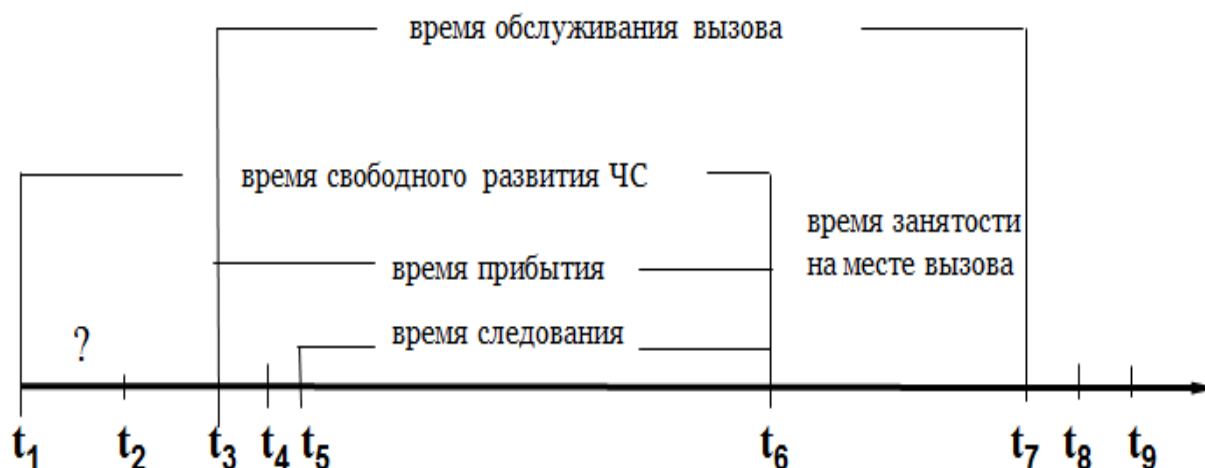


Рисунок 1.1 - Временные характеристики процесса функционирования противопожарного подразделения

где t_1 - момент возникновения ЧС;

t_2 - момент обнаружения ЧС;

t_3 - момент сообщения о ЧС на диспетчерский пункт противопожарного подразделения;

t_4 - момент поступления команды на выезд;

t_5 - момент выезда противопожарного подразделения к месту вызова;

t_6 - момент прибытия противопожарного подразделения на место вызова;

t_7 - момент отъезда противопожарного подразделения с места вызова;

t_8 - момент прибытия противопожарного подразделения на место дислокации;

t_9 - момент постановки противопожарного подразделения в расчет.

Анализ представленной зависимости показывает, что наибольшей вариабельностью характеризуется составляющая $t_{\text{разв}}$, величина которой в значительной степени зависит от условий местности, доступности источников водоснабжения, состояния улично-дорожной сети и используемых средств информационного обеспечения. В условиях дефицита времени и высокой тактической напряжённости указанный этап становится критическим с точки зрения эффективности тушения пожара.

На рисунке 1 представлена временная структура функционирования противопожарного подразделения, отражающая основные этапы оперативного реагирования от момента возникновения пожара до начала устойчивой подачи огнетушащих веществ в очаг возгорания.

Время реагирования определяется с момента получения сигнала тревоги до прибытия пожарного подразделения на место пожара и начала проведения работы по его ликвидации и возвращения на место дислокации. В рамках этого понятия можно выделить следующие ключевые этапы:

Время обработки вызова: это время, которое затрачивается на обработку сигнала о происшествии в диспетчерской службе. Оно включает получение вызова, уточнение адреса, характера происшествия и передача вызова ближайшему пожарному подразделению.

Время сбора и выезда подразделения: это время, необходимое пожарным для того, чтобы одеться в боевую одежду, подготовить технику и

выехать из пожарного депо. В нормативных документах обычно устанавливается время в пределах 1-2 минут для сбора и выезда пожарной бригады.

Время следования к месту происшествия: это время, которое затрачивается на перемещение пожарной техники от пожарного депо до места пожара или другого чрезвычайного происшествия. Оно зависит от расстояния, дорожной обстановки, времени суток, погодных условий и других факторов.

Время боевого развертывания, подготовки и тушения пожара: Время, которое необходимо на развертывание пожарной техники, прокладку рукавных линий, поиска и установку автоцистерны на водоисточник к подаче огнетушащих средств в очаг возгорания.

Временные параметры регламентированы нормативными документами [3,4,5]. В свою очередь время для развертывания в условиях реального пожара может включать различные действия, такие как поиск дополнительного водоисточника, обеспечение безопасности на месте пожара, выполнение мероприятий по предотвращению распространения огня, спасению людей и т.д.

Проведенный анализ деятельности противопожарных подразделений крупных городов Республики Казахстан показал, что 69,2 % всех пожаров ликвидируются силами одного караула, 53,5 % пожаров ликвидируются подачей одного пожарного ствола, 5,5 % пожаров ликвидируются с установкой пожарных машин (АЦ) на водоисточник (рисунок 1.2).

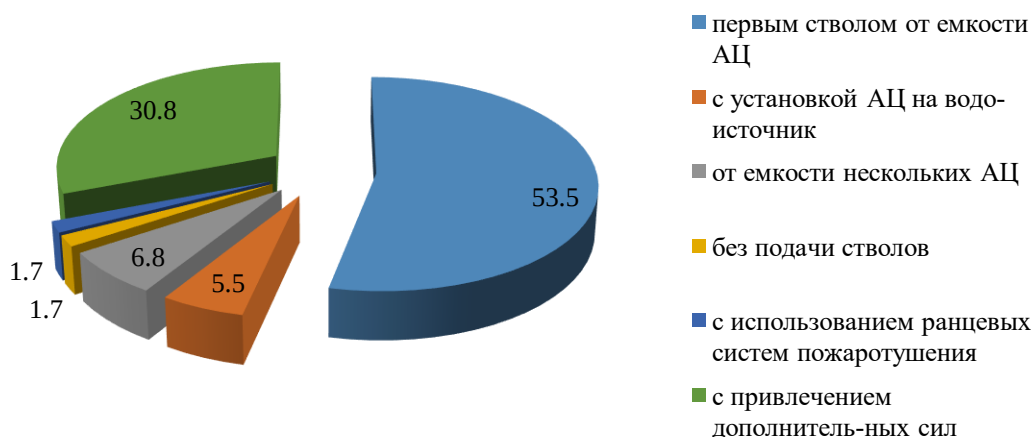


Рисунок 1.2 - Анализ деятельности противопожарных подразделений крупных городов Республики Казахстан

Более 98 % всех пожаров ликвидируются огнетушащими веществами. Основным огнетушащим веществом на пожаре является вода. В этой связи противопожарным подразделениям при ликвидации пожаров необходимо в

кратчайшие сроки определить ближайшие водоисточники для непрерывной подачи огнетушащих веществ в очаг пожара [6].

В городской местности дополнительным водоисточником служат пожарные гидранты. Поиск ближайшего гидранта в условиях пожара может занять достаточно времени, поскольку необходимо учитывать факторы, замедляющие данный процесс. Например, гидранты не всегда располагаются в непосредственной близости от места пожара, и их поиск может потребовать дополнительного времени. Кроме того, они могут быть закрыты припаркованными автомобилями, загорожены строительными материалами или иными объектами. В зимний период гидранты могут находиться под снегом, что затрудняет их обнаружение и доступ.

В практике деятельности противопожарных подразделений для информационного обеспечения поиска водоисточников традиционно используются планшеты водоисточников, представляющие собой карты местности с нанесёнными элементами противопожарного водоснабжения. Данные средства широко применяются в процессе оперативной подготовки и при тушении пожаров, однако обладают рядом существенных ограничений.

Планшеты водоисточников носят статический характер и не обеспечивают актуализацию информации в режиме реального времени. Они, как правило, не учитывают изменения дорожной обстановки, фактическое состояние гидрантов, наличие временных препятствий, а также сезонные факторы, влияющие на доступность водоисточников. Кроме того, эффективность их использования в значительной степени зависит от опыта и субъективной оценки должностных лиц, что в условиях ограниченной видимости, задымления и психоэмоциональной нагрузки может приводить к увеличению времени принятия решений и снижению их оптимальности.

Указанные обстоятельства свидетельствуют о том, что традиционные средства информационного обеспечения не в полной мере соответствуют современным требованиям к оперативности и адаптивности управления тушением пожаров. В связи с этим всё большую актуальность приобретает внедрение автоматизированных систем поиска источников противопожарного водоснабжения, основанных на использовании геоинформационных технологий, алгоритмов оптимального маршрутизации и средств визуализации информации в режиме реального времени.

Таким образом, противопожарное водоснабжение следует рассматривать как критически важный элемент системы оперативного реагирования, эффективность которого напрямую зависит от уровня автоматизации процессов поиска и использования источников воды. Совершенствование данных процессов является одним из ключевых направлений повышения эффективности тушения пожаров и снижения последствий чрезвычайных ситуаций.

1.3. Факторы, влияющие на эффективность поиска источников противопожарного водоснабжения

Эффективность поиска источников противопожарного водоснабжения в условиях пожара определяется совокупностью взаимосвязанных факторов, оказывающих влияние на скорость, точность и обоснованность принимаемых тактических решений. В реальной оперативной обстановке данные факторы проявляются комплексно и в значительной степени определяют продолжительность этапа боевого развертывания, а следовательно, и общее время оперативного реагирования противопожарных подразделений.

Анализ практики тушения пожаров и результатов научных исследований показывает, что факторы, влияющие на процесс поиска водоисточников, целесообразно классифицировать по нескольким основным группам: временной фактор, пространственно-инфраструктурные, технические, организационно-информационные и человеческий фактор. Рассмотрение данных групп в совокупности позволяет всесторонне оценить условия, в которых осуществляется поиск источников водоснабжения, и определить направления повышения его эффективности.

К пространственно-инфраструктурным факторам относятся особенности планировки населённых пунктов, плотность и характер застройки, состояние улично-дорожной сети, а также территориальное распределение источников противопожарного водоснабжения. В условиях плотной городской застройки расстояние до ближайшего водоисточника может быть относительно небольшим, однако фактическая доступность подъездных путей нередко ограничивается припаркованным транспортом, дорожными заторами, односторонним движением или временными перекрытиями. В сельской местности и на окраинах городов, напротив, расстояния до источников воды зачастую значительно больше, а подъезд к ним может быть затруднён из-за неудовлетворительного состояния дорог или отсутствия оборудованных водозаборных устройств.

К числу существенных факторов следует также отнести сезонные и природно-климатические условия. В зимний период значительное влияние оказывают снежный покров и промерзание грунта, что затрудняет визуальное обнаружение пожарных гидрантов и доступ к ним. В отдельных случаях гидранты могут быть полностью скрыты под слоем снега или льда, что приводит к дополнительным временным потерям на их поиск и подготовку к эксплуатации. В весенне-осенний период осложняющими факторами могут выступать подтопления, размывы дорожного полотна и ограниченная проходимость отдельных участков местности.

Технические факторы связаны с фактическим состоянием источников противопожарного водоснабжения и элементов инженерной инфраструктуры. Наличие источника на карте или планшете водоисточников не всегда гарантирует его работоспособность в момент пожара. Возможны случаи неисправности пожарных гидрантов, недостаточного давления в водопроводной сети, отсутствия воды в искусственных водоёмах или

ограниченной пропускной способности водозаборных устройств. Указанные обстоятельства требуют от руководителя тушения пожара не только оперативного выбора водоисточника, но и его быстрой проверки, что дополнительно увеличивает продолжительность этапа боевого развертывания.

Организационно-информационные факторы оказывают определяющее влияние на качество принимаемых решений в условиях дефицита времени. В практике деятельности противопожарных подразделений для обеспечения поиска источников водоснабжения традиционно используются планшеты водоисточников, представляющие собой картографические материалы с нанесёнными пожарными гидрантами, водоёмами и иными элементами противопожарного водоснабжения. Данные средства широко применяются в оперативной подготовке и при тушении пожаров, однако обладают рядом принципиальных ограничений.

Планшеты водоисточников, как правило, носят статический характер и не обеспечивают обновление информации в режиме реального времени. Они не отражают текущее состояние дорожной обстановки, фактическую доступность подъездных путей, техническое состояние гидрантов и изменения, произошедшие в инженерной инфраструктуре. Кроме того, использование планшетов требует визуального анализа и интерпретации информации, что в условиях задымления, ограниченной видимости и высокой психоэмоциональной нагрузки может снижать оперативность принятия решений и увеличивать вероятность ошибок.

Существенную роль в процессе поиска источников водоснабжения играет человеческий фактор. Опыт, уровень подготовки и индивидуальные особенности руководителя тушения пожара и личного состава непосредственно влияют на скорость ориентирования на местности, точность оценки оперативной обстановки и выбор оптимального водоисточника. В условиях пожара должностные лица вынуждены одновременно решать несколько тактических задач, что увеличивает когнитивную нагрузку и может приводить к субъективным ошибкам, особенно при недостатке актуальной информации.

В совокупности рассмотренные факторы формируют сложную и динамичную среду, в которой осуществляется поиск источников противопожарного водоснабжения. При этом анализ показывает, что значительная часть указанных факторов носит объективный характер и не может быть устранена исключительно за счёт повышения профессиональной подготовки личного состава или совершенствования организационных мероприятий. Это обуславливает необходимость внедрения современных средств информационной поддержки, способных обеспечить оперативное предоставление актуальных и достоверных данных о расположении, состоянии и доступности источников водоснабжения.

В условиях цифровизации и развития информационных технологий перспективным направлением повышения эффективности поиска источников противопожарного водоснабжения является автоматизация данного процесса с использованием геоинформационных систем, алгоритмов оптимального

маршрутизации и мобильных программных решений. Применение автоматизированных систем позволяет снизить влияние человеческого фактора, сократить временные потери на анализ информации и обеспечить поддержку принятия решений в режиме реального времени.

Таким образом, анализ факторов, влияющих на эффективность поиска источников противопожарного водоснабжения, подтверждает объективную необходимость перехода от традиционных, преимущественно статических средств информационного обеспечения к комплексным автоматизированным системам, ориентированным на условия реальной оперативной обстановки при тушении пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

1.4. Влияние временного фактора на тактические возможности противопожарных подразделений

Временной фактор является одним из определяющих параметров, влияющих на эффективность действий противопожарных подразделений при тушении пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Особенность пожара как динамичного и быстроразвивающегося процесса заключается в том, что интенсивность горения, площадь пожара и степень угрозы для людей и материальных ценностей изменяются во времени нелинейно, что существенно повышает значимость каждого временного интервала, затрачиваемого на реагирование.

Практика тушения пожаров и результаты научных исследований показывают, что на ранних стадиях развития пожара существует ограниченный временной интервал, в течение которого противопожарные подразделения обладают максимальными тактическими возможностями для локализации очага возгорания минимальными силами и средствами. По мере увеличения времени от момента возникновения пожара до начала активных боевых действий происходит рост температуры, скорости распространения пламени и дымообразования, что приводит к усложнению оперативной обстановки и снижению эффективности применяемых тактических приёмов.

Временной фактор оказывает комплексное влияние на все элементы оперативно-тактической деятельности противопожарных подразделений. Сокращение времени реагирования позволяет уменьшить площадь пожара, снизить вероятность перехода горения в скрытую или развитую стадию, а также повысить безопасность личного состава и эвакуируемых лиц. Напротив, увеличение временных потерь на отдельных этапах реагирования, включая боевое развертывание и подключение к источникам водоснабжения, приводит к необходимости наращивания сил и средств и увеличению продолжительности тушения.

Особое значение временной фактор приобретает в контексте обеспечения противопожарного водоснабжения. Как показано в предыдущих параграфах, автономный запас воды пожарных автоцистерн ограничен и позволяет вести тушение лишь в течение короткого промежутка времени. В этих условиях своевременное подключение к источнику внешнего

водоснабжения становится критически важным условием сохранения тактической инициативы. Задержки на этапе поиска водоисточника и организации подачи воды приводят к вынужденным паузам в тушении, что способствует развитию пожара и снижает эффективность ранее принятых решений.

Влияние временного фактора проявляется также в выборе тактических схем тушения пожара. При ограниченном времени и неблагоприятной оперативной обстановке руководитель тушения пожара вынужден переходить от наступательных действий к оборонительным, концентрируя усилия на защите смежных помещений и предотвращении распространения огня. Таким образом, временные потери непосредственно трансформируются в изменение тактических задач и снижение потенциала активного воздействия на очаг пожара.

Анализ деятельности противопожарных подразделений показывает, что значительная часть временных резервов повышения эффективности тушения пожаров сосредоточена именно на этапе принятия решений и реализации первичных тактических мероприятий. В условиях высокой динамичности пожара любая задержка, связанная с недостатком информации или необходимостью её дополнительного анализа, может привести к утрате благоприятного тактического момента. В этом контексте особую роль приобретает своевременное и достоверное информационное обеспечение руководителя тушения пожара.

Временной фактор тесно связан с уровнем информационной поддержки оперативного управления. Традиционные средства, основанные на использовании статических карт и планшетов водоисточников, не обеспечивают необходимой скорости получения и обработки информации в условиях изменяющейся обстановки. Это приводит к увеличению когнитивной нагрузки на должностных лиц и росту вероятности принятия неоптимальных решений. В свою очередь, автоматизированные системы, способные предоставлять актуальную информацию о водоисточниках и оптимальных маршрутах в режиме реального времени, позволяют существенно сократить временные потери и повысить устойчивость тактических действий.

Следует отметить, что влияние временного фактора распространяется не только на процесс тушения пожара, но и на безопасность личного состава противопожарных подразделений. Увеличение продолжительности тушения и рост интенсивности пожара приводят к ухудшению условий труда, повышению тепловых нагрузок и рисков для здоровья и жизни пожарных. Сокращение времени реагирования и ускорение ключевых этапов боевых действий способствуют снижению уровня профессионального риска и повышению общей безопасности работ.

Таким образом, временной фактор является системообразующим элементом оперативно-тактической деятельности противопожарных подразделений, определяющим эффективность тушения пожаров, объём привлекаемых сил и средств, а также уровень риска для личного состава.

Сокращение временных потерь на критических этапах реагирования, в том числе за счёт автоматизации процессов поиска источников противопожарного водоснабжения, следует рассматривать как одно из приоритетных направлений повышения эффективности системы пожарной безопасности в целом.

1.5. Современные подходы к оценке времени оперативного реагирования противопожарных подразделений

Оценка времени оперативного реагирования противопожарных подразделений является важнейшим элементом анализа эффективности системы пожарной безопасности и управления силами и средствами при тушении пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций. В современных условиях данная оценка рассматривается не только как инструмент статистического учёта, но и как основа для принятия управленческих решений, совершенствования тактики тушения пожаров и внедрения инновационных технических решений.

Традиционно оценка времени реагирования основывалась на фиксировании отдельных нормативных показателей, таких как время выезда подразделения, время прибытия к месту пожара и общее время ликвидации возгорания. Подобный подход позволял осуществлять контроль за соблюдением установленных нормативов, однако не обеспечивал детального анализа внутренних временных потерь и факторов, влияющих на эффективность действий противопожарных подразделений в реальных условиях пожара.

Современные подходы к оценке времени оперативного реагирования ориентированы на декомпозицию общего временного интервала на отдельные функциональные этапы, каждый из которых подлежит самостоятельному анализу. Такой подход позволяет выявлять «узкие места» в системе реагирования, оценивать влияние различных факторов на продолжительность отдельных этапов и определять приоритетные направления для оптимизации. Особое внимание при этом уделяется этапам боевого развертывания и обеспечению противопожарного водоснабжения, характеризующимся наибольшей вариабельностью временных показателей.

В научных исследованиях всё более широкое распространение получает использование статистических методов обработки данных о времени реагирования, включая анализ распределений, выявление средних и предельных значений, а также оценку влияния пространственных, организационных и технических факторов. Применение таких методов позволяет перейти от формального сопоставления нормативов к комплексной оценке эффективности функционирования противопожарных подразделений в различных условиях.

Одним из перспективных направлений является использование геоинформационных технологий для анализа временных характеристик реагирования. Интеграция данных о расположении пожарных депо, источников противопожарного водоснабжения, дорожной сети и фактической

обстановки позволяет моделировать процессы реагирования с учётом реальных условий местности. Геоинформационные модели дают возможность оценивать потенциальное время прибытия подразделений, прогнозировать временные затраты на боевое развертывание и анализировать влияние изменений инфраструктуры на общую эффективность реагирования.

Важным элементом современных подходов является переход от ретроспективного анализа к прогнозной оценке времени реагирования. Использование математических моделей и алгоритмов оптимизации позволяет не только анализировать уже произошедшие события, но и оценивать возможные сценарии развития оперативной обстановки. Такой подход особенно актуален при планировании размещения пожарных подразделений, оценке достаточности противопожарного водоснабжения и выборе оптимальных маршрутов движения пожарной техники.

Отдельного внимания заслуживает использование автоматизированных систем поддержки принятия решений, способных в режиме реального времени обрабатывать информацию о пожаре, дорожной обстановке и состоянии источников водоснабжения. В отличие от традиционных методов, основанных на статических данных, автоматизированные системы позволяют учитывать динамику оперативной обстановки и оперативно корректировать принимаемые решения. Это создаёт предпосылки для сокращения временных потерь на критических этапах реагирования и повышения устойчивости тактических действий противопожарных подразделений.

Современные подходы к оценке времени оперативного реагирования всё чаще рассматриваются в контексте цифровизации и внедрения интеллектуальных технологий. Применение алгоритмов оптимального маршрутизации, методов машинного обучения и анализа больших данных позволяет формировать адаптивные модели реагирования, учитывающие как накопленный опыт, так и текущие условия. В результате оценка времени реагирования трансформируется из вспомогательного аналитического инструмента в активный элемент системы оперативного управления.

Краткие выводы по первому разделу.

Таким образом, в первом разделе установлено, что эффективность оперативного реагирования противопожарных подразделений в значительной степени определяется временными параметрами выполнения основных этапов боевых действий, среди которых особое место занимает поиск и использование источников противопожарного водоснабжения. Показано, что вода сохраняет ключевое значение как основное огнетушащее вещество, а ограниченный запас пожарных автоцистерн обуславливает необходимость максимально быстрого подключения к внешним водоисточникам. Выявлено, что традиционные средства информационного обеспечения, в частности планшеты водоисточников, не в полной мере отвечают современным требованиям, поскольку имеют статический характер, не учитывают изменения оперативной обстановки и повышают зависимость принимаемых решений от человеческого фактора. Установлено, что на эффективность поиска

водоисточников влияют пространственно-инфраструктурные, технические, организационно-информационные и субъективные факторы, совокупное воздействие которых приводит к дополнительным временным потерям. На этой основе обоснована необходимость перехода к современным автоматизированным системам, использующим геоинформационные технологии, алгоритмы оптимизации маршрутов и средства оперативной визуализации, что формирует научно-теоретическую базу для дальнейшей разработки и внедрения цифровых решений в области поиска источников противопожарного водоснабжения.

2. Анализ и обоснование и методологии автоматизации поиска источников противопожарного водоснабжения

2.1. Анализ существующих методов поиска источников противопожарного водоснабжения

В практике деятельности противопожарных подразделений поиск источников противопожарного водоснабжения традиционно осуществляется с использованием комплекса организационных, инженерных и информационных методов, сформировавшихся в условиях преимущественно аналоговых технологий управления. Указанные методы на протяжении длительного времени обеспечивали приемлемый уровень оперативности и надёжности тушения пожаров, однако в современных условиях характеризуются рядом существенных ограничений, связанных с ростом темпов урбанизации, усложнением инфраструктуры и повышением требований к скорости реагирования.

К числу традиционных методов обеспечения поиска источников противопожарного водоснабжения относятся предварительное изучение районов выезда, ведение учёта источников водоснабжения, разработка и актуализация планшетов водоисточников, а также использование справочной и нормативной документации. Данные методы базируются на принципе предварительного накопления информации и её последующего использования в ходе тушения пожара.

Предварительное изучение районов выезда является основой оперативной подготовки противопожарных подразделений. В рамках данного процесса личный состав знакомится с планировкой территории, расположением пожарных гидрантов, водоёмов и иных потенциальных источников воды. Результаты такого изучения фиксируются в виде схем, планов и карт, используемых при принятии решений в ходе боевых действий. Несмотря на значимость данного подхода, его эффективность во многом зависит от регулярности обновления информации и индивидуального опыта личного состава.

Одним из наиболее распространённых средств информационного обеспечения являются планшеты водоисточников, представляющие собой картографические материалы с нанесёнными элементами противопожарного водоснабжения. Планшеты используются как при оперативной подготовке, так и непосредственно при тушении пожаров, обеспечивая визуальное представление о возможных источниках воды в районе вызова. Их преимущество заключается в простоте использования и доступности, однако данные средства имеют выраженный статический характер.

К основным недостаткам планшетов водоисточников относится отсутствие возможности оперативного обновления информации, что особенно критично в условиях изменения дорожной обстановки, застройки территорий и технического состояния инженерных сетей. Кроме того, планшеты, как правило, не содержат данных о фактической работоспособности гидрантов и

не учитывают временные ограничения, связанные с подъездом пожарной техники. В результате поиск источника водоснабжения нередко осуществляется на основе неполной или устаревшей информации.

Традиционные методы также предполагают активное использование справочной и нормативной документации, в том числе схем наружного противопожарного водоснабжения, эксплуатационных паспортов гидрантов и планов инженерных сетей. Однако в условиях пожара обращение к таким документам ограничено временными рамками и не всегда возможно с учётом динамики оперативной обстановки. Это приводит к тому, что значительная часть решений принимается интуитивно, на основе личного опыта и субъективной оценки ситуации.

Отдельного внимания заслуживает фактор человеческого участия в традиционных методах поиска источников водоснабжения. Руководитель тушения пожара и личный состав вынуждены одновременно анализировать большое количество информации, контролировать обстановку и принимать тактические решения в условиях дефицита времени и высокой психоэмоциональной нагрузки. При отсутствии инструментов автоматизированной поддержки это увеличивает вероятность ошибок и приводит к дополнительным временным потерям.

Анализ традиционных методов показывает, что их эффективность в значительной степени ограничена невозможностью оперативной обработки и актуализации информации, а также отсутствием механизмов оптимизации маршрутов движения пожарной техники к источникам водоснабжения. Указанные ограничения становятся особенно выраженными при тушении крупных пожаров, в условиях сложной дорожной обстановки и при необходимости организации бесперебойной подачи воды на значительных расстояниях.

Таким образом, традиционные методы обеспечения и поиска источников противопожарного водоснабжения, несмотря на их историческую значимость и практическую применимость, не в полной мере соответствуют современным требованиям к оперативности, адаптивности и обоснованности принимаемых решений. Это объективно обуславливает необходимость перехода к более совершенным, автоматизированным подходам, основанным на использовании цифровых технологий, геоинформационных систем и алгоритмов оптимального маршрутизации, анализ которых будет представлен в последующих параграфах настоящей главы.

2.2. Использование геоинформационных систем в задачах обеспечения противопожарного водоснабжения

В условиях современного развития городской среды и усложнения инженерной инфраструктуры геоинформационные системы (ГИС) становятся важным элементом информационного обеспечения деятельности противопожарных подразделений. Их применение в задачах обеспечения противопожарного водоснабжения направлено на систематизацию и

визуализацию пространственной информации, необходимой для принятия оперативных решений при тушении пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Геоинформационные системы обеспечивают формирование единого цифрового пространства, в рамках которого объединяются данные о расположении источников противопожарного водоснабжения, элементах улично-дорожной сети, объектах застройки и местах дислокации пожарных подразделений. В отличие от традиционных планшетов водоисточников, ГИС позволяют представлять информацию в интерактивном виде, обеспечивают масштабирование картографических данных и допускают их обновление по мере изменения условий эксплуатации инженерных сетей и транспортной инфраструктуры.

Одним из ключевых преимуществ использования геоинформационных систем является возможность пространственного анализа взаимного расположения очага пожара и потенциальных источников водоснабжения. Отображение источников воды в цифровой среде с привязкой к географическим координатам позволяет оперативно оценивать их удалённость, а также условия подъезда пожарной техники. Дополнительно в ГИС может использоваться атрибутивная информация, характеризующая тип источника, ориентировочную производительность, техническое состояние и особенности эксплуатации. Примерные параметры источников противопожарного водоснабжения приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные параметры источников противопожарного водоснабжения, отображаемые в геоинформационных системах

Параметр	Характеристика
Тип источника	Пожарный гидрант, водоём, резервуар
Пространственное положение	Географические координаты
Производительность	Расчётный или ориентировочный расход
Техническое состояние	Работоспособность по данным учёта
Доступность	Возможность подъезда пожарной техники

Использование геоинформационных систем позволяет также учитывать особенности улично-дорожной сети, включая конфигурацию дорог, наличие перекрёстков, одностороннего движения и иных факторов, влияющих на условия перемещения пожарной техники. Визуализация дорожной инфраструктуры в совокупности с источниками водоснабжения создаёт предпосылки для оценки возможных маршрутов движения и предварительного планирования действий на этапе боевого развертывания. На рисунке 2.1 приведен пример отображения источников противопожарного водоснабжения и дорожной сети в геоинформационной системе



Рисунок 2.1 – Пример отображения источников противопожарного водоснабжения и дорожной сети в геоинформационной системе

Вместе с тем анализ практики применения геоинформационных систем в деятельности противопожарных подразделений показывает, что их функциональные возможности в большинстве случаев используются ограниченно. Как правило, ГИС выполняют роль электронного справочного инструмента, предназначенного для визуального ориентирования на местности, тогда как выбор источника противопожарного водоснабжения и маршрута движения пожарной техники осуществляется на основе субъективной оценки руководителя тушения пожара.

Отсутствие встроенных механизмов автоматизированного анализа и поддержки принятия решений приводит к тому, что геоинформационные системы фактически воспроизводят функциональность традиционных планшетов водоисточников в цифровом формате. При этом не учитываются динамические факторы, такие как изменение дорожной обстановки, сезонные условия, фактическое техническое состояние гидрантов и необходимость обеспечения бесперебойной подачи воды с требуемыми параметрами.

Следует подчеркнуть, что ближайший по расстоянию источник противопожарного водоснабжения не всегда является оптимальным с точки зрения времени прибытия пожарной техники и устойчивости подачи огнетушащих веществ. В условиях дефицита времени и высокой тактической напряжённости принятие решений без формализованных критериев выбора может приводить к дополнительным временным потерям и снижению эффективности боевых действий.

Указанные обстоятельства свидетельствуют о том, что геоинформационные системы, несмотря на их значительный потенциал, не обеспечивают в полной мере автоматизацию процессов поиска и выбора источников противопожарного водоснабжения. Для повышения эффективности оперативного реагирования требуется интеграция ГИС с алгоритмическими методами анализа, позволяющими формализовать процесс выбора решений с учётом совокупности факторов, влияющих на условия тушения пожара.

Таким образом, геоинформационные системы следует рассматривать как необходимую основу для цифровизации информационного обеспечения противопожарных подразделений, однако их максимальная эффективность достигается лишь при использовании в составе автоматизированных систем поддержки принятия решений. Дальнейшее развитие данных подходов связано с применением алгоритмических методов определения оптимальных маршрутов движения пожарной техники и выбора источников противопожарного водоснабжения, рассмотрение которых представлено в следующем параграфе.

2.3. Модели определения оптимальных маршрутов и выбора источников противопожарного водоснабжения

Развитие геоинформационных технологий и средств цифровой обработки данных обусловило возможность перехода от описательных и интуитивных методов поиска источников противопожарного водоснабжения к формализованным алгоритмическим подходам. В рамках настоящего исследования алгоритмические методы рассматриваются как основа автоматизации процессов выбора маршрутов движения пожарной техники и определения источников воды, обеспечивающих устойчивую и бесперебойную подачу огнетушащих веществ в очаг пожара.

Одним из базовых направлений алгоритмизации является решение задачи определения кратчайшего маршрута движения пожарной техники.

Основным огнетушащим веществом, используемым противопожарными подразделениями при тушении пожаров является вода. Пожарный автомобиль в среднем вмещает от 2,5 до 5 м³ воды. Данного объема воды, без установки на водоисточник, хватает от 5 до 14 минут.

В указанных условиях задача поиска источников противопожарного водоснабжения и маршрутов следования к ним приобретает формализуемый характер и может быть представлена в виде математической модели. Наиболее целесообразным инструментом для решения данной задачи является аппарат теории графов, позволяющий описывать улично-дорожную сеть населённого пункта и расположение источников водоснабжения в виде абстрактной структуры с заданной топологией и весовыми характеристиками.

Для обеспечения требуемого объема воды руководителю тушения пожара (РТП) при проведении работ по ликвидации пожаров необходимо в

кратчайшие сроки определить ближайшие водоисточники для непрерывной подачи огнетушащих веществ в очаг пожара [3].

В населенных пунктах основными водоисточниками являются пожарные гидранты, пожарные водоемы, пожарные пирсы на берегу естественных водоемов.

Поиск ближайшего водоисточника может занять много времени. Связано это может быть с тем, что на улицах населенного пункта могут быть перекрыты дороги, движение по автодорогам может быть односторонним, могут быть дорожные заторы, гидранты могут находиться в нерабочем состоянии, в пожарных водоемах может отсутствовать вода и т.п.

В этих условиях РТП должен оперативно определить наиболее приемлемый источник водоснабжения.

В целях повышения оперативности реагирования противопожарных подразделений на пожары и чрезвычайные ситуаций, а также определения ближайшего источника противопожарного водоснабжения и кратчайшего пути следования к нему и обратно к месту пожара воспользуемся теорией графов [2]. Применение данной теории позволяет при минимальной затрате временных параметров определять наиболее точные результаты и визуализировать их.

Определение ближайшего водоисточника и пути следования к нему от места пожара и обратно в некоторой сети с предварительно заданной топологией. При определении ближайшего водоисточника под топологией понимается конфигурация графа, под вершинами – узлы развязки дорожной сети, под ребрами – направления дорожного движения [10].

Представление улично-дорожной сети в виде взвешенного ориентированного графа позволяет использовать классические алгоритмы поиска кратчайших путей, разработанные в рамках теории графов и широко применяемые в задачах транспортной логистики и оптимизации маршрутов.

В соответствии с [8], в практике при решении задач определения оптимального пути наиболее широкое применение нашли три алгоритма: алгоритм Флойда – Уоршелла; алгоритм Беллмана – Форда и алгоритм Дейкстры. Последний предназначен для определения кратчайших путей из одной вершины взвешенного ориентированного графа $G = (X, Y)$, где X – множество вершин графа; Y – множество дуг графа, с исходной вершиной s , в котором веса всех рёбер неотрицательны.

Расстояния между водоисточниками заданы ориентированным графом с взвешенными дугами:

$$G = (X, Y); X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}; Y = \{y_{ij}\}; i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (2.1)$$

где ru_{ij} – вес дуги y_{ij} графа G (расстояние между вершинами y_{ij}).

Для решения задачи определения ближайшего водоисточника и пути следования пожарного автомобиля к нему от места пожара и обратно

воспользуемся алгоритмом Дейкстры. В соответствии с данным алгоритмом разработана модель поиска ближайшего водоисточника (таблица 2.2).

Для наглядной иллюстрации работы алгоритма и демонстрации возможности его практического применения при тушении пожаров ниже приведена модель пошагового определения кратчайшего маршрута к источникам противопожарного водоснабжения. Подобный формат представления позволяет проследить логику формирования маршрута и оценить корректность принимаемых решений.

Таблица 2.2 - Модель поиска кратчайшего маршрута для бесперебойной подачи воды на тушение пожара

Шаг	Краткое содержание этапа моделирования
Шаг 1	Выбирается еще не посещенный водоисточник находящийся на минимальном расстоянии ru_{ij} относительно места пожара — то есть, который находится ближе всех. На первом этапе это один из соседних водоисточников — тот, который находится ближе всего к месту пожара. Выбирается ближайший водоисточник, затем «переходим» на него и определяем уже его ближайшие соседние водоисточники.
Шаг 2	Для выбранного водоисточника осматриваются соседние, и рассчитывается длина пути до них с учетом пройденного пути. Выбирается ближайший водоисточник, затем «переходим» на него и определяем уже его ближайшие соседние водоисточники.
Шаг n	Шаги повторяются, пока на графе есть непосещенные водоисточники.
Вывод	В завершение получаем список кратчайших маршрутов ru_{ij} до каждого ближайшего водоисточника от места пожара и обратно. Для каждого маршрута указана его длина $L(Y_0)$.

Согласно разработанной модели определим кратчайшее расстояние от места пожара (вершина 1) до всех водоисточников.

Кружками обозначены водоисточники, линиями со стрелками — расстояние между ними (ребра графа) с односторонним или двусторонним движением. В кружках обозначены номера водоисточников, над ребрами обозначен их вес — длина пути. Рядом с каждой вершиной красным обозначена метка — длина кратчайшего пути к этому водоисточнику с места пожара (вершина 1).

Весы рёбер (расстояние до водоисточников, км.) представим в виде матрицы C (таблица 2.3).

В заголовках строк и столбцов находятся вершины графа. А веса дуг графа размещаются во внутренних ячейках таблицы. На графе имеется всего одна петля, поэтому на главной диагонали матрицы содержатся нулевые значения.

Таблица 2.3 – Матрица C

y	1	2	3	4	5
1	0	1	0	5	1
2	0	0	0	0	0
3	3	0	0	0	1
4	0	4	2	0	0
5	0	0	1	3	0

Моделирование поиска кратчайшего маршрута для бесперебойной подачи воды на тушение пожара.

Метка места пожара (вершина 1) принимается равной 0, метки остальных водоисточников – недостижимо большое число (в идеале – бесконечность). Данное обстоятельство говорит о том, что расстояния от места пожара (вершина 1) до других водоисточников пока неизвестны. Все вершины графа помечаются как не посещенные (рисунок 2.2).

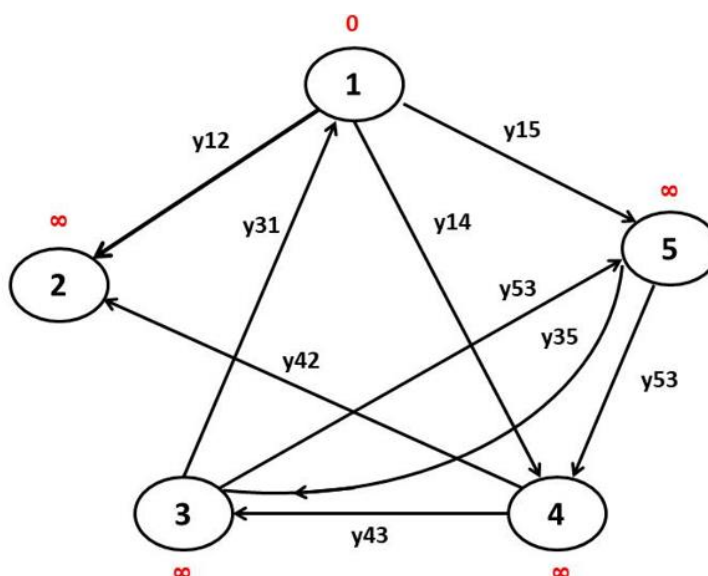


Рисунок 2.2 – Пример построения графа

Шаг первый

Как уже было ранее определено место пожара (вершина 1) имеет минимальную метку (0). Ближайшими водоисточниками имеющие прямой путь от места пожара являются вершины 2, 4 и 5. Обходим ближайшие водоисточники по очереди.

Первый ближайший водоисточник к месту пожара (вершина 1) – является вершина 2, так как расстояние до неё минимально. Расстояние до вершины 2 от места пожара (вершина 1) равно сумме кратчайшего расстояния и длины ребра, идущего из вершины 1 во 2-ю, то есть $0 + 1 = 1$. Это меньше текущей метки вершины 2 (∞), поэтому новая метка вершины 2 равна 1.

Расстояние до вершины 4 от места пожара (вершина 1) равно 5. Новая метка вершины 4 равна 5.

Расстояние до вершины 5 от места пожара (вершина 1) равно 1. Новая метка вершины 5 равна 1.

Все ближайшие водоисточники от места пожара (вершина 1) проверены. Текущее минимальное расстояние до места пожара считается окончательным и пересмотру не подлежит. Вершина 1 отмечается как посещенная.

Шаг второй

Шаг первый повторяется. Снова находим «ближайшую» из непосещенных вершин. Это вершина 2 с меткой 1. Из данной вершины нет ни одного исходящего пути, поэтому мы сразу отмечаем эту вершину как посещенную и переходим к следующей вершине с минимальной меткой.

Шаг третий

Повторяем шаг алгоритма, выбрав вершину 5. Ближайший водоисточник к вершине 5 – является вершина 3, так как расстояние до неё минимально. Расстояние до вершины 3 от вершины 5 равна сумме кратчайшего расстояния и длины ребра, идущего из вершины 5 в 3-ю, то есть $1 + 1 = 2$. Это меньше текущей метки вершины ($2 < \infty$), поэтому новая метка вершины 3 равна 2.

Расстояние до вершины 4 от вершины 5 равно 4 ($4 < 5$), тогда новая метка вершины 4 равна 4.

Согласно проведенным расчетам можем увидеть, что метка 4-ой вершины стала меньше, то есть был найден более короткий маршрут в данную вершину из вершины источника. Далее отмечаем 5-ю вершину как посещенную и выбираем следующую вершину, которая имеет минимальную метку.

Шаг четвертый

Снова пытаемся уменьшить метки ближайших водоисточников выбранной вершины, пытаясь добраться до них через 4-ю вершину. Ближайшим водоисточником вершины 4 является вершина 3. Если добираться до водоисточника (вершина 3) через вершину 4, то расстояние данного пути будет равна 6 ($4 + 2 = 6$). Однако текущая метка третьей вершины равна 2, а $2 < 6$, поэтому метка не меняется.

Шаг пятый

Остается не посещенной вершина 3. Из данной вершины исходят два пути, к вершинам 1 и 5. Однако данные вершины отмечены как посещенные, поэтому мы сразу отмечаем вершину 3 посещенной.

Выполнив все действия, получаем следующий результат (рисунок 2.3).

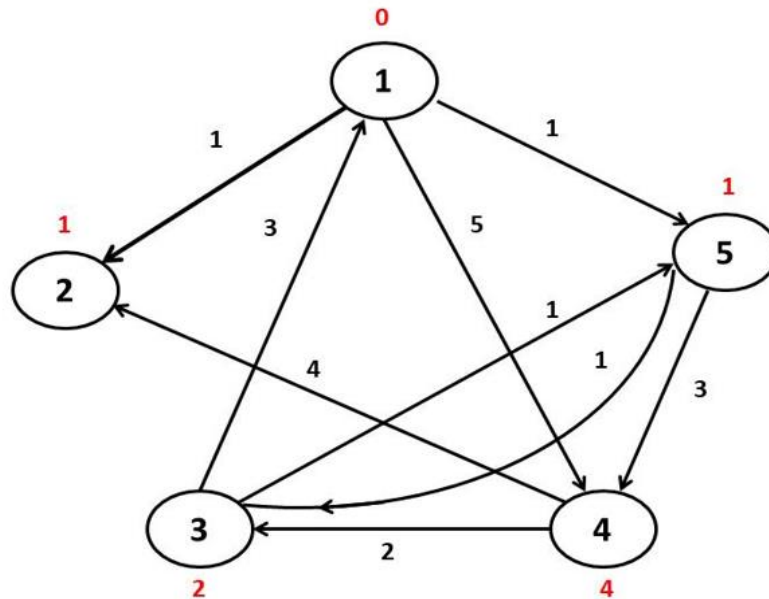


Рисунок 2.3 – Результаты проведенного моделирования

После определения весов вершин приступим к поиску кратчайшего пути от места пожара к водоисточнику и обратно к исходной точке (место пожара). Зная длину пути и направления движения для каждой вершины, рассмотрим все имеющиеся варианты.

Выберем в качестве маршрута для графа G следующие маршруты:

$$Y_1 = \langle y_{15}, y_{54}, y_{43}, y_{31} \rangle \quad (2.2)$$

$$Y_2 = \langle y_{15}, y_{53}, y_{31} \rangle \quad (2.3)$$

В данном случае суммарный вес маршрута будет равен суммарному весу дуг маршрута Y_1 :

$$L(Y_1) = y_{15} + y_{54} + y_{43} + y_{31} = 1 + 3 + 2 + 3 = 9 \quad (2.4)$$

$$L(Y_2) = y_{15} + y_{53} + y_{31} = 1 + 1 + 3 = 5 \quad (2.5)$$

Наиболее оптимальным для бесперебойной подачи воды является маршрут $L(Y_2)$. Таким образом, РТП может выбрать маршрут $L(Y_2)$ для бесперебойной подачи огнетушащих веществ на тушение пожара, а также водоисточники y_{53} и y_{31} для забора воды.

Следует отметить, что рассмотренный алгоритм ориентирован преимущественно на решение задачи обеспечения бесперебойной подачи воды по одному маршруту. Однако в условиях крупных и сложных пожаров, характеризующихся наличием нескольких участков (секторов) тушения, задача выбора источников противопожарного водоснабжения существенно усложняется и требует применения иных методов алгоритмизации.

Обоснована актуальность решаемой задачи и целесообразность использования методов теории графов для выбора кратчайшего маршрута. Разработана модель поиска кратчайшего маршрута для бесперебойной подачи воды на тушение пожара, позволяющая корректировать маршрут с учётом дорожной обстановки и исправности водоисточников.

Предложенная модель позволяет РТП оперативно принимать достоверные решения, касающиеся поиска кратчайшего маршрута для бесперебойной подачи воды на тушение пожара [11].

На крупных и сложных пожарах по решению РТП создаются участки (сектора) тушения пожаров. Для бесперебойной работы участков тушения пожаров, РТП необходимо обеспечить подачу воды на все B_j участки (сектора). В минимально короткие сроки РТП требуется определить ближайшие противопожарные водоисточники для организации подвоза воды на участки пожара с учетом требуемого расхода $Q_{тр}$. При выборе водоисточников РТП необходимо учитывать расстояние от каждого участка тушения пожара до пожарных гидрантов, способность обеспечения пожарными гидрантами необходимый расход $Q_{гидр}$ [3].

В указанных условиях решение задачи обеспечения противопожарного водоснабжения не может быть сведено к определению одного оптимального маршрута. Необходимым становится распределение водных ресурсов между несколькими участками тушения с учётом ограниченной пропускной способности источников и требуемого расхода огнетушащих веществ, что позволяет представить данную задачу в виде транспортной модели.

В целях повышения оперативности принятия решений РТП на основании теории «транспортной задачи» [11] разработан алгоритм определения ближайших водоисточников для бесперебойной подачи воды на участки тушения пожара с учетом расстояний от каждого участка тушения пожара до пожарных гидрантов и расход воды на нем $Q_{гидр}$ (рисунок 2.4) [3].

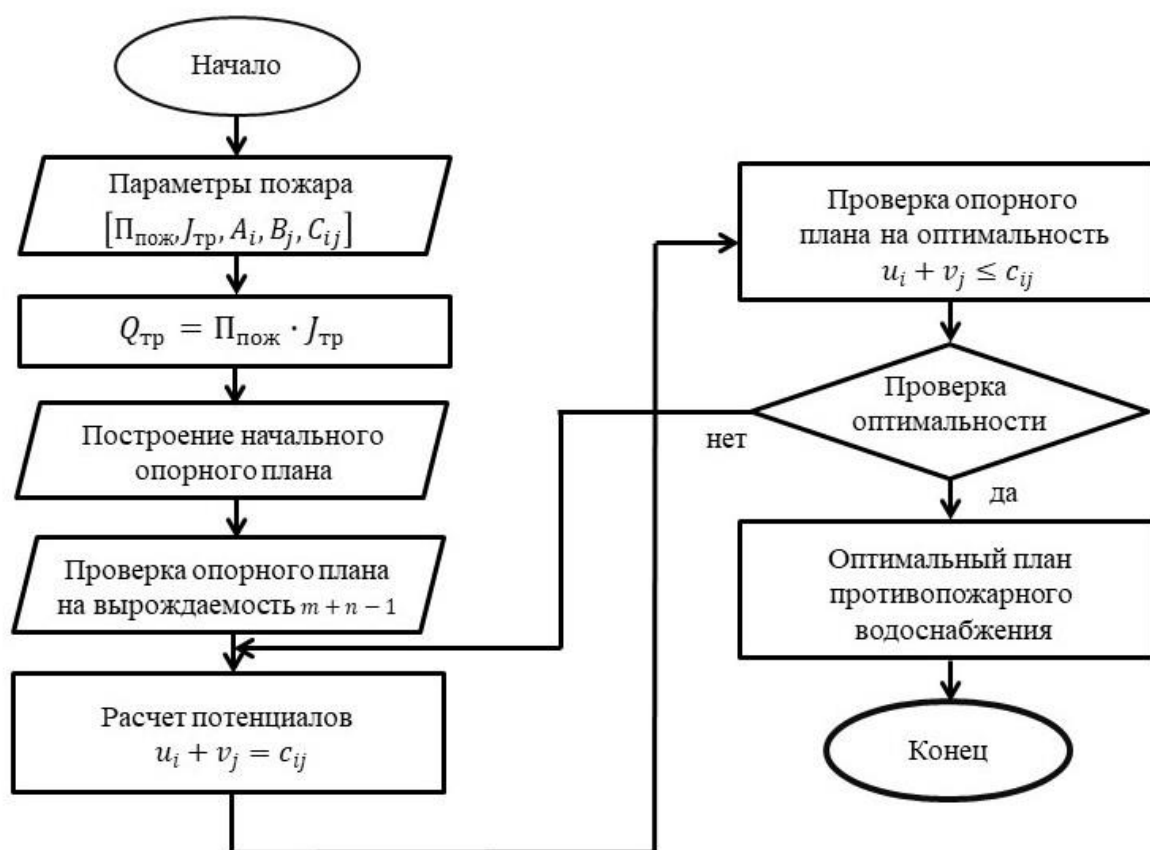


Рисунок 2.4 - Структурно-логическая схема алгоритма процесса выбора ближайшего водоемщика при возникновении крупного пожара

Представленный на рисунке 1 алгоритм реализуется в несколько этапов.

На первоначальном этапе вводятся данные $[П_{\text{пож}}, J_{\text{тр}}, A_i, B_j, C_{ij}]$ [3]:

- A_i - количество ближайших источников противопожарного водоснабжения, ед.;
- B_j - количество участков тушения пожаров, ед.;
- C_{ij} - расстояние до ближайших источников противопожарного водоснабжения, км.;
- $П_{\text{пож}}$ - параметр тушения, на который осуществляется подача огнетушащего вещества ($S_{\text{пож}}$, $P_{\text{пож}}$ площадь, м^2 и периметр, м соответственно);
- $J_{\text{тр}}$ - требуемая интенсивность подачи огнетушащих веществ для тушения пожара, $\text{л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$;
- $Q_{\text{гид}}$ - расход воды в пожарном гидранте, л/с.

На втором этапе рассчитывается требуемый расход воды на тушение пожара на каждом участке (секторе) по формуле:

$$Q_{\text{тр}} = П_{\text{пож}} \cdot J_{\text{тр}} \quad (2.5)$$

На третьем этапе строится начальный опорный план обеспечения водоснабжением B_j участков тушения пожара с учетом C_{ij} расстояний до ближайших противопожарных водоисточников A_i .

На четвертом этапе проводится проверка опорного плана на вырождаемость. План является вырожденным, если

$$N < m + n - 1 \quad (2.6)$$

где N – число заполненных клеток в таблице поставок.

При вырожденном плане вводится k фиктивных подвозов воды:

$$k = m + n - 1 - N \quad (2.7)$$

т.е. в любых k незаполненных клетках таблицы водоснабжения вписывают нулевые значения проектным параметрам c_{ij} :

$$c_{ij} = 0, (i, j) \in S \quad (2.8)$$

где S – множество пар индексов (i, j) свободных переменных, соответствующих незаполненным клеткам.

На пятом этапе проводится расчет потенциалов по загруженным клеткам таблицы водоснабжения, для которых:

$$u_i + v_j \leq c_{ij}, (i, j) \notin S \quad (2.9)$$

где u_i, v_j – потенциал i -ой строки и j -ой колонки соответственно.

Для первой строки принимают $u_1 = 0$, затем остальные потенциалы рассчитывают по загруженным клеткам в соответствии с выражением (2.7).

На шестом этапе опорный план проверяется на оптимальность по незагруженным клеткам. Если для всех незагруженных клеток выполняется условие:

$$u_i + v_j \leq c_{ij}, (i, j) \in S \quad (2.10)$$

тогда принимаем, что опорный план является оптимальным.

Оптимальное решение будет единственным, если для всех незагруженных клеток выполняется условие:

$$u_i + v_j < c_{ij}, (i, j) \in S \quad (2.11)$$

В случае если для какой-либо незагруженной клетки условие (2.8) не выполняется, то опорный план считается не оптимальным и проводится переход к следующему этапу.

На седьмом этапе проводится сравнение, если оптимальное решение найдено, переходим к следующему этапу, если нет возвращаемся к пятому этапу [2.9].

На восьмом этапе выводится оптимальный план бесперебойной подачи воды на B_j участки тушения пожара из ближайших водоисточников A_i с учетом расходов воды на гидрантах $Q_{гид}$.

Рассмотрим пример определения оптимального плана бесперебойной подачи воды для 3 участков тушения пожара из 4 ближайших пожарных гидрантов расходом $Q_{гид1}=20$ л/с., $Q_{гид2}=18$ л/с., $Q_{гид3}=15$ л/с., $Q_{гид4}=25$ л/с.

Пожар произошел на складе товарно-материальных ценностей, требуемая интенсивность подачи воды составляет $J_{тр} = 0,20$ л/(с·м²). Площадь тушения на 1 участке составляет 100 м², на 2 участке – 86 м², на 3 участке 115 м².

1. Определим требуемый расход воды на тушение пожара для каждого участка. Получим, что для 1 участка потребуется 24 л/с, для 2 участка – 17,2 л/с и 3 участка 23 л/с.

2. Зададим матрицу начального опорного плана для обеспечения бесперебойным водоснабжением 3 участков тушения пожара (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Матрица начального опорного плана

	B_1	B_2	B_3	$Q_{тр}$
A_1	0,5	0,6	0,7	20
A_2	0,8	0,9	0,58	18
A_3	0,45	0,69	0,83	15
A_4	0,75	0,8	0,85	25
$Q_{гид}$	24,0	17,2	23,0	

3. Проверим необходимое и достаточное условие разрешимости задачи.

$$\sum_{i=1}^4 a_i = 20 + 18 + 15 + 25 = 78 \quad (2.12)$$

$$\sum_{j=1}^3 b_j = 24 + 17,2 + 23 = 64,2 \quad (2.13)$$

Как видно, суммарная потребность в водоснабжении на участках тушения пожаров меньше расходов воды на гидрантах. Следовательно, модель исходной транспортной задачи является открытой. Чтобы получить закрытую модель, введем дополнительный фиктивный подвоз воды, равный 13,8 (78-64,2). Потребность в водоснабжении для данного потребителя примем равной нулю [8]. Занесем исходные данные в распределительную таблицу 2.5

Таблица 2.5 – Сравнительная таблица

	B_1	B_2	B_3	B_4	$Q_{тр}$
A_1	0,5	0,6	0,7	0	20
A_2	0,8	0,9	0,58	0	18

A_3	0,45	0,69	0,83	0	15
A_4	0,75	0,8	0,85	0	25
$Q_{зид}$	24,0	17,2	23,0	13,8	

4. Проведем расчет потенциалов u_i и v_j и по занятым клеткам таблицы, где $u_i + v_j = c_{ij}$, предполагая, что $u_1 = 0$ (таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Результаты расчета u_i и v_j

	$v_1 = 0,5$	$v_2 = 0,6$	$v_3 = 0,65$	$v_4 = -0,2$
$u_1 = 0$	0,5 [9]	0,6 [11]	0,7	0
$u_2 = -0,07$	0,8	0,9	0,58 [18]	0
$u_3 = -0,05$	0,45 [15]	0,69	0,83	0
$u_4 = 0,2$	0,75	0,8 [6,2]	0,85 [5]	0 [13,8]

5. Из таблицы 2.6 видно, что все оценки свободных клеток удовлетворяют условию $u_i + v_j \leq c_{ij}$. В связи с чем, делаем вывод, что опорный план является оптимальным.

6. В завершении получаем оптимальный план противопожарного водоснабжения трех участков тушения пожара из ближайших источников (рисунок 2.5).

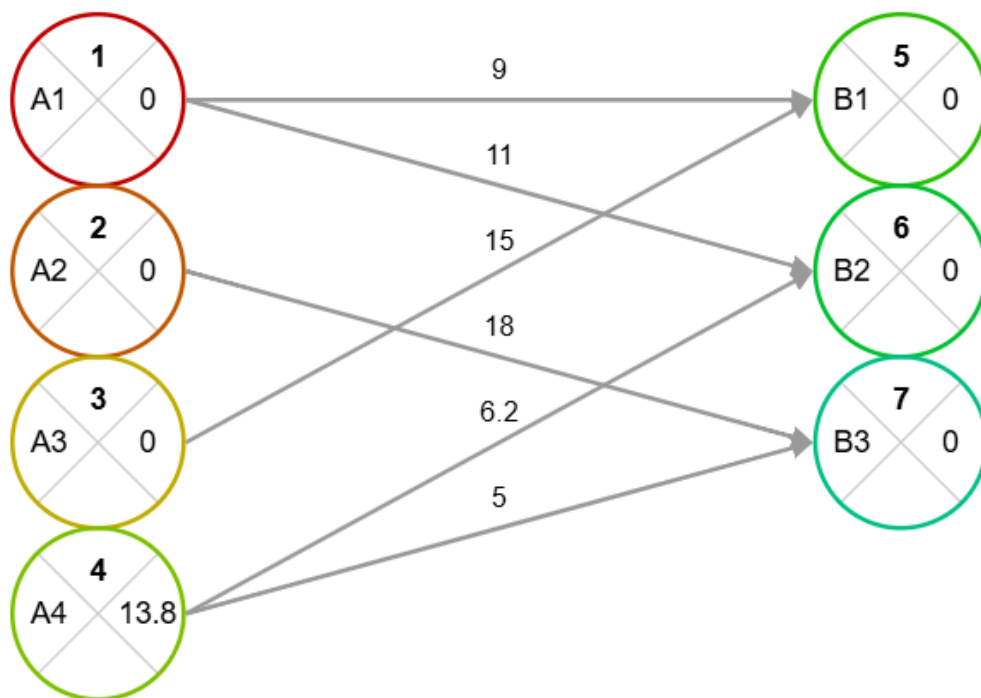


Рисунок 2.5 - Оптимальный план противопожарного водоснабжения участков тушения при возникновении крупного пожара

Из таблицы 2.6 и рисунка 2.5 видно, что в 4 пожарном гидранте имеется запас расхода воды 13,8 л/с. В случае ухудшения обстановки на пожаре РТП может направить данный запас на любой из участков тушения пожара.

Приведённый пример расчёта демонстрирует возможность практического применения транспортной модели для поддержки принятия решений при тушении крупных пожаров и подтверждает её пригодность для автоматизации процессов выбора источников противопожарного водоснабжения.

Предложенный алгоритм обеспечивает автоматизацию процесса выбора ближайшего водоисточника при возникновении крупного пожара и повышает оперативность принятия решения РТП, что позволяет снизить социально-экономические и иные последствия пожаров.

2.4. Формализация задачи автоматизации поиска источников противопожарного водоснабжения

Проведенный анализ, свидетельствуют о том, что эффективность тушения пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций в значительной степени определяется временными параметрами оперативного реагирования противопожарных подразделений, а также возможностью своевременного и бесперебойного обеспечения подачи огнетушащих веществ. При этом ключевым фактором, оказывающим влияние на продолжительность развертывания сил и средств, является поиск доступных источников противопожарного водоснабжения и выбор оптимальных маршрутов следования к ним.

Анализ существующих методов и алгоритмов показал, что традиционные средства информационного обеспечения, включая планшеты водоисточников и статические картографические материалы, не в полной мере отвечают современным требованиям оперативности, адаптивности и точности принимаемых решений. Ограниченность данных средств особенно проявляется в условиях динамично изменяющейся обстановки, характерной для крупных пожаров и чрезвычайных ситуаций, когда дорожная ситуация, доступность водоисточников и параметры тушения могут изменяться в процессе проведения боевых действий.

В этой связи актуальной является задача перехода от частных алгоритмических решений к комплексной автоматизированной системе, обеспечивающей поддержку принятия решений руководителем тушения пожара на основе интеграции геоинформационных данных, алгоритмов оптимизации маршрутов и моделей распределения водных ресурсов. Такая система должна обеспечивать автоматизированный поиск источников противопожарного водоснабжения, определение оптимальных маршрутов движения пожарной техники и формирование рекомендаций по организации бесперебойной подачи воды в очаг пожара.

Эффективность автоматизации процессов поиска источников противопожарного водоснабжения в значительной степени определяется качеством и полнотой исходных данных, используемых при формировании алгоритмических решений. В условиях реальной эксплуатации источники

противопожарного водоснабжения не могут рассматриваться как однородные и постоянно доступные объекты, поскольку их фактическое техническое состояние подвержено влиянию конструктивных, эксплуатационных, сезонных и организационных факторов.

Практика деятельности противопожарных подразделений показывает, что при тушении пожаров значительное число временных потерь связано не столько с отсутствием источников водоснабжения, сколько с их ограниченной или нулевой работоспособностью в конкретный момент времени. К таким ограничениям относятся неисправности пожарных гидрантов, затопление или заиливание пожарных водоёмов, отсутствие подъездных путей, замерзание стояков, а также отключение отдельных участков водопроводной сети. Указанные обстоятельства обуславливают необходимость формализованного учёта эксплуатационного состояния источников противопожарного водоснабжения при автоматизированной поддержке принятия решений.

В подразделениях противопожарной службы для унифицированной оценки технического состояния пожарных гидрантов и водоисточников применяется система кодирования эксплуатационных состояний, позволяющая в сжатом и формализованном виде зафиксировать характер выявленных неисправностей. Данная система используется при проведении проверок, оперативном учёте и планировании мероприятий по обеспечению противопожарного водоснабжения и представляет собой основу для цифрового описания состояния источников воды.

В таблице 2.7 приведены коды состояния пожарных гидрантов и водоисточников, применяемые в подразделениях противопожарной службы.

Таблица 2.7 – Коды состояния пожарных гидрантов и водоисточников, применяемые в подразделениях противопожарной службы

№ кода	Характер неисправности
0	Исправен
1	Сорван шток
2	Шток не проворачивается
3	Шток занижен
4	Шток завышен
5	Шток отсутствует
6	Пропускает воду
7	Грани штока сорваны
8	Размер штока нестандартный
9	Резьба установочной головки сорвана
10	Откидная крышка не открывается
11	Откидная крышка отсутствует
12	Установочная головка заглушена деревянной заглушкой
13	Установочная головка заглушена металлической заглушкой
14	Стояк занижен

15	Стояк завышен
16	Стояк смещён
17	Стояк не закреплён
18	Стояк засорён
19	Стояк заморожен
20	Стояк снят (демонтирован)
21	Спускное отверстие забито
22	Гидрант отключён от сети
23	Гидрант не найден
24	В сети отсутствует вода
25	Колодец с гидрантом затоплен
26	Колодец с гидрантом засыпан грунтом
27	Крышка колодца с гидрантом заасфальтирована
28	Крышка колодца с гидрантом засыпана грунтом
29	Крышка колодца с гидрантом отсутствует
30	Крышка с кольцом колодца отсутствует
31	Указатель отсутствует
32	Отсутствуют подъездные пути (касаемо водоёмов)
Характер неисправности водоёмов	
33	Водоём негерметичен
34	Водоём не заполнен
35	Водоём заполнен не полностью
36	Перекрытие водоёма обрушено

Использование системы кодирования позволяет перейти от качественного описания состояния источников водоснабжения к количественно и логически формализованному представлению, пригодному для автоматизированной обработки. С точки зрения информационного моделирования каждый источник противопожарного водоснабжения может быть представлен в виде объекта с набором атрибутов, включающих координаты, тип источника, пропускную способность, а также код эксплуатационного состояния.

С учётом практических задач автоматизации коды состояния целесообразно условно разделить на несколько функциональных групп. К первой группе относятся коды, однозначно исключающие возможность использования источника противопожарного водоснабжения при тушении пожара (например, отсутствие воды в сети, отключение гидранта от водопроводной сети, демонтаж стояка). Ко второй группе относятся коды, характеризующие ограниченную или условную работоспособность источника, допускающую его использование при наличии дополнительных мероприятий или временных затрат (засорение, затопление колодца, затруднённый доступ). Третью группу составляют коды, отражающие информационные и организационные нарушения, которые не влияют напрямую на подачу воды, но осложняют поиск и идентификацию источника.

Такое разделение имеет принципиальное значение для последующей алгоритмизации процесса выбора источников противопожарного водоснабжения. В рамках автоматизированной системы коды состояния могут использоваться в качестве ограничений или весовых коэффициентов при формировании графовой модели, а также при построении оптимальных маршрутов и распределении водных ресурсов между участками тушения пожара. Источники, имеющие критические коды состояния, автоматически исключаются из рассмотрения, тогда как источники с ограниченной работоспособностью могут включаться в расчёт с учётом дополнительных временных или тактических факторов.

Формализация эксплуатационного состояния источников противопожарного водоснабжения на основе системы кодирования создаёт основу для интеграции данных эксплуатационного учёта с геоинформационными и алгоритмическими компонентами автоматизированной системы. Это позволяет обеспечить переход от статических карт и планшетов водоисточников к динамической цифровой модели, отражающей фактическую готовность источников водоснабжения к использованию в условиях пожара.

2.5. Алгоритмическая реализация метода дерева решений при выборе источников противопожарного водоснабжения

В условиях реальной оперативной обстановки принятие решений руководителем тушения пожара осуществляется при наличии множества альтернатив и факторов, не всегда поддающихся строгой количественной оценке.

В этой связи в рамках настоящего исследования реализован алгоритмический подход, основанный на использовании метода дерева решений, позволяющего формализовать процесс выбора источников противопожарного водоснабжения с учётом совокупности количественных и качественных параметров, а также сценариев развития обстановки на пожаре.

При решении вопросов обеспечения пожарной безопасности, учета источников противопожарного водоснабжения, кроме информации о характеристиках и местоположении необходима точная информация об их исправности, состоянии подземных путей и городской инфраструктуры.

Все это определяет необходимость автоматизации определения ближайшего водоисточника и пути следования пожарного автомобиля к нему от места пожара и обратно для бесперебойной подачи воды на тушение пожара и ликвидации чрезвычайной ситуации путем.

Применение формализованной информации в цифровом представлении позволяет создавать базы данных и автоматизировать процесс поиска ближайших источников противопожарного. Использование такого подхода открывает широкие возможности по представлению результирующей информации в виде перечней водоисточников и пути следования пожарного автомобиля на электронных носителях. В зависимости от потребностей

конкретных пользователей, представление конечной информации легко может быть изменено, что делает их гибким и удобным инструментом.

Известны программные продукты для работы с источниками противопожарного водоснабжения.

Карта 01, система разработана на платформе бесплатного ГИС-сервиса на основе wiki-технологии, Open Street Map (OSM). Редактирование осуществляется посредством собственных инструментов интернет-проекта OSM. Отличительной особенностью системы является возможность автоматического формирования планшетов водоисточников [12].

Следующая система - электронная система учёта противопожарного водоснабжения). ГИС-основа – карты Google MyMaps. Хранение и редактирование данных осуществляется посредством электронных таблиц MS Excel. Отличает систему гибкость применения – в случае необходимости любой пользователь, знакомый с работой приложения MS Excel, может легко адаптировать электронные таблицы под свои нужды [12].

EWS (External Water Source), система основа – бесплатно-распространяемое приложение 2ГИС. Система позволяет не только размещать условные обозначения источников противопожарного водоснабжения, но и вести учёт их применения и проверок. Основной режим работы – офлайн. Отличительной особенностью данной системы является использование приложения 2ГИС, которое, в отличие от любых других ГИС-систем, позволяет не только легко пользоваться картографическими данными, но и имеет собственную базу данных [13].

Известна также из описания к патенту РФ №18586 [14] взятая за прототип геоинформационная система, которая содержит средства коммуникаций, системное программное и прикладное программное обеспечение, базу метаданных, базы геопространственных данных, средства управления приемом и выполнением заявок потребителей, администрации и средства отображения и документирования, причем средство управления приемом и выполнением заявок выполнено в виде ядра системы, выходы и входы которого подсоединены к средствам коммуникаций, системному и программному обеспечению, средствам отображения и документирования, а также к базе метаданных и базе геопространственных данных, объединенных в одну подсистему.

Недостатками известных систем являются отсутствие процесса поиска кратчайшего пути следования пожарного автомобиля от места пожара к источнику противопожарного водоснабжения и обратно с учетом загруженности и исправности дорожной сети.

В целях повышения оперативности бесперебойного водоснабжения на месте пожара, а также автоматизации процесса предлагается использовать метод дерева решений [14].

Дерево решений - графическое изображение ситуации принятия решений, схема, показывающая альтернативные действия и их последствия [14]. Дерево решений является полезный инструмент принятия решений. Оно

помогает сформировать наглядную картину потерь и выгод, связанных с каждым возможным образом действий.

Дерево решений состоит из следующих компонент [14]:

- одна начальная вершина;
- для каждой вершины, кроме конечных, указываются возможные действия - ветви, исходящие из этой вершины;
- в каждой из конечных вершин указываются исходы или же выигрыши.

С помощью дерева удобно описывать ситуации, когда решения принимаются последовательно, в динамике.

В подобных динамических играх проявляется различие между действием и стратегией. Стратегия - полный план действий, который должен предусматривать выбор некоторых действий в каждой из возможных ситуаций, возникающих в процессе принятия решения [8].

На рисунке 2.6 изображена дорожная сеть. Рядом с каждой дорогой указано время пути в минутах. Требуется проехать от места пожара пункт *a* к пожарному гидранту в пункт *e* за кратчайшее время. Для решения этой задачи построим соответствующее дерево решений.

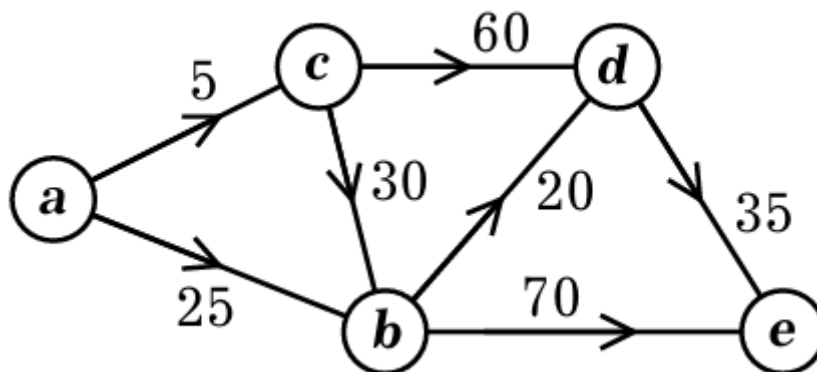


Рисунок 2.6 - Дорожная сеть для задачи о кратчайшем пути от места пожара *a* до ближайшего пожарного гидранта *e*

Для упрощения выберем только те направления движения, которые имеет смысл использовать. Они показаны на рисунке 2.6 стрелками. Например, не имеет смысла двигаться из *b* в пункт *c*, поскольку в *c* можно быстро, за 5 мин., попасть сразу из *a*. Если двигаться только в направлении стрелок, то маршрут не будет содержать петель, так что дерево решений оказывается конечным.

Дерево решений указанной задачи показано на рисунке 2.7

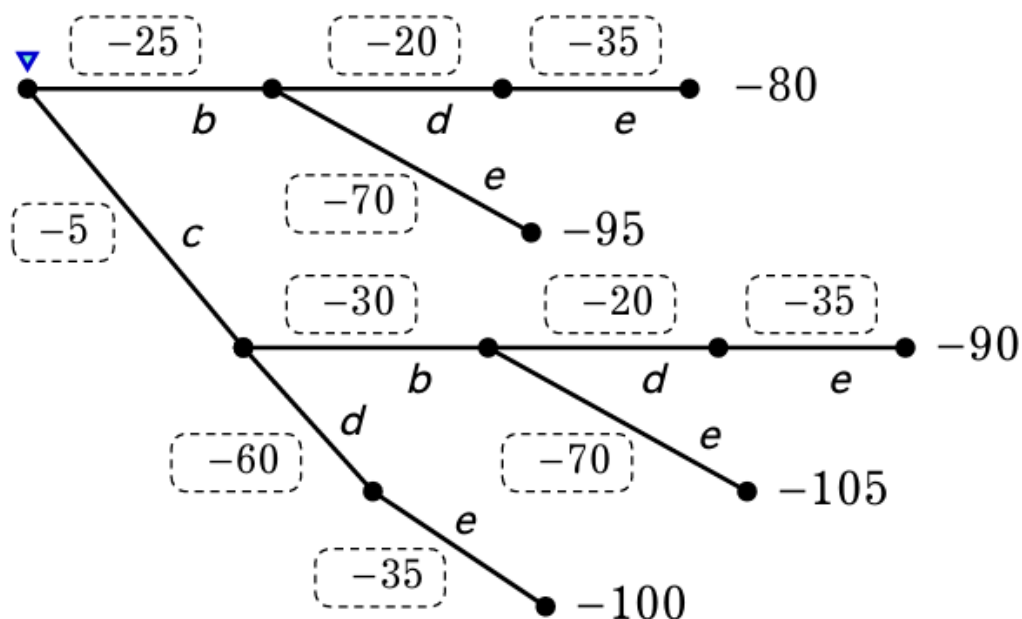


Рисунок 2.7 - Дерево решений для задачи о кратчайшем пути к пожарному гидранту

Дерево строится следующим образом. Двигаемся от пункта *a*. При этом мы можем поехать либо в пункт *b*, либо в пункт *c*. Поэтому из начальной вершины дерева выходят две ветви, помеченные как *b* и *c*. Если мы выберем *b*, то окажемся в пункте *b*, откуда сможем поехать, либо в пункт *d*, либо в пункт *e*. Из соответствующей вершины выходят две ветви, помеченные как *d* и *e*. Продолжая эти рассуждения, получим все дерево. Рядом с ветвями записаны приросты времени движения со знаком минус. Суммируя данные числа, получим данные по времени следования. Данные по времени следования отрицательны, поскольку мы стремимся сделать время как можно меньшим. Если, например, из *a* мы поехали в *b*, затем в *d*, затем в *e*, то в сумме затратим на маршрут $(25+20+35)$ мин., так что выигрыш составит - 80.

Дерево несколько упрощено за счет того, что выбор пути из *b* в *e* через *d* помечен как *d,e*. В вершине 4 из *e* и *d,e* следует выбрать *d,e* ($-90 > -105$). В вершине 2 из *e* и *d,e* следует выбрать *d,e* ($-80 > -95$). В вершине 3 из *b* и *d,e* следует выбрать *b* ($-90 > -100$). В вершине 1 из *b* и *c* следует выбрать *b* ($-80 > -90$).

Таким образом, наименьшее время пути равно 80. Из *a* следует поехать в *b*, затем в *d* и затем в *e*.

На рисунке 2.8 данный метод отражен с помощью дополнительных графических обозначений. Действия, которые не будут выбраны, перечеркнуты. Оптимальные действия помечены жирным пунктиром. Соответственно, оптимальный путь движения состоит из тех ветвей, помеченных жирным пунктиром, которые идут друг за другом из начальной вершины [9].

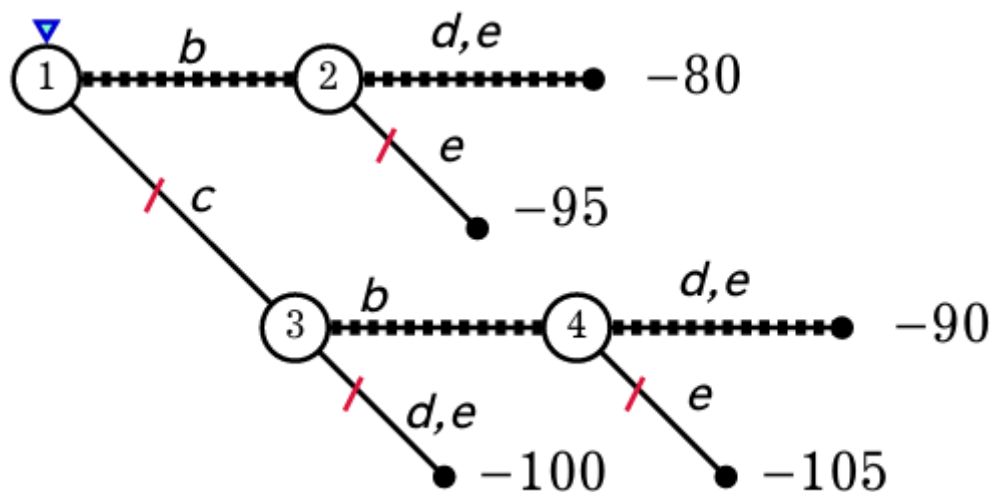


Рисунок 2.8 – Кратчайший путь от места пожара до противопожарного водоисточника

Найденный кратчайший путь следования от места пожара к водоисточнику можно описать следующим образом:

- из *a* ехать в *b*;
- если в *b* попали из *a*, то ехать в *d* и далее в *e*;
- из *c* ехать в *b*;
- если в *b* попали из *c*, то ехать в *d* и далее в *e*.

В данной стратегии есть избыточность, связанная с представлением задачи в виде дерева. Такое представление носит несколько искусственный характер. Можно было просто написать «из *b* ехать в *d* и далее в *e*».

Рассмотренная методика, называется динамическим программированием. В теории игр она известна как обратная индукция.

Методика поиска кратчайшего пути следования от места пожара до ближайшего водоисточника в целях организации бесперебойной подачи воды на тушение пожара.

Приведённый алгоритм на основе метода дерева решений дополняет ранее рассмотренные методы оптимизации маршрутов и распределения водных ресурсов и может использоваться как самостоятельный механизм поддержки принятия решений, так и в составе комплексной автоматизированной системы. Реализация данного алгоритма в программном продукте позволяет повысить адаптивность и обоснованность принимаемых решений при тушении пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

2.6. Сравнительный анализ алгоритмических подходов и обоснование выбора решений для программной реализации

В рамках исследования рассмотрены различные алгоритмические подходы к решению задачи автоматизированного выбора источников противопожарного водоснабжения и маршрутов следования пожарной техники, включая графовые методы поиска кратчайших путей, методы распределения водных ресурсов на основе транспортной задачи, а также метод

дерева решений. Каждый из указанных подходов ориентирован на решение определённого класса задач и обладает специфическими преимуществами и ограничениями, что обуславливает необходимость их сравнительного анализа и обоснованного выбора для последующей программной реализации.

Графовые методы, в частности алгоритм Дейкстры, характеризуются высокой вычислительной эффективностью и хорошо подходят для решения задач поиска кратчайших маршрутов в улично-дорожной сети. Их основным преимуществом является возможность оперативного определения оптимального пути при наличии формализованной топологии сети и заданных весов рёбер. Вместе с тем данные методы ориентированы преимущественно на оптимизацию пространственно-временных параметров и не учитывают в явном виде эксплуатационное состояние источников противопожарного водоснабжения, а также необходимость оценки альтернативных сценариев развития обстановки.

Методы распределения водных ресурсов, основанные на решении транспортной задачи, позволяют формализовать процесс обеспечения бесперебойной подачи воды на несколько участков тушения пожара с учётом ограниченной пропускной способности источников водоснабжения. Данный подход обеспечивает комплексный учёт расходных характеристик и позволяет выявлять резервы водоснабжения, что особенно важно при тушении крупных и сложных пожаров. Однако использование транспортной модели требует наличия достаточно полного и достоверного набора исходных данных и характеризуется большей вычислительной сложностью по сравнению с маршрутными алгоритмами.

Метод дерева решений, ориентирован на поддержку принятия решений в условиях неопределённости и позволяет учитывать как количественные, так и качественные факторы, включая эксплуатационное состояние источников водоснабжения, доступность подъездных путей и возможность резервирования ресурсов. Его основным преимуществом является гибкость и адаптивность, обеспечивающая возможность оперативной корректировки алгоритма при изменении тактической обстановки. В то же время эффективность метода дерева решений в значительной степени зависит от корректности выбора критериев, структуры дерева и весовых коэффициентов, что требует предварительной экспертной настройки.

Сравнительный анализ показывает, что ни один из рассмотренных алгоритмических подходов не может быть признан универсальным и достаточным для решения всей совокупности задач автоматизированного обеспечения противопожарного водоснабжения. Графовые методы обеспечивают оперативность и точность маршрутных расчётов, транспортная задача позволяет решать задачи распределения ресурсов, а метод дерева решений формализует логическую составляющую процесса принятия решений. В связи с этим в рамках настоящего исследования принят комплексный подход, предусматривающий использование указанных методов в совокупности.

При выборе алгоритмических решений для программной реализации в составе автоматизированной системы поиска источников противопожарного водоснабжения в качестве базовых были приняты следующие критерии: оперативность вычислений, адаптивность к изменению исходных данных, возможность интеграции с геоинформационными системами и наглядность представления результатов для пользователя. Указанные критерии обусловлены спецификой деятельности противопожарных подразделений и требованиями к системам поддержки принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций.

С учётом данных критериев в качестве основы программной реализации выбраны графовые методы поиска оптимальных маршрутов в сочетании с механизмами фильтрации источников водоснабжения по эксплуатационному состоянию и логическими правилами принятия решений, реализованными на основе метода дерева решений. Методы распределения водных ресурсов рассматриваются как расширение функциональных возможностей системы и применяются при решении задач обеспечения водоснабжения на нескольких участках тушения пожара.

Таким образом, выбор алгоритмических решений для программной реализации обоснован необходимостью комплексного учёта пространственных, эксплуатационных и тактических факторов, а также требованиями к оперативности и надёжности функционирования автоматизированной системы. Рассмотренные в настоящей главе алгоритмы формируют методологическую и вычислительную основу программного продукта, описание архитектуры и функциональных возможностей которого приведено в следующей главе монографии.

3. Разработка и реализация программного продукта Geohydrants

В предыдущих главах были рассмотрены теоретические основы противопожарного водоснабжения, проанализированы факторы, влияющие на оперативность реагирования противопожарных подразделений, а также разработаны и обоснованы алгоритмические методы выбора источников водоснабжения и маршрутов следования пожарной техники. Полученные в ходе исследования результаты позволили сформировать научно-методическую базу для перехода к практической реализации автоматизированной системы поддержки оперативных действий противопожарных подразделений.

Актуальность программной реализации обусловлена тем, что существующие средства информационного обеспечения, применяемые в практике противопожарных служб, не в полной мере отвечают современным требованиям к оперативности, адаптивности и достоверности информации. Используемые планшеты водоисточников и статические картографические материалы не обеспечивают учёт динамических факторов оперативной обстановки, фактического состояния источников противопожарного водоснабжения и особенностей улично-дорожной сети. В условиях ограниченного времени на принятие решений данные ограничения могут приводить к увеличению продолжительности боевого развертывания и снижению эффективности тушения пожаров.

В этой связи в рамках настоящего исследования разработан программный продукт, ориентированный на автоматизацию процессов поиска источников противопожарного водоснабжения, определения оптимальных маршрутов следования пожарной техники и визуализации информации для пользователя в условиях чрезвычайных ситуаций. Программная система предназначена для использования личным составом противопожарных подразделений непосредственно при выполнении боевых задач и ориентирована на снижение временных затрат и повышение обоснованности принимаемых решений.

Разработка программного продукта осуществлялась с учётом требований к надёжности, устойчивости и масштабируемости, а также возможности интеграции с геоинформационными сервисами, базами данных эксплуатационного контроля и перспективными средствами визуализации информации. Особое внимание уделялось вопросам эргономики пользовательского интерфейса, минимизации когнитивной нагрузки и адаптации программной системы к условиям реальной оперативной обстановки.

В настоящей главе представлено описание требований к программной системе, архитектуры автоматизированной системы поиска источников противопожарного водоснабжения, реализованных алгоритмов и программных модулей, а также рассмотрены вопросы использования технологий дополненной реальности и результаты тестирования

программного продукта. Изложенные материалы отражают практическую реализацию результатов научно-исследовательской работы и служат основанием для оценки эффективности предложенного подхода и перспектив его внедрения в деятельность противопожарных подразделений.

3.1. Требования к программной системе и обоснование выбора технологий автоматизации

Разработка программного продукта, предназначенного для автоматизации процессов поиска источников противопожарного водоснабжения и поддержки оперативных действий противопожарных подразделений, требует предварительного формирования системы требований, отражающих специфику деятельности в условиях чрезвычайных ситуаций. В отличие от информационных систем общего назначения, программные средства, применяемые при тушении пожаров, должны функционировать в условиях жёстких временных ограничений, неполноты исходной информации и повышенной тактической нагрузки на личный состав.

Анализ существующих программных средств и технологий автоматизации, применяемых для обеспечения противопожарного водоснабжения, показал, что большинство решений ориентировано либо на этап проектирования, либо на диспетчерское управление и не предназначено для непосредственного использования личным составом противопожарных подразделений в условиях пожара. Сравнительный анализ указанных решений представлен в таблице 3.1 [62].

Таблица 3.1 - Сравнительный анализ указанных решений

Программный продукт	Описание	Преимущества	Недостатки	Возможности интеграции
ArcGIS	Коммерческая ГИС-система для анализа и визуализации пространственных данных	Высокая точность картографии, мощные аналитические инструменты, интеграция с другими системами	Высокая стоимость, требуется обучение для эффективного использования	Интеграция с FireFlow, InfoWater, сторонними ГИС и SCADA-системами
QGIS	ГИС-система с открытым исходным кодом для анализа геоданных	Бесплатность, гибкость, поддержка множества форматов данных и плагинов	Ограниченная поддержка сложных задач по сравнению с коммерческими продуктами	Широкая поддержка интеграции через плагины и открытый исходный код
AutoCAD Map 3D	ГИС-инструмент, интегрированный с AutoCAD для инженерных и геопространственных решений	Интеграция с AutoCAD, поддержка инженерных проектов, 3D-визуализация	Требуется лицензия AutoCAD, ограниченная функциональность по	Интеграция с продуктами AutoCAD и сторонними инженерными системами

			сравнению с полными ГИС-системами	
FireFlow	Программное обеспечение для моделирования гидравлических характеристик водопроводных сетей	Учет гидравлических параметров, планирование и моделирование чрезвычайных ситуаций	Требует данных о водопроводной сети, ограничена задачами гидравлики	Интеграция с ГИС и SCADA-системами для комплексного анализа
WaterCADD	Инструмент для моделирования и анализа водопроводных систем	Мощные инструменты анализа водоснабжения, интеграция с ГИС и другими системами	Высокая стоимость, требуется обучение и специализированные навыки	Интеграция с ArcGIS и другими системами управления водоснабжением
InfoWater	Программное решение для анализа и моделирования водопроводных сетей, интегрированное с ГИС	Высокая точность моделирования, поддержка анализа сценариев аварий и проектирования	Высокая стоимость, требуется обучение и специализированные навыки	Интеграция с ArcGIS, SCADA, поддержка IoT-устройств для мониторинга

Представленные в таблице данные подтверждают отсутствие комплексных программных решений, сочетающих автоматизированный поиск источников противопожарного водоснабжения, учёт их эксплуатационного состояния, маршрутизацию и визуализацию информации для пользователя в условиях чрезвычайных ситуаций. Данное обстоятельство послужило основанием для разработки специализированного программного продукта, ориентированного на практическое применение в деятельности противопожарных подразделений.

К числу основных функциональных требований к разрабатываемой программной системе относятся: автоматизированное определение ближайших источников противопожарного водоснабжения; визуализация маршрутов движения пожарной техники с учётом характеристик улично-дорожной сети; фильтрация источников воды по эксплуатационному состоянию; возможность оперативного пересчёта маршрутов при изменении условий движения; а также интуитивно понятное представление информации пользователю в условиях ограниченной видимости и высокой психоэмоциональной нагрузки.

Не менее важными являются нефункциональные требования, к которым относятся высокая надёжность работы программного продукта, устойчивость к отказам отдельных компонентов, минимальное время отклика, автономность функционирования при временном отсутствии сетевого соединения, а также

возможность масштабирования системы на территории различных населённых пунктов. Указанные требования обусловлены спецификой эксплуатации программного продукта в составе противопожарных подразделений и необходимостью его применения непосредственно в ходе боевых действий.

Анализ современных подходов к автоматизации процессов обеспечения противопожарного водоснабжения, выполненный в ранее опубликованных исследованиях, показывает, что в практике используются различные классы технологий, включая геоинформационные системы, специализированные гидравлические программные комплексы, системы мониторинга инженерных сетей и элементы интеллектуального анализа данных. Однако большинство существующих решений ориентированы либо на этап проектирования систем водоснабжения, либо на диспетчерское управление, и в ограниченной степени приспособлены для непосредственного использования личным составом противопожарных подразделений в условиях пожара.

Особое место в системе требований занимает требование к актуальности и достоверности информации. Используемые в настоящее время планшеты водоисточников, представляющие собой статические карты местности с нанесёнными элементами противопожарного водоснабжения, не обеспечивают обновление данных в режиме реального времени и не учитывают фактическое состояние гидрантов и водоёмов, дорожные ограничения и сезонные факторы. Это существенно снижает эффективность их применения и обуславливает необходимость перехода к цифровым системам, интегрированным с геоинформационными сервисами и базами данных эксплуатационного контроля.

С учётом выявленных ограничений в рамках настоящего исследования была выбрана концепция программной системы, основанной на комплексном использовании геоинформационных технологий, средств спутникового позиционирования и технологий дополненной реальности. Применение геоинформационных систем позволяет обеспечить пространственную привязку источников противопожарного водоснабжения, маршрутов движения пожарной техники и элементов улично-дорожной сети, а также реализовать алгоритмы пространственного анализа и оптимизации маршрутов. Интеграция с системами глобального позиционирования обеспечивает определение текущего местоположения пользователя и автоматическую адаптацию отображаемой информации к его перемещению.

Использование технологий дополненной реальности рассматривается как один из ключевых элементов повышения эффективности восприятия информации. В отличие от традиционных картографических интерфейсов, технологии AR позволяют визуализировать расположение пожарных гидрантов и направлений движения непосредственно в поле зрения пользователя, что особенно важно в условиях задымления, ночного времени суток и плотной городской застройки. Анализ перспектив использования технологий автоматизации показывает, что применение AR-подходов позволяет снизить когнитивную нагрузку на личный состав и сократить время

поиска источников противопожарного водоснабжения на завершающем этапе боевого развертывания.

При выборе технологической платформы для реализации программного продукта учитывались требования к кроссплатформенности, производительности и возможности интеграции с внешними сервисами. Архитектура системы ориентирована на модульный принцип построения, предусматривающий разделение функциональности на независимые компоненты, что обеспечивает гибкость дальнейшего развития и упрощает сопровождение программного продукта [63,67]. В качестве базовых технологий используются мобильные платформы, облачные сервисы хранения данных, а также специализированные сервисы маршрутизации и картографической визуализации [68].

Таким образом, сформулированные требования к программной системе и обоснование выбора технологий автоматизации определяют концептуальные основы разработки программного продукта, направленного на повышение эффективности оперативных действий противопожарных подразделений. Изложенные положения служат методологической основой для проектирования архитектуры автоматизированной системы и её программной реализации, которые рассматриваются в последующих параграфах настоящей главы.

3.2. Архитектура автоматизированной системы поиска источников противопожарного водоснабжения

Архитектура автоматизированной системы поиска источников противопожарного водоснабжения определяет принципы построения программного продукта, структуру его компонентов и характер взаимодействия между ними. При разработке архитектуры учитывались требования, сформулированные ранее указанные требования, а также особенности эксплуатации системы в условиях чрезвычайных ситуаций, включая необходимость высокой надёжности, минимального времени отклика и устойчивости к изменяющимся условиям внешней среды.

В основу проектирования положен модульный принцип построения архитектуры, предусматривающий разделение программного продукта на логически независимые, но функционально взаимосвязанные компоненты [69]. Такой подход обеспечивает гибкость системы, возможность поэтапного расширения функционала и упрощение сопровождения программного продукта при его внедрении и эксплуатации в подразделениях противопожарной службы.

В обобщённом виде архитектура автоматизированной системы включает клиентский уровень, серверный уровень и уровень данных. Клиентский уровень представлен мобильным приложением, предназначенным для использования личным составом противопожарных подразделений. Серверный уровень обеспечивает обработку запросов, доступ к базам данных и взаимодействие с внешними сервисами. Уровень данных включает

хранилища информации о источниках противопожарного водоснабжения, их эксплуатационном состоянии и вспомогательные справочные данные.

Клиентский уровень системы реализован в виде мобильного приложения, функционирующего на устройствах с поддержкой спутникового позиционирования и датчиков ориентации. Основной задачей данного уровня является обеспечение взаимодействия пользователя с системой, визуализация картографической информации, отображение маршрутов следования и реализация функций дополненной реальности [67]. Особое внимание при проектировании клиентского уровня уделялось эргономике интерфейса и минимизации количества действий, необходимых для получения пользователем требуемой информации.

Серверный уровень архитектуры выполняет функции централизованной обработки данных и логики принятия решений. На данном уровне реализуются механизмы хранения и актуализации информации о источниках противопожарного водоснабжения, фильтрация данных по эксплуатационному состоянию, а также подготовка информации для передачи на клиентские устройства. Использование серверного уровня позволяет обеспечить единое информационное пространство и синхронизацию данных между различными пользователями системы.

Уровень данных включает структурированные базы данных, содержащие сведения о расположении источников противопожарного водоснабжения, их технических характеристиках и кодах эксплуатационного состояния. Данные хранятся в формате, обеспечивающем возможность пространственной обработки и интеграции с геоинформационными сервисами. При проектировании структуры данных учитывалась необходимость оперативного обновления информации по результатам эксплуатационного контроля и выездов подразделений противопожарной службы.

Для обеспечения маршрутизации пожарной техники архитектура системы предусматривает интеграцию с внешними картографическими и навигационными сервисами. Такой подход позволяет использовать актуальные данные о дорожной сети, учитывать ограничения движения и оперативно пересчитывать маршруты при изменении дорожной обстановки. При этом вычислительная логика маршрутизации логически отделена от клиентского уровня, что повышает устойчивость системы и снижает нагрузку на мобильные устройства.

Важным элементом архитектуры является подсистема визуализации с использованием технологий дополненной реальности. Данная подсистема интегрирована с клиентским уровнем и использует данные спутникового позиционирования, ориентации устройства и пространственные координаты источников водоснабжения. Архитектурное разделение модулей визуализации и обработки данных позволяет независимо развивать AR-функционал без изменения базовой логики системы [71].

Для повышения надёжности функционирования программного продукта архитектура предусматривает механизмы обработки ошибок, кэширования

данных и частичной автономной работы клиентского приложения. В случае временного отсутствия сетевого соединения пользователь сохраняет доступ к ранее загруженной информации о источниках водоснабжения и может использовать базовые функции системы до восстановления связи с сервером.

В целом предложенная архитектура автоматизированной системы поиска источников противопожарного водоснабжения обеспечивает баланс между функциональной насыщенностью, надёжностью и производительностью. Модульный характер построения системы создаёт предпосылки для её масштабирования и адаптации к условиям различных населённых пунктов, а также для интеграции с перспективными информационными системами органов гражданской защиты.

3.3. Реализация моделей данных и интеграция с базами данных

Эффективное функционирование программного продукта, предназначенного для автоматизированного поиска источников противопожарного водоснабжения, невозможно без формализованного представления данных и их структурированной обработки. В этой связи одним из ключевых этапов разработки является построение моделей данных, обеспечивающих хранение, актуализацию и использование информации в процессе оперативного реагирования противопожарных подразделений.

В основу проектирования моделей данных положен объектно-ориентированный подход, позволяющий представить элементы противопожарного водоснабжения, дорожной сети и оперативной обстановки в виде совокупности взаимосвязанных сущностей [64]. Каждая сущность описывается набором атрибутов, необходимых для работы алгоритмов маршрутизации, фильтрации и визуализации информации.

Таблица 3.2 – Рекомендуемая структура данных объекта «Источник противопожарного водоснабжения»

Наименование атрибута	Тип данных	Назначение
ID_источника	Integer	Уникальный идентификатор
Тип источника	Enum	ПГ, водоём, пирс
Широта	Float	Географические координаты
Долгота	Float	Географические координаты
Код_состояния	Integer	Эксплуатационное состояние (см. табл. 2.7)
Расход_воды	Float	Пропускная способность, л/с
Доступность	Boolean	Возможность подъезда техники
Дата_обследования	Date	Актуальность данных

Использование указанной структуры данных позволяет унифицировать представление информации о источниках противопожарного водоснабжения и обеспечить её корректную обработку в программных модулях. Особое значение при этом имеет параметр «Код состояния», который определяется в соответствии с классификацией эксплуатационного состояния пожарных

гидрантов, приведённой в таблице 2.7 настоящей монографии. Данный параметр используется для автоматизированного исключения из расчётов неисправных или временно недоступных источников.

Для обеспечения пространственной привязки объектов в программном продукте используются географические координаты, что позволяет интегрировать модель данных с геоинформационными сервисами и цифровыми картами. Это обеспечивает корректное отображение источников водоснабжения, элементов улично-дорожной сети и маршрутов движения пожарной техники. На рисунке 3.1 приведена схема взаимодействия моделей данных и программных модулей

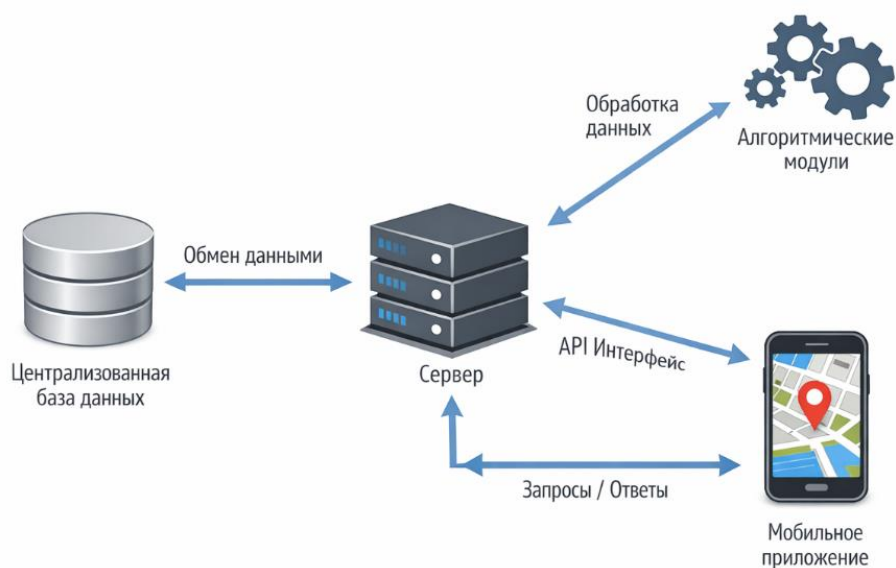


Рисунок 3.1 – Структурная схема взаимодействия моделей данных и программных модулей

Хранение и обработка данных реализованы с использованием централизованной базы данных, обеспечивающей возможность многопользовательского доступа и актуализации информации в режиме, приближенном к реальному времени [62,63]. Архитектура базы данных предусматривает разграничение данных по функциональным группам, включающим сведения о водоисточниках, параметрах дорожной сети, пользовательских запросах и результатах алгоритмической обработки.

Интеграция клиентского приложения с базой данных осуществляется посредством программных интерфейсов, обеспечивающих передачу данных в зависимости от текущего запроса пользователя. Такой подход позволяет минимизировать объём передаваемой информации и снизить нагрузку на мобильные устройства, используемые личным составом противопожарных подразделений при выездах на пожары и чрезвычайные ситуации.

В модели данных также предусмотрены сущности, описывающие параметры пожара и результаты расчётов оптимальных маршрутов. Это

позволяет сохранять историю использования системы, анализировать временные характеристики реагирования и использовать накопленные данные при проведении натурных экспериментов, предусмотренных в рамках настоящего исследования.

Таким образом, реализованные модели данных и механизмы их интеграции с базами данных формируют информационную основу программного продукта и обеспечивают согласованную работу алгоритмических, картографических и пользовательских модулей системы.

3.4. Реализация картографического модуля программного продукта GeoHydrants

В рамках реализации настоящего научно-исследовательского проекта разработан программный продукт GeoHydrants, предназначенный для автоматизации процессов поиска источников противопожарного водоснабжения и информационной поддержки оперативных действий противопожарных подразделений при тушении пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Одним из ключевых функциональных компонентов программного продукта является картографический модуль, обеспечивающий пространственное представление информации и интеграцию результатов алгоритмической обработки данных с цифровыми картами местности.

Картографический модуль GeoHydrants ориентирован на использование в условиях жёстких временных ограничений и высокой тактической нагрузки, характерных для деятельности противопожарных подразделений. Его основное назначение заключается в наглядном отображении источников противопожарного водоснабжения, элементов улично-дорожной сети и маршрутов движения пожарной техники, что позволяет существенно сократить время ориентирования на местности и повысить обоснованность принимаемых оперативных решений.

Реализация картографического модуля основана на интеграции геоинформационных сервисов с внутренними моделями данных программного продукта. Такой подход обеспечивает согласованное отображение пространственно распределённых объектов, включая пожарные гидранты, пожарные водоёмы и иные источники водоснабжения, а также результатов работы алгоритмов маршрутизации, описанных в главе 3 настоящей монографии. Использование цифровых карт позволяет реализовать функции масштабирования, поворота и динамического обновления отображаемой информации в зависимости от текущего местоположения пользователя.

Источники противопожарного водоснабжения отображаются в картографическом модуле в виде графических маркеров, связанных с соответствующими объектами модели данных. Визуальные характеристики маркеров формируются с учётом типа источника и его эксплуатационного состояния, что обеспечивает возможность быстрой визуальной оценки пригодности объекта для использования без обращения к дополнительной

текстовой информации. Такой способ представления данных особенно важен в условиях ограниченной видимости, задымления и ночного времени суток.

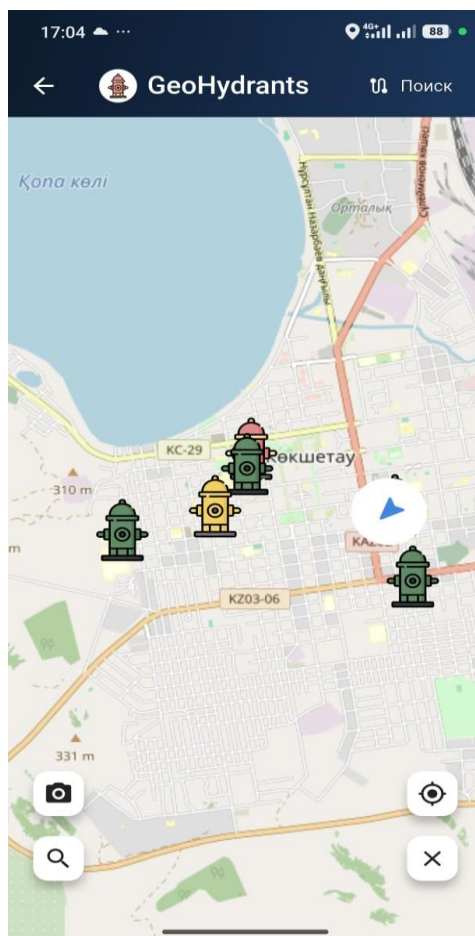


Рисунок 3.2 – Пример отображения источников противопожарного водоснабжения и дорожной сети в картографическом модуле программного продукта GeoHydrants

Как видно из рисунка 3.2, программный продукт обеспечивает одновременное отображение текущего местоположения пользователя, улично-дорожной сети и источников противопожарного водоснабжения. Цветовая индикация гидрантов позволяет оперативно оценивать их эксплуатационное состояние и принимать решения о целесообразности их использования без обращения к дополнительным справочным материалам.

Использование интерактивной карты позволяет существенно сократить время поиска ближайших водоисточников по сравнению с традиционными планшетами водоисточников, которые носят статический характер и не учитывают фактическую оперативную обстановку [62].

Отображение элементов улично-дорожной сети реализовано с учётом направлений движения, возможных ограничений проезда и особенностей городской застройки. Картографический модуль используется в качестве основы для наложения маршрутов движения пожарной техники, формируемых алгоритмами оптимизации. Рассчитанные маршруты автоматически отображаются на карте в виде линий движения с указанием направления

следования, что позволяет пользователю оперативно оценить предлагаемый вариант подъезда к источнику водоснабжения и его пространственное положение относительно места пожара.

В программном продукте GeoHydrants предусмотрена возможность фильтрации отображаемых объектов в зависимости от текущей оперативной задачи. Пользователь может ограничивать отображение определённых типов источников противопожарного водоснабжения, а также исключать из визуализации объекты, находящиеся в неисправном или временно недоступном состоянии. Фильтрация осуществляется на основе атрибутов модели данных и не требует дополнительных вычислительных операций на стороне клиентского устройства.

Особое внимание при разработке картографического модуля уделено адаптации интерфейса к условиям эксплуатации в ходе пожара. Визуальное представление информации оптимизировано с целью снижения когнитивной нагрузки на пользователя и обеспечения быстрого восприятия ключевых элементов. Для этого применяются контрастные цветовые решения, укрупнённые графические элементы и минимизация второстепенной информации, не оказывающей существенного влияния на принятие тактических решений.

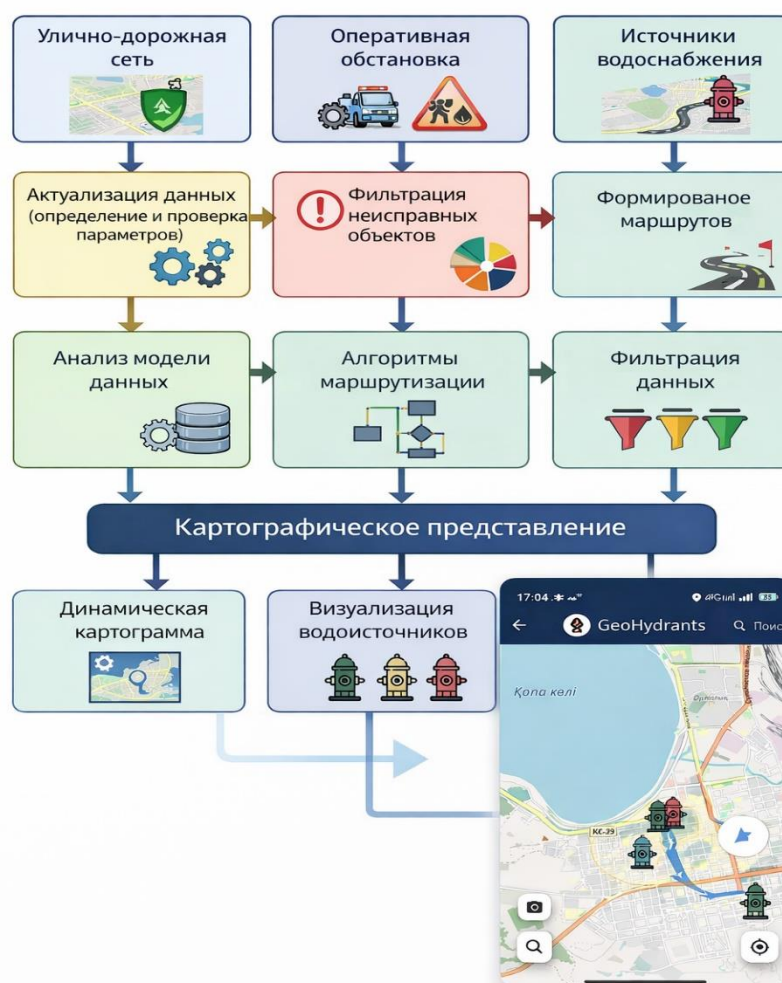


Рисунок 3.3 – Логика формирования картографического представления данных в программном продукте GeoHydrants

Картографический модуль тесно интегрирован с системами спутникового позиционирования, что обеспечивает автоматическую привязку отображаемой информации к текущему местоположению пользователя [67]. По мере перемещения пожарной техники карта динамически обновляется, а отображаемые маршруты корректируются с учётом изменения пространственного положения. Такой механизм обеспечивает непрерывную актуализацию информации и снижает вероятность ошибок при ориентировании на местности.

Реализация картографического (рисунок 3.3) модуля выполнена с учётом его взаимодействия с другими функциональными компонентами программного продукта GeoHydrants, включая модули маршрутизации, фильтрации и визуализации в режиме дополненной реальности. Это формирует единое информационное пространство, в котором результаты алгоритмической обработки данных автоматически отражаются в наглядной форме и становятся доступными пользователю без выполнения дополнительных действий.

Таким образом, картографический модуль программного продукта GeoHydrants обеспечивает наглядное, адаптивное и оперативное представление пространственной информации, необходимой для организации противопожарного водоснабжения. Его использование позволяет сократить время поиска источников воды, повысить точность навигации пожарной техники и создать основу для применения технологий дополненной реальности.

В рамках программной реализации картографического модуля GeoHydrants описанная логика формирования пространственного представления данных была реализована в виде совокупности программных процедур, обеспечивающих загрузку данных об источниках противопожарного водоснабжения, их фильтрацию по эксплуатационному состоянию и последующую визуализацию на цифровой карте.

Загрузка данных об источниках противопожарного водоснабжения осуществляется из централизованного хранилища в виде структурированных записей, содержащих географические координаты, тип источника и код его эксплуатационного состояния [81]. В программной реализации данные представляются в виде объектов, экземпляры которых формируются при инициализации картографического модуля. Пример фрагмента программного кода, реализующего загрузку и первичную обработку данных источников водоснабжения, приведён ниже на рисунке 3.4.

```

csharp

public class WaterSource
{
    public int Id;
    public string Type;
    public double Latitude;
    public double Longitude;
    public int StateCode;
    public float WaterFlow;
}

List<WaterSource> waterSources = LoadWaterSourcesFromDatabase();

```

Рисунок 3.4 - Пример фрагмента программного кода, реализующего загрузку и первичную обработку данных источников водоснабжения

Использование объектного представления данных позволяет унифицировать работу с источниками противопожарного водоснабжения на всех этапах обработки информации — от фильтрации до визуализации и алгоритмического анализа. После загрузки данных выполняется автоматизированная фильтрация источников на основе их эксплуатационного состояния. Источники, имеющие коды состояния, при которых использование воды невозможно или недопустимо, исключаются из дальнейших расчётов и не отображаются на карте.

Программная реализация данного этапа выполнена с использованием логических условий, сопоставляющих код состояния источника с допустимым перечнем значений, определённых в рамках модели эксплуатационного состояния. Пример соответствующего программного фрагмента приведён ниже (рисунок 3.5).

```

csharp

bool IsSourceAvailable(WaterSource source)
{
    return source.StateCode == 0 || source.StateCode < 10;
}

```

Рисунок 3.5 - Пример кода программной реализации от фильтрации до визуализации

После фильтрации формируется итоговый набор источников противопожарного водоснабжения, пригодных для использования в текущей оперативной обстановке. Для каждого такого источника в картографическом модуле создаётся визуальный маркер, координаты которого рассчитываются

на основе географических данных и текущего местоположения пользователя. Привязка маркеров к карте осуществляется с использованием механизмов геоинформационной визуализации, обеспечивающих корректное отображение объектов при масштабировании и изменении ориентации карты.

Создание и размещение маркеров (рисунок 3.6) реализовано в программном виде следующим образом:

```
csharp

foreach (var source in waterSources)
{
    if (IsSourceAvailable(source))
    {
        Vector3 position = GeoToWorldPosition(
            source.Latitude,
            source.Longitude
        );

        Instantiate(hydrantMarkerPrefab, position, Quaternion.identity);
    }
}
```

Рисунок 3.6 - Создание и размещение маркеров

Приведённый фрагмент кода демонстрирует реализацию ключевого принципа программного продукта GeoHydrants — автоматизированного преобразования цифровых данных в наглядное пространственное представление без участия пользователя. Все вычисления и проверки выполняются в фоновом режиме, что позволяет пожарному подразделению получать актуальную информацию без дополнительных действий и временных затрат.

Параллельно с визуализацией источников противопожарного водоснабжения программный продукт осуществляет построение маршрутов движения пожарной техники. Для этого используется информация о текущем местоположении пользователя и координатах выбранного источника воды. Расчёт маршрута инициируется автоматически при выборе источника или изменении оперативной обстановки. В программной реализации данная логика представлена следующим образом (рисунок 3.7).

```
csharp

void BuildRoute(Vector3 firePosition, Vector3 waterSourcePosition)
{
    Route route = RouteCalculator.Calculate(
        firePosition,
        waterSourcePosition
    );

    DrawRouteOnMap(route);
}
```

Рисунок 3.7 - Пример реализации программного кода по построению маршрутов движения пожарной техники

Результаты работы алгоритмов маршрутизации преобразуются в графические элементы, накладываемые на цифровую карту в виде линий движения. При этом программный продукт обеспечивает автоматическое обновление маршрута при перемещении пожарной техники или изменении доступности источника водоснабжения. Такой механизм реализуется за счёт периодического обновления координат пользователя и повторного вызова процедуры расчёта маршрута.

```
csharp

void Update()
{
    Vector3 currentPosition = GetUserPosition();
    BuildRoute(currentPosition, selectedWaterSourcePosition);
}
```

Рисунок 3.8 - Пример реализации программного кода по обновлению маршрута при перемещении пожарной техники

Использование приведённых программных решений обеспечивает непрерывную актуализацию картографической информации и позволяет учитывать динамику оперативной обстановки в режиме, близком к реальному времени. В результате программный продукт GeoHydrants формирует целостное цифровое представление ситуации, объединяющее данные об источниках противопожарного водоснабжения, маршрутах движения пожарной техники и текущем положении пользователя.

Таким образом, приведённые фрагменты программного кода подтверждают практическую реализуемость разработанных моделей данных, алгоритмов фильтрации и логики формирования картографического

представления. Их интеграция в программный продукт GeoHydrants обеспечивает автоматизацию процессов поиска источников противопожарного водоснабжения и создаёт основу для дальнейшего развития функционала системы, включая визуализацию в режиме дополненной реальности и аналитическую обработку данных оперативного реагирования.

3.5. Реализация алгоритмов поиска источников противопожарного водоснабжения и маршрутизации в программном коде

Реализация алгоритмических решений, в составе программного продукта GeoHydrants выполнена в соответствии с требованиями к оперативности, устойчивости и адаптивности функционирования программных средств, применяемых в условиях чрезвычайных ситуаций. Программная реализация алгоритмов ориентирована на использование актуальных данных о состоянии источников противопожарного водоснабжения, параметрах улично-дорожной сети и текущем местоположении пожарной техники.

В основу программной реализации положен модульный принцип, при котором алгоритмы выбора источников водоснабжения и построения маршрутов реализованы в виде самостоятельных функциональных модулей, взаимодействующих с базой данных и картографическим сервисом через унифицированные программные интерфейсы. Такой подход обеспечивает гибкость архитектуры, возможность масштабирования системы и адаптацию алгоритмов под условия конкретного населённого пункта.

Программная реализация фильтрации источников противопожарного водоснабжения.

Первым этапом алгоритмической обработки является формирование перечня допустимых источников противопожарного водоснабжения. На данном этапе осуществляется фильтрация источников по их эксплуатационному состоянию, доступности для подъезда пожарной техники и актуальности данных обследования.

В соответствии с техническим отчётом разработчика программного продукта, фильтрация реализуется на основе кода эксплуатационного состояния пожарного гидранта, который хранится в базе данных и используется в алгоритмах принятия решений [81]. Пример логики фильтрации источников водоснабжения в программном коде приведён ниже на рисунке 3.9.

python

```
def filter_water_sources(sources):  
    valid_sources = []  
    for source in sources:  
        if source.status_code in [1, 2] and source.accessible:  
            valid_sources.append(source)  
    return valid_sources
```

Рисунок 3.9 - Пример реализации логики фильтрации источников водоснабжения в программном коде

В приведённом фрагменте кода:

status_code — код эксплуатационного состояния источника противопожарного водоснабжения;

значения 1 и 2 соответствуют работоспособным или условно работоспособным источникам;

параметр accessible определяет возможность подъезда пожарной техники к источнику.

Данный механизм позволяет автоматически исключать из дальнейших расчётов неисправные, демонтированные или временно недоступные гидранты, что существенно повышает достоверность результатов алгоритмической обработки.

Реализация алгоритма поиска кратчайшего маршрута.

После формирования перечня допустимых источников водоснабжения выполняется построение оптимального маршрута следования пожарной техники. В программном продукте GeoHydrants для решения данной задачи используется алгоритм поиска кратчайшего пути в ориентированном взвешенном графе, реализованный на основе алгоритма Дейкстры.

Граф дорожной сети формируется динамически на основе данных геоинформационного сервиса и содержит вершины, соответствующие узлам дорожной сети, и рёбра, характеризующие направления движения с учётом односторонних участков, протяжённости дорог и ограничений проезда.

Пример программной реализации алгоритма поиска кратчайшего маршрута приведён ниже на рисунке 3.10

```
python

import heapq

def dijkstra(graph, start):
    distances = {vertex: float('inf') for vertex in graph}
    distances[start] = 0
    priority_queue = [(0, start)]

    while priority_queue:
        current_distance, current_vertex = heapq.heappop(priority_queue)

        if current_distance > distances[current_vertex]:
            continue

        for neighbor, weight in graph[current_vertex]:
            distance = current_distance + weight
            if distance < distances[neighbor]:
                distances[neighbor] = distance
                heapq.heappush(priority_queue, (distance, neighbor))

    return distances
```

Рисунок 3.10 - Пример реализации программной реализации алгоритма поиска кратчайшего маршрута

В данном фрагменте:

graph — модель дорожной сети в виде списка смежности;

weight — вес ребра графа, соответствующий длине пути или времени движения.

Результатом работы функции является набор кратчайших расстояний до всех допустимых источников водоснабжения.

Полученные значения используются для ранжирования источников противопожарного водоснабжения по критерию минимального времени доставки воды.

Интеграция алгоритмов с модулем принятия решений РТП

Результаты алгоритмической обработки передаются в модуль поддержки принятия решений, где осуществляется комплексная оценка доступных вариантов с учётом не только расстояния, но и пропускной способности источников водоснабжения. На данном этапе реализуется логика, основанная на элементах транспортной задачи, описанной в главе 2.

Пример фрагмента программной логики выбора оптимального источника приведён ниже на рисунке 3.11.

python

```
def select_optimal_source(sources, required_flow):  
    suitable_sources = []  
    for source in sources:  
        if source.flow_rate >= required_flow:  
            suitable_sources.append(source)  
  
    suitable_sources.sort(key=lambda s: s.distance)  
    return suitable_sources[0] if suitable_sources else None
```

Рисунок 3.11 - Выбор оптимального источника

В данном случае:

flow_rate — пропускная способность источника;

required_flow — требуемый расход воды для тушения пожара.

Выбор осуществляется по критерию минимального расстояния при выполнении условия по расходу воды.

Обеспечение адаптивности алгоритмов в условиях изменяющейся обстановки

Важной особенностью программной реализации является возможность оперативного пересчёта маршрутов и перечня доступных источников при изменении условий на пожаре. Изменение состояния гидранта, перекрытие участка дороги или корректировка параметров пожара автоматически инициируют повторный запуск алгоритмических модулей без участия пользователя.

3.6. Реализация алгоритмов маршрутизации и выбора источников противопожарного водоснабжения в программном продукте GeoHydrants

Алгоритмическое обеспечение программного продукта GeoHydrants направлено на автоматизацию процессов выбора источников противопожарного водоснабжения и определения оптимальных маршрутов следования пожарной техники. Реализация данных алгоритмов является практическим продолжением теоретических положений, изложенных в главе 3 настоящей монографии, и обеспечивает их применение в условиях реального оперативного реагирования.

В основе алгоритмического модуля GeoHydrants лежит формализованное представление улично-дорожной сети и источников противопожарного водоснабжения в виде взвешенного ориентированного графа [63]. Вершины графа соответствуют узлам дорожной сети и объектам водоснабжения, а рёбра — возможным направлениям движения пожарной техники с учётом ограничений дорожной инфраструктуры. Вес рёбер определяется протяжённостью участков пути и может корректироваться с

учётom дополнительных факторов, включая состояние дорожного покрытия и временные ограничения движения.

На программном уровне исходные данные для построения графа формируются на основе информации, хранящейся в базе данных GeoHydrants. Пример программной реализации формирования списка вершин и рёбер графа представлен ниже на рисунке 3.12:

```
csharp

foreach (RoadSegment segment in roadSegments)
{
    graph.AddEdge(
        segment.StartNodeId,
        segment.EndNodeId,
        segment.Length
    );
}
```

Рисунок 3.12 - Пример программной реализации формирования списка вершин и рёбер

Данный фрагмент кода обеспечивает загрузку дорожной сети в алгоритмический модуль и формирование структуры данных, необходимой для дальнейших расчётов маршрутов.

Выбор оптимального маршрута в программном продукте GeoHydrants реализован на основе алгоритма Дейкстры, который применяется для определения кратчайших путей от текущего местоположения пожарной техники до возможных источников противопожарного водоснабжения [63]. Программная реализация алгоритма адаптирована к условиям оперативного реагирования и ориентирована на минимизацию времени следования. Фрагмент кода, реализующий запуск процедуры поиска кратчайшего пути, приведён ниже на рисунок 3.13:

```
csharp

List<RouteNode> optimalPath = Dijkstra.FindShortestPath(
    graph,
    currentNodeId,
    targetNodeId
);
```

Рисунок 3.13 - Запуск процедуры поиска кратчайшего пути

Результатом работы алгоритма является последовательность узлов, формирующих оптимальный маршрут движения пожарной техники. Данный

маршрут используется как для картографической визуализации, так и для формирования AR-указателей, описанных в предыдущем параграфе.

Одновременно с задачей маршрутизации в GeoHydrants реализован алгоритм автоматизированного выбора источников противопожарного водоснабжения. При выборе источников учитываются их пространственная удалённость, эксплуатационное состояние и пропускная способность. На программном уровне реализована предварительная фильтрация источников водоснабжения, исключающая неисправные или временно недоступные объекты. Пример программной реализации фильтрации представлен ниже на рисунке 3.14:

```
csharp

var availableHydrants = hydrants
    .Where(h => h.StateCode == HydrantState.Active)
    .ToList();
```

Рисунок 3.14 - Фильтрация источников водоснабжения, исключающая неисправные или временно недоступные гидранты

После фильтрации выполняется оценка каждого доступного источника по совокупности критериев, включая расстояние до места пожара и потенциальное время доставки воды. Для этого рассчитывается длина маршрута от текущего местоположения пожарной техники до каждого водоисточника. Программная реализация данного этапа представлена следующим фрагментом на рисунке 3.15:

```
csharp

foreach (Hydrant hydrant in availableHydrants)
{
    hydrant.Distance = Dijkstra.CalculateDistance(
        graph,
        currentNodeId,
        hydrant.NodeId
    );
}
```

Рисунок 3.15 - Оценка доступного источника

Полученные значения используются для ранжирования источников противопожарного водоснабжения и формирования списка приоритетных объектов. В качестве базового критерия выбора используется минимальное

расстояние, что соответствует задаче сокращения времени боевого развертывания.

В программном продукте GeoHydrants предусмотрена возможность динамического пересчёта маршрутов и повторного выбора источников водоснабжения при изменении оперативной обстановки. Пересчёт может инициироваться при изменении местоположения пожарной техники, поступлении информации о неисправности ранее выбранного гидранта или изменении дорожных условий. Данный механизм реализован в виде повторного вызова алгоритмов маршрутизации и фильтрации с обновлёнными исходными данными рисунок 3.16:

```
csharp

if (operationalContextChanged)
{
    RecalculateRoutes();
}
```

Рисунок 3.16 - Механизм повторного вызова алгоритмов маршрутизации и фильтрации

Такой подход обеспечивает адаптивность программного продукта и его соответствие условиям динамически развивающейся чрезвычайной ситуации.

Результаты работы алгоритмов маршрутизации и выбора источников противопожарного водоснабжения передаются в пользовательский интерфейс и AR-модуль GeoHydrants. Это обеспечивает согласованное отображение информации в виде картографических маршрутов и направляющих маркеров дополненной реальности, что повышает наглядность и оперативность восприятия информации.

Таким образом, реализованные в программном продукте GeoHydrants алгоритмы маршрутизации и выбора источников противопожарного водоснабжения обеспечивают практическую реализацию теоретических моделей, рассмотренных в предыдущих главах монографии. Их использование позволяет автоматизировать процесс принятия решений руководителем тушения пожара, сократить временные затраты на поиск водоисточников и повысить эффективность организации противопожарного водоснабжения при тушении пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

3.7. Реализация механизмов учёта эксплуатационного состояния пожарных гидрантов и поддержки принятия решений в программном продукте GeoHydrants

Эффективность использования источников противопожарного водоснабжения при тушении пожаров во многом определяется не только их пространственным расположением, но и фактическим эксплуатационным

состоянием. В условиях оперативного реагирования применение неисправного либо ограниченно работоспособного пожарного гидранта может привести к потере времени, снижению интенсивности подачи воды и осложнению тактических действий подразделений. В связи с этим в программном продукте GeoHydrants реализован комплекс механизмов, обеспечивающих учёт эксплуатационного состояния пожарных гидрантов и поддержку принятия решений при их выборе.

В основе реализации данного механизма лежит модель данных пожарного гидранта, включающая набор атрибутов, отражающих его техническое и эксплуатационное состояние. К таким атрибутам относятся статус работоспособности, код дефекта, дата последней проверки, а также дополнительные текстовые признаки, используемые для интерпретации состояния объекта. Указанные данные хранятся в централизованной базе данных и автоматически загружаются в приложение при его запуске и последующей работе.

Программная реализация учёта состояния гидранта начинается на уровне модели данных. В объекте Hydrant состояние задаётся текстовым полем, которое может принимать различные значения в зависимости от результатов осмотров и проверок. Для обеспечения унифицированной обработки данных в программном коде реализованы методы интерпретации состояния, основанные на анализе ключевых слов и кодов неисправностей. Пример логики определения эксплуатационного состояния гидранта представлен ниже на рисунке 3.17:

```
dart

bool _isWorking(Hydrant h) {
    final s = h.status.toLowerCase();
    return s.contains('работ') || s.contains('исправ') || s.contains('ok');
}

bool _isPartial(Hydrant h) {
    final s = h.status.toLowerCase();
    return s.contains('част') || s.contains('огранич');
}

bool _isBroken(Hydrant h) {
    final s = h.status.toLowerCase();
    return s.contains('неисправ') || s.contains('не работает');
}
```

Рисунок 3.17 - Метод интерпретации состояния гидрантов

Данный программный фрагмент обеспечивает отнесение каждого гидранта к одной из трёх эксплуатационных категорий: исправный, частично работоспособный и неисправный. Такой подход позволяет обрабатывать

данные, поступающие из различных источников, без жёсткой привязки к единому формату заполнения поля состояния.

Результаты определения эксплуатационного состояния используются на последующих этапах работы приложения, в том числе при визуализации объектов на карте. Для повышения наглядности и ускорения восприятия информации реализована цветовая дифференциация маркеров гидрантов. Исправные гидранты отображаются зелёным цветом, частично работоспособные — жёлтым, неисправные — красным. Программная логика выбора графического маркера представлена на рисунке 3.18 следующим образом:

```
dart

String _markerAsset(Hydrant h) {
  if (_isWorking(h)) return 'assets/markers/hydrant_green.png';
  if (_isPartial(h)) return 'assets/markers/hydrant_yellow.png';
  return 'assets/markers/hydrant_red.png';
}
```

Рисунок 3.18 - Метод выбора графического маркера

Использование цветовых индикаторов позволяет руководителю тушения пожара и личному составу оперативно оценить обстановку и принять решение о выборе наиболее подходящего источника водоснабжения без необходимости детального изучения карточки объекта.

Механизмы учёта эксплуатационного состояния также интегрированы в алгоритмы маршрутизации и автоматического поиска водоисточников. При формировании списка кандидатов на подключение к водоснабжению в первую очередь учитываются исправные гидранты. Частично работоспособные источники рассматриваются как резервные, а неисправные исключаются из автоматического выбора. Программная реализация данного подхода представлена ниже на рисунке 3.19:

```
dart

final workingHydrants = hydrants.where(_isWorking).toList();
final partialHydrants = hydrants.where(_isPartial).toList();
```

Рисунок 3.19 - Механизм учёта эксплуатационного состояния гидранта

Такое разделение позволяет системе формировать приоритетный перечень источников водоснабжения и одновременно сохранять возможность выбора альтернативных вариантов в случае изменения оперативной обстановки.

Поддержка принятия решений в GeoHydrants реализуется за счёт комплексного представления информации о пожарных гидрантах в карточке объекта. При выборе гидранта пользователю предоставляется структурированная информация о его состоянии, технических характеристиках и истории эксплуатации. В частности, в карточке отображаются код дефекта и дата последней проверки, что позволяет оценить степень риска при использовании данного источника водоснабжения. Пример извлечения и отображения этих данных реализован программным кодом приведенным на рисунке 3.20:

dart

```
Text('Код дефекта: ${hydrant.defectsCode ?? "не указан"}'),  
Text('Последняя проверка: ${hydrant.lastInspection ?? "нет данных"}'),
```

Рисунок 3.20 - Механизм реализации выбора гидранта с учетом его технического состояния

Дополнительно механизмы поддержки принятия решений реализованы в виде автоматических ограничений и подсказок. Так, при выборе неисправного гидранта система может предупреждать пользователя о невозможности его использования либо предлагать альтернативные источники, расположенные в зоне досягаемости. Данный подход снижает вероятность принятия ошибочных решений в условиях ограниченного времени и повышенной психоэмоциональной нагрузки.

Интеграция учёта эксплуатационного состояния пожарных гидрантов с модулями картографической визуализации и дополненной реальности обеспечивает целостность информационной картины. Пользователь получает согласованную информацию как в традиционном картографическом представлении, так и в AR-режиме, где направление движения и визуальные маркеры также учитывают состояние выбранного источника водоснабжения.

Таким образом, реализованные в программном продукте GeoHydrants механизмы учёта эксплуатационного состояния пожарных гидрантов и поддержки принятия решений обеспечивают переход от статического отображения данных к интеллектуальной системе сопровождения оперативных действий. Это позволяет повысить надёжность использования противопожарного водоснабжения, сократить время принятия решений и снизить риск ошибок при тушении пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

3.8. Интеграция картографического и AR-представления данных как инструмент повышения ситуационной осведомлённости

Интеграция картографического и AR-представления данных в программном продукте GeoHydrants реализована на уровне единой логики обработки пространственной информации и общих моделей данных. В

отличие от традиционных систем, где картографический и визуальный режимы функционируют обособленно, в GeoHydrants оба режима используют единый набор сущностей, координат и алгоритмов расчёта расстояний и направлений.

Ключевым элементом интеграции является модель данных пожарного гидранта, которая используется как в картографическом интерфейсе, так и в модуле дополненной реальности [71]. Реализуется за счет программного кода приведенного на рисунке 3.21:

```
dart

class Hydrant {
  final String id;
  final double lat;
  final double lon;
  final String status;
  final String address;
  final int diameterMm;
  final double? pressureMpa;
  final String defectsCode;

  Hydrant({
    required this.id,
    required this.lat,
    required this.lon,
    required this.status,
    required this.address,
    required this.diameterMm,
    this.pressureMpa,
    required this.defectsCode,
  });
}
```

Рисунок 3.21 - Интеграция картографического и AR-представления данных в программном продукте GeoHydrants

Использование единой модели исключает рассинхронизацию данных между режимами отображения и обеспечивает согласованность визуализации эксплуатационного состояния источников противопожарного водоснабжения.

Интеграция с картографическим режимом

В картографическом режиме (HomeScreen) данные о гидрантах отображаются в виде маркеров на основе координат, полученных из облачной базы данных Firestore. Подписка на поток изменений реализована через репозиторий приведе в программном коде как на рисунке 3.22:

```
dart

StreamBuilder<List<Hydrant>>(  
  stream: context.read<HydrantsRepository>().watchAll(),  
  builder: (context, snapshot) {  
    if (!snapshot.hasData) {  
      return const CircularProgressIndicator();  
    }  
    final hydrants = snapshot.data!;  
    return _buildHydrantMarkers(hydrants);  
  },  
);
```

Рисунок 3.22 - Интеграция с картографическим режимом

Каждый гидрант визуализируется с использованием цветовой индикации состояния за счет программного кода приведенного на рисунке 3.23:

```
dart

bool _isWorking(Hydrant h) =>  
  h.status.toLowerCase().contains('работ');  
  
bool _isBroken(Hydrant h) =>  
  h.status.toLowerCase().contains('неисправ');
```

Рисунок 3.23 – Визуализация с использованием цветовой индикации гидрантов

Таким образом, пользователь получает обобщённую картографическую картину состояния системы противопожарного водоснабжения.

Передача данных из карты в AR-режим

Ключевым моментом интеграции является переход от карты к AR-режиму без потери контекста. Для этого используется модель запроса `ARRequest`, содержащая текущее положение пользователя и выбранный гидрант представленная в коде на рисунках 3.24 и 3.25:

```
dart

class ARRequest {
  final LatLng me;
  final Hydrant target;

  ARRequest({required this.me, required this.target});
}
```

Рисунок 3.24 – Передача данных из карты в AR-режим

Передача осуществляется при нажатии пользователем кнопки AR:

```
dart

context.push(
  AppRoutes.ar,
  extra: ARRequest(
    me: _me!,
    target: selectedHydrant,
  ),
);
```

Рисунок 3.25 – Активация кнопкой AR

Это позволяет AR-модулю сразу получить цель навигации, рассчитанную в картографическом режиме.

Реализация AR-представления и ориентации в пространстве

В AR-режиме (ARCameraScreen) используется та же информация о координатах гидранта, но применяется иной способ визуализации — через наложение маркеров на изображение с камеры.

Определение направления на гидрант выполняется путём вычисления азимута и приведена на рисунке 3.26:

```
dart

double _bearing(LatLng from, LatLng to) {
  final lat1 = from.latitude * pi / 180;
  final lat2 = to.latitude * pi / 180;
  final dlon = (to.longitude - from.longitude) * pi / 180;

  final y = sin(dlon) * cos(lat2);
  final x = cos(lat1) * sin(lat2) -
    sin(lat1) * cos(lat2) * cos(dlon);

  return atan2(y, x);
}
```

Риснунок 3.26 – Определение направления на гидрант

Далее направление сопоставляется с текущим направлением взгляда пользователя, получаемым от цифрового компаса реализована за счет кода приведенного на рисунке 3.27:

```
dart

final double delta =
    _normalizeAngle(targetBearing - headingRad);
```

Риснунок 3.27 – Сопоставление с текущим направлением камеры пользователя

На основе полученного углового смещения формируется позиция AR-маркера на экране устройства.

Совмещение AR и мини-карты

Для повышения ситуационной осведомлённости в AR-режиме дополнительно используется мини-карта, отображающая маршрут движения реализуется за счет программного кода приведенного на рисунке 3.28:

```
dart

Future<void> _loadRoute() async {
    _route = await context
        .read<RoutingService>()
        .routeByRoads(me, target);
}
```

Риснунок 3.28 – Отображение маршрут движения пользователя

Таким образом, пользователь одновременно получает:

- визуальное AR-указание в реальном пространстве;
- картографическое подтверждение маршрута.

Эффект интеграции для ситуационной осведомлённости

Приведённые программные фрагменты показывают, что интеграция картографического и AR-представления данных в GeoHydrants реализована не на уровне пользовательского интерфейса, а на уровне общей логики данных, маршрутизации и навигации. Это обеспечивает:

- непрерывность восприятия информации при переходе между режимами;
- снижение когнитивной нагрузки;
- сокращение времени поиска источников водоснабжения;
- повышение устойчивости тактических решений в условиях пожара.

Таким образом, программная интеграция карты и AR-модуля является не вспомогательной функцией, а ключевым инструментом повышения

ситуационной осведомлённости противопожарных подразделений, что подтверждается архитектурой и реализацией программного продукта GeoHydrants.

3.9. Методические рекомендации по применению программного продукта GeoHydrants в деятельности противопожарных подразделений

Настоящий параграф разработан в формате методических рекомендаций и предназначен для обобщения практического опыта применения программного продукта GeoHydrants в деятельности противопожарных подразделений. Методические положения ориентированы на использование программного продукта при тушении пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций, а также при проведении оперативной подготовки и обучения личного состава.

Общие положения

Программный продукт GeoHydrants рекомендуется к использованию руководителями тушения пожара, водителями пожарных автомобилей, а также должностными лицами, осуществляющими оперативное управление силами и средствами. Использование GeoHydrants целесообразно на этапах предварительного планирования, боевого развертывания и развернутых действий по тушению пожара.

Применение программного продукта не заменяет тактические решения руководителя тушения пожара, а обеспечивает информационно-аналитическую поддержку принятия решений в условиях ограниченного времени и неполноты исходной информации.

Порядок использования программного продукта при выезде на пожар

На этапе следования к месту пожара программный продукт GeoHydrants рекомендуется использовать для предварительной оценки системы противопожарного водоснабжения в зоне предполагаемых боевых действий. После определения текущего местоположения пожарной техники система автоматически отображает доступные источники противопожарного водоснабжения с учётом их эксплуатационного состояния.

Руководителю тушения пожара рекомендуется:

1. определить основной и резервный источники противопожарного водоснабжения;
2. оценить маршруты подъезда пожарной техники к выбранным источникам;
3. обратить внимание на цветовую индикацию состояния гидрантов и предупреждающие сообщения системы.

Методика выбора источников противопожарного водоснабжения

При выборе источников противопожарного водоснабжения рекомендуется использовать приоритетную схему:

- исправные пожарные гидранты, расположенные на минимальном расстоянии от места пожара;

- частично работоспособные гидранты — в качестве резервных источников;

- альтернативные источники (пожарные водоёмы, пирсы) при отсутствии исправных гидрантов.

Использование неисправных гидрантов допускается только в исключительных случаях и при наличии подтверждённой информации о возможности временной подачи воды.

Рекомендации по использованию маршрутизации и AR-модуля

При движении к источнику водоснабжения рекомендуется использовать маршруты, автоматически сформированные программным продуктом. В условиях ограниченной видимости, ночного времени суток или сложной застройки целесообразно задействовать AR-режим, обеспечивающий визуальное ориентирование в реальном пространстве.

AR-указатели рекомендуется использовать как вспомогательный инструмент, дополняющий картографическое представление, а не как единственный источник навигационной информации.

Использование GeoHydrants при тушении пожаров повышенного ранга

При тушении пожаров повышенного ранга, сопровождающихся созданием нескольких участков (секторов) тушения, программный продукт рекомендуется использовать для:

1. распределения источников противопожарного водоснабжения между участками;
2. определения резервных маршрутов подвоза воды;
3. оперативной корректировки схем водоснабжения при изменении обстановки.

В данных условиях особенно важным является использование функции динамического пересчёта маршрутов и повторного выбора источников водоснабжения.

Применение программного продукта в учебном процессе и оперативной подготовке

GeoHydrants рекомендуется использовать при проведении занятий по оперативно-тактической подготовке, а также в рамках тренировок и учений. Программный продукт может применяться для моделирования различных сценариев пожаров, анализа действий личного состава и отработки навыков принятия решений.

Использование программного продукта в учебном процессе способствует формированию у личного состава устойчивых навыков работы с цифровыми средствами поддержки оперативных действий.

Ограничения и меры предосторожности при использовании

При использовании программного продукта необходимо учитывать, что достоверность рекомендаций напрямую зависит от актуальности данных о состоянии источников противопожарного водоснабжения. В этой связи рекомендуется регулярно обновлять базу данных и проводить контроль её актуальности.

Программный продукт не предназначен для использования в качестве единственного источника информации и должен применяться в комплексе с традиционными средствами управления и тактического анализа.

Заключительные положения

Реализация методических рекомендаций по применению программного продукта GeoHydrants позволяет повысить эффективность организации противопожарного водоснабжения, сократить временные затраты на этапе боевого развертывания и снизить риск принятия ошибочных решений. Использование программного продукта в практической деятельности противопожарных подразделений целесообразно рассматривать как один из элементов цифровой трансформации системы обеспечения пожарной безопасности.

Краткие выводы по разделу

В третьем разделе выполнена разработка и программная реализация мобильного программного продукта GeoHydrants, предназначенного для автоматизации поиска источников противопожарного водоснабжения в деятельности противопожарных подразделений. На основе ранее обоснованных теоретических и алгоритмических положений сформированы требования к программной системе и выбраны технологии, обеспечивающие её использование в условиях оперативного реагирования на пожары и чрезвычайные ситуации.

Разработана архитектура автоматизированной системы, включающая клиентский, серверный и информационный уровни, что обеспечило возможность согласованной обработки пространственных, технических и эксплуатационных данных. Реализованы модели данных источников противопожарного водоснабжения и обеспечена их интеграция с централизованной базой данных, позволяющей хранить, актуализировать и использовать сведения о местоположении, техническом состоянии и доступности пожарных гидрантов.

В составе программного продукта реализован картографический модуль, обеспечивающий отображение источников противопожарного водоснабжения, текущего местоположения пользователя и маршрутов следования к выбранным объектам. Программно реализованы алгоритмы фильтрации источников по эксплуатационному состоянию, выбора приоритетных гидрантов и построения оптимальных маршрутов движения пожарной техники с учетом параметров дорожной сети и оперативной обстановки.

Особое значение имеет реализация механизмов учета эксплуатационного состояния пожарных гидрантов, позволяющих исключать из расчетов неисправные или временно недоступные источники и тем самым повышать обоснованность принимаемых решений. Дополнительно в программный продукт интегрирован режим дополненной реальности, обеспечивающий визуализацию направления движения к гидрантам непосредственно в поле зрения пользователя и повышающий ситуационную осведомленность личного состава.

Разработанные программные модули и пользовательский интерфейс формируют функциональную основу системы автоматизированного поиска источников противопожарного водоснабжения и обеспечивают практическую реализуемость предложенного подхода. Полученные в третьем разделе результаты создают необходимую базу для последующей экспериментальной оценки эффективности программного продукта GeoHydrants в условиях, приближенных к реальной оперативной деятельности.

4. Экспериментальная оценка эффективности системы

В рамках реализации научно-технического проекта «Автоматизация процессов поиска источников водоснабжения для оперативного реагирования противопожарных подразделений на чрезвычайные ситуации» авторским коллективом был разработан мобильный программный продукт GeoHydrants. Для оценки его практической эффективности были проведены натурные эксперименты, направленные на сопоставление традиционного и автоматизированного способов поиска источников противопожарного водоснабжения.

Экспериментальная работа была организована в условиях, максимально приближённых к реальной оперативной деятельности. Все участники эксперимента выезжали совместно на одном пожарном автомобиле АЦ, что обеспечивало единые внешние условия для обеих сравниваемых групп. При этом непосредственно поиск источника противопожарного водоснабжения осуществлялся раздельно двумя группами. Первая группа выполняла поиск с использованием планшета и бумажной карты водоисточников, то есть традиционным способом. Вторая группа осуществляла поиск с применением мобильного программного продукта GeoHydrants. Такой подход позволил обеспечить сопоставимость условий эксперимента и одновременно сравнить эффективность двух способов ориентирования при одинаковой оперативной обстановке.

В ходе каждого экспериментального выезда для обеих групп засекалось время по тем показателям, которые приведены в таблицах результатов. К числу этих показателей были отнесены: общее время поиска, отражающее этап первичного ориентирования и выявления возможных водоисточников; время выбора водоисточника, характеризующее принятие решения о конкретном источнике; время поиска водоисточника на месте, показывающее продолжительность фактического обнаружения гидранта после прибытия в предполагаемую точку; а также суммарное время поиска, выбора и обнаружения гидранта, рассчитанное как совокупность указанных этапов. Именно эти показатели были положены в основу последующего анализа, поскольку они непосредственно характеризуют эффективность поиска водоисточника.

Показатель времени следования к водоисточнику в расчёт не включался. Это обусловлено тем, что фактическое время движения пожарного автомобиля могло изменяться под влиянием внешних факторов, не связанных непосредственно с эффективностью способа поиска, в частности из-за светофорного регулирования, интенсивности автомобильного потока и иных дорожных условий. Включение данного показателя в сравнительный анализ могло бы привести к дополнительным погрешностям и исказить результаты оценки. По этой причине в качестве объекта статистической обработки были приняты только те временные интервалы, которые непосредственно зависели от ориентирования, выбора водоисточника и его обнаружения на местности.

Отдельно в ходе эксперимента фиксировался качественный признак — наличие ошибочного выбора водоисточника. Под ним понималась ситуация, при которой участники, прибыв в предполагаемую точку, ориентировались на визуально обнаруженные люки и первоначально принимали их за место расположения пожарного гидранта, тогда как фактически гидрант находился в другой точке. Подобные случаи приводили к дополнительным затратам времени на повторное ориентирование, уточнение местоположения объекта и продолжение поиска на местности. Поэтому данный показатель использовался как дополнительная характеристика точности поиска, хотя средние значения и среднеквадратичные отклонения для него не рассчитывались.

Таким образом, натурный эксперимент был направлен не на сравнение транспортной составляющей выезда, а именно на оценку эффективности двух способов поиска источников противопожарного водоснабжения в одинаковых условиях совместного выезда. Это позволило определить, насколько применение программного продукта GeoHydrants способствует сокращению времени ориентирования, ускорению выбора водоисточника и повышению точности его обнаружения на местности.

С целью последующего количественного анализа результаты натурного эксперимента были приведены к единой табличной форме. В таблицах 4.1 и 4.2 отражены значения временных показателей по каждой серии наблюдений, полученные при использовании традиционного способа поиска и программного продукта GeoHydrants. Представленные данные позволяют проследить изменения по отдельным этапам поиска водоисточника и служат исходной базой для расчёта средних значений, среднеквадратичных отклонений и сравнительной оценки эффективности исследуемых способов ориентирования.

Таблица 4.1 - Результаты экспериментальных выездов при традиционном способе поиска водоисточника (планшет, карта)

№ выезда	Способ поиска водоисточника	Общее время поиска, сек.	Время выбора водоисточника, сек.	Время поиска водоисточника на месте, мин:сек	Суммарное время поиска, выбора и обнаружения гидранта, сек.	Общее время поиска и обнаружения гидранта, мин/с
1	Планшет (карта)	35	3	00:08	46	4 мин 43 сек
2	Планшет (карта)	7	7	05:37	351	7 мин 21 сек
3	Планшет (карта)	8	8	00:56	72	3 мин 08 сек
4	Планшет (карта)	7	7	00:09	23	3 мин 18 сек
5	Планшет (карта)	8	8	00:23	39	2 мин 43 сек
6	Планшет (карта)	29	29	04:51	349	9 мин 35 сек
7	Планшет (карта)	25	7	01:03	95	4 мин 49 сек
8	Планшет (карта)	32	8	01:05	105	5 мин 46 сек
9	Планшет (карта)	23	7	00:34	64	4 мин 06 сек
10	Планшет (карта)	35	8	01:06	109	6 мин 07 сек
11	Планшет (карта)	21	6	00:31	58	3 мин 45 сек
12	Планшет (карта)	27	7	00:46	80	4 мин 48 сек
13	Планшет (карта)	24	7	00:49	80	4 мин 24 сек
14	Планшет (карта)	36	9	01:18	123	6 мин 44 сек
15	Планшет (карта)	19	6	00:22	47	3 мин 26 сек
16	Планшет (карта)	29	8	00:51	88	5 мин 25 сек
17	Планшет (карта)	21	6	00:27	54	3 мин 53 сек
18	Планшет (карта)	34	8	01:01	103	6 мин 09 сек
19	Планшет (карта)	20	6	00:25	51	3 мин 42 сек
20	Планшет (карта)	28	7	00:42	77	4 мин 53 сек

Таблица 4.2 Результаты экспериментальных выездов при автоматизированном способе поиска водоисточника (GeoHydrants)

№ выезда	Способ поиска водоисточника	Общее время поиска, сек.	Время выбора водоисточника, сек.	Время поиска водоисточника на месте, мин:сек	Суммарное время поиска, выбора и обнаружения гидранта, сек.	Общее время поиска и обнаружения гидранта, мин/с
1	GeoHydrants	20	2	00:05	27	4 мин 24 сек
2	GeoHydrants	4	2	00:01	7	1 мин 37 сек
3	GeoHydrants	2	1	00:48	51	2 мин 46 сек
4	GeoHydrants	4	1	00:04	9	3 мин 04 сек
5	GeoHydrants	5	1	00:16	22	2 мин 26 сек
6	GeoHydrants	12	3	00:07	22	4 мин 08 сек
7	GeoHydrants	5	1	00:13	19	3 мин 34 сек
8	GeoHydrants	5	2	00:17	24	4 мин 25 сек
9	GeoHydrants	4	1	00:14	19	3 мин 21 сек
10	GeoHydrants	6	2	00:19	27	4 мин 45 сек
11	GeoHydrants	4	1	00:14	19	3 мин 07 сек
12	GeoHydrants	6	2	00:16	24	3 мин 52 сек
13	GeoHydrants	5	1	00:14	20	3 мин 25 сек
14	GeoHydrants	7	2	00:20	29	5 мин 10 сек
15	GeoHydrants	4	1	00:11	16	2 мин 55 сек
16	GeoHydrants	7	2	00:20	29	4 мин 25 сек
17	GeoHydrants	4	1	00:13	18	3 мин 17 сек
18	GeoHydrants	8	2	00:22	32	4 мин 58 сек
19	GeoHydrants	4	1	00:12	17	3 мин 08 сек
20	GeoHydrants	6	2	00:15	23	3 мин 58 сек

По результатам проведенных экспериментов получены временные показатели общего затрачиваемого времени $t_{\text{общ}}$ Руководителем тушения пожара на выбор, поиск и обнаружение водоисточника на месте (рисунок 4.1).

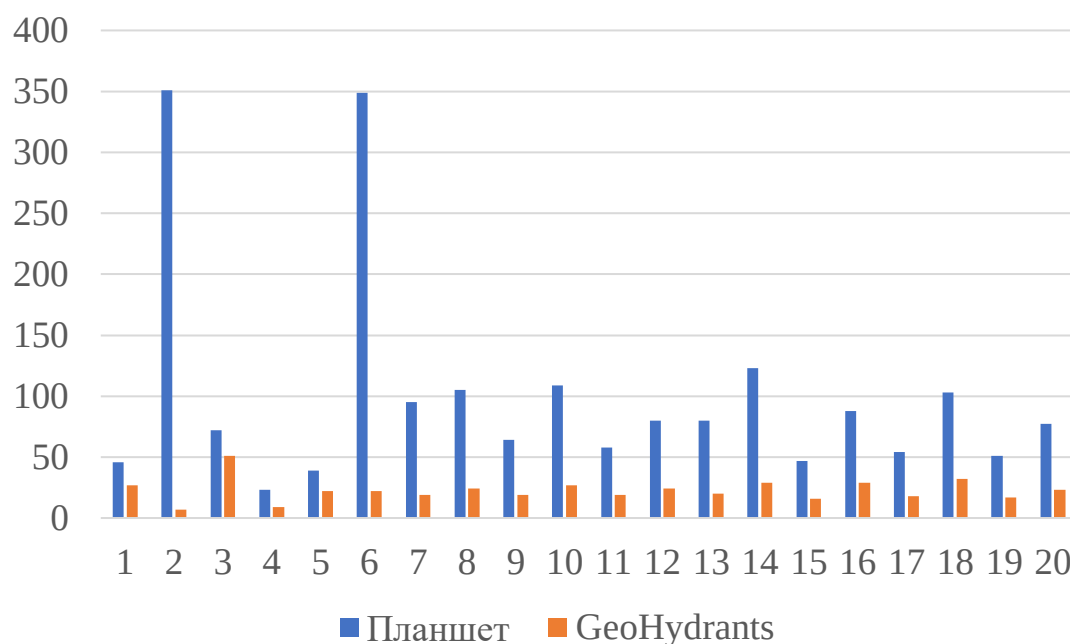


Рисунок 4.1 – Общее время, затрачиваемое на поиск водоисточника

Из рисунка 4.1 видно, что при использовании программного продукта GeoHydrants общее время, затрачиваемое на поиск противопожарного водоисточника в 4,4 раз меньше традиционного способа.

Для более наглядного сопоставления устойчивости результатов по каждой серии наблюдений целесообразно дополнительно представить экспериментальные данные в виде линейной диаграммы. Такой способ визуализации позволяет проследить изменение суммарного времени поиска, выбора и обнаружения гидранта по каждому выезду отдельно, а также оценить характер разброса значений при традиционном и автоматизированном способах ориентирования.

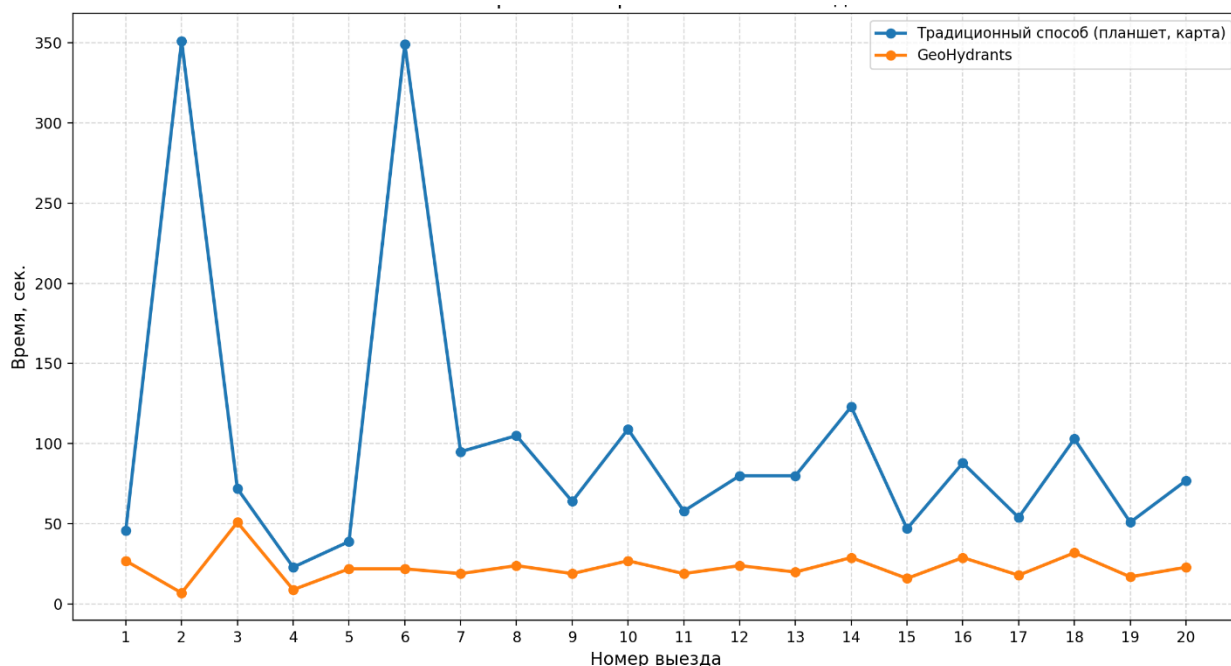


Рисунок 4.2 – Сравнение суммарного времени поиска, выбора и обнаружения гидранта по сериям экспериментальных выездов

Как видно из рисунка 4.2, значения суммарного времени при традиционном способе поиска характеризуются более высоким уровнем и значительным разбросом по отдельным сериям выездов. В ряде случаев наблюдаются резкие увеличения продолжительности поиска, что свидетельствует о зависимости результата от субъективного фактора, особенностей визуального ориентирования и вероятности ошибочного выбора предполагаемого места расположения гидранта. В то же время линия, соответствующая использованию программного продукта GeoHydrants, располагается существенно ниже и имеет более устойчивый характер. Это подтверждает, что автоматизированный способ не только сокращает временные затраты, но и обеспечивает большую стабильность результатов в сходных условиях эксперимента.

Полученные графические зависимости согласуются с данными таблиц 4.1 и 4.2 и подтверждают необходимость дальнейшей статистической обработки результатов эксперимента. В этой связи для количественной оценки различий были рассчитаны средние значения временных показателей и показатели разброса.

Для проведения анализа интервальных временных показателей проведенного эксперимента рассчитаны значения средних значений по формуле:

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (4.1)$$

где $\bar{t}$ — среднее значение показателя;

t_i — значение показателя в отдельном выезде;
 n — количество выездов.

Анализ экспериментальных данных по формуле 1 показывает, что при традиционном способе поиска среднее время составило - 23,40 с, а при использовании программного продукта GeoHydrants - 6,1 с. Данные значения отражают временные затраты на первичное ориентирование, определение текущего местоположения и выявление ближайших водоисточников.

Среднее время выбора водоисточника при традиционном способе поиска среднее время составило 8,10 с, а при использовании программного продукта GeoHydrants 1,55 с. Данные значения характеризуют длительность принятия решения о том, какой именно ближайший водоисточник следует использовать для обеспечения бесперебойной подачи воды на место тушения пожара.

По результатам определения среднего времени обнаружения водоисточника непосредственно на месте его расположения установлено, что при традиционном способе данный показатель составил 69,2 с, а при использовании программного продукта GeoHydrants 15,05 с. Данный показатель имеет принципиальное значение, поскольку позволяет оценить точность вывода подразделения к непосредственному месту расположения водоисточника.

Для проведения анализа степени разброса результатов эксперимента определены среднеквадратичные отклонения общего затрачиваемого времени $t_{\text{общ}}$ по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t - \bar{t})^2}{n-1}} \quad (4.2)$$

Установлено, что при традиционном способе $t_{\text{общ ср.}} = 100,7$ с, при среднеквадратичном отклонении 89,1 с. Таким образом, при традиционном способе интервалы среднеквадратичных отклонений составляют $11,6 < t_{\text{общ ср.}} < 189,8$, что показывает значительную неустойчивостью применения данного способа.

Общее среднее время при применении программного продукта GeoHydrants составило $t_{\text{общ ср.}} = 22,7$ с, а среднеквадратичное отклонение 9,15 с. Интервальные значения среднеквадратичных отклонений составили $13,55 < t_{\text{общ ср.}} < 31,85$, что показывает об устойчивости и воспроизводимости данного способа поиска ближайшего водоисточника для тушения пожара.

Проведенные исследования показали, что автоматизация процесса принятия управленческого решения по выбору ближайшего водоисточника не только сокращает на 77,4% среднее время поиска, но и обеспечивает значительно более устойчивый и воспроизводимый результат. Таким образом, использование разработанного программного продукта GeoHydrants

Руководителями тушения пожара при проведении работ по ликвидации пожаров, уменьшает зависимость результата от субъективных ошибок, неточностей визуального ориентирования и случайных задержек при обнаружении водисточника.

Выводы по результатам графического анализа

Графическая интерпретация результатов экспериментальной апробации подтверждает выводы, полученные на основе табличного анализа. Использование программного продукта GeoHydrants обеспечивает:

- существенное сокращение времени поиска пожарных гидрантов;
- более стабильные показатели времени следования к источникам водоснабжения;
- снижение общего времени боевого развертывания;
- повышение наглядности и обоснованности принимаемых тактических решений.

Таким образом, диаграммы и графики не только иллюстрируют количественное преимущество автоматизированного подхода, но и подтверждают целесообразность внедрения программного продукта GeoHydrants в практическую деятельность подразделений противопожарной службы.

5. Методические рекомендации по использованию системы автоматизированного поиска источников противопожарного водоснабжения

Настоящая глава посвящена изложению методических рекомендаций по практическому использованию системы автоматизированного поиска источников противопожарного водоснабжения в деятельности противопожарных подразделений. Раздел разработан на основе результатов апробации системы, анализа выявленных ограничений и обобщения опыта ее применения в условиях, приближенных к реальной оперативной обстановке.

Приведенные рекомендации направлены на обеспечение единообразного и корректного использования функциональных возможностей системы, формирование устойчивых навыков работы у личного состава, а также повышение эффективности информационного обеспечения при принятии управленческих решений руководителем тушения пожара. Особое внимание уделяется вопросам взаимодействия пользователя с основными модулями системы, порядку работы с базой данных источников противопожарного водоснабжения и применению системы на различных этапах оперативного реагирования.

Изложенный материал ориентирован на практическое применение и может использоваться как в повседневной деятельности пожарно-спасательных подразделений, так и в процессе профессиональной подготовки и повышения квалификации личного состава.

5.1 Описание работы приложения и общая логика интерфейса

Программное приложение GeoHydrants предназначено для информационной поддержки действий противопожарных подразделений при поиске и использовании источников противопожарного водоснабжения. Архитектура пользовательского интерфейса разработана с учетом требований оперативной деятельности и ориентирована на минимизацию времени принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций.

После запуска приложения пользователь попадает на стартовую страницу, которая выполняет функцию центрального навигационного экрана и обеспечивает быстрый доступ к основным режимам работы системы (рисунок 5.1). В верхней части экрана отображаются ключевые обобщенные показатели, позволяющие оперативно оценить текущую ситуацию: общее количество гидрантов, зарегистрированных в системе, а также расстояние до ближайшего источника противопожарного водоснабжения, определяемое автоматически на основе текущего местоположения пользователя.

В центральной части стартовой страницы расположен блок выбора режима работы, включающий два основных варианта взаимодействия с системой.

Режим дополненной реальности (AR-режим) предназначен для визуальной навигации к гидрантам в реальном пространстве с использованием камеры мобильного устройства. Картографический режим («Карта») обеспечивает отображение всех источников противопожарного водоснабжения на карте местности, построение маршрутов и анализ их состояния. Дополнительно на стартовом экране предусмотрена кнопка справки, позволяющая пользователю получить разъяснения по функциональным возможностям приложения.

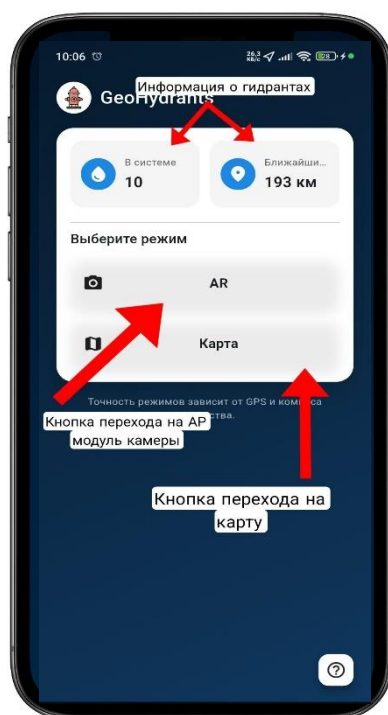


Рисунок 5.1 – Стартовая страница приложения GeoHydrants

5.2. Использование картографического режима приложения

Экран «Карта» предназначен для визуализации пространственного распределения источников противопожарного водоснабжения и оценки их состояния в пределах зоны оперативного реагирования (рисунок 5.2). В качестве картографической основы используется открытая карта OpenStreetMap, обеспечивающая достаточную детализацию улично-дорожной сети и объектов городской инфраструктуры.

На карте отображаются маркеры пожарных гидрантов, дифференцированные по цвету в зависимости от их технического состояния. Зеленый цвет используется для обозначения исправных и полностью работоспособных гидрантов, желтый - для частично работоспособных, красный - для неисправных источников. Такая цветовая индикация позволяет пользователю быстро ориентироваться в оперативной обстановке и принимать решения без необходимости детального анализа каждого объекта.

Текущее местоположение пользователя обозначается отдельным маркером синего цвета, координаты которого обновляются в режиме реального времени на основе данных глобальной навигационной спутниковой системы.

После выбора конкретного гидранта система автоматически строит маршрут движения от текущей позиции пользователя до выбранного источника водоснабжения. Маршрут отображается в виде линии, цвет которой соответствует состоянию гидранта, что позволяет учитывать техническую пригодность источника уже на этапе планирования подъезда. Расчет маршрута осуществляется с использованием сервиса OSRM.

При нажатии на маркер гидранта в нижней части экрана отображается информационная карточка объекта, содержащая адрес, ориентиры, основные технические параметры, статус работоспособности, а также контактные данные организации-балансодержателя. В карточке предусмотрена функция построения маршрута, обеспечивающая быстрый переход к навигации.

Экран карты также оснащен набором функциональных кнопок управления, включая переход в AR-режим (рисунок 5.2), поиск по адресу, центрирование карты по текущему местоположению пользователя и очистку маршрутов. В левом верхнем углу размещена легенда условных обозначений, поясняющая значения цветов маркеров и линий маршрутов.



Рисунок 5.2 - Экран карты приложения GeoHydrants

5.3 Использование режима дополненной реальности при поиске гидрантов

Экран AR-режима предназначен для визуализации источников противопожарного водоснабжения непосредственно в реальном пространстве с использованием технологии дополненной реальности (рисунок 5.3). В данном режиме активируется камера мобильного устройства, на изображение

с которой накладываются графические элементы, указывающие направление и расстояние до ближайшего гидранта.

В верхней части экрана отображается информация о ближайшем источнике противопожарного водоснабжения, включая числовое значение расстояния до него, автоматически рассчитываемое на основе текущих координат пользователя. На изображении также отображается маркер гидранта, служащий ориентиром для движения пользователя в реальной среде.

Для повышения удобства использования в условиях ограниченной видимости или высокой нагрузке предусмотрена функция голосового озвучивания расстояния до гидранта. Управление режимом дополненной реальности осуществляется с помощью кнопки возврата, позволяющей выйти из AR-режима и вернуться к предыдущему экрану. Дополнительно в верхней части экрана размещается мини-карта, обеспечивающая комбинированное использование визуальной навигации и картографического ориентирования.

Интерфейс AR-режима рассчитан на минимальное взаимодействие пользователя с элементами управления и ориентирован на следование визуальным подсказкам, что особенно важно при использовании системы в условиях реальной оперативной обстановки. AR-режим приложения GeoHydrants рисунок 5.3.

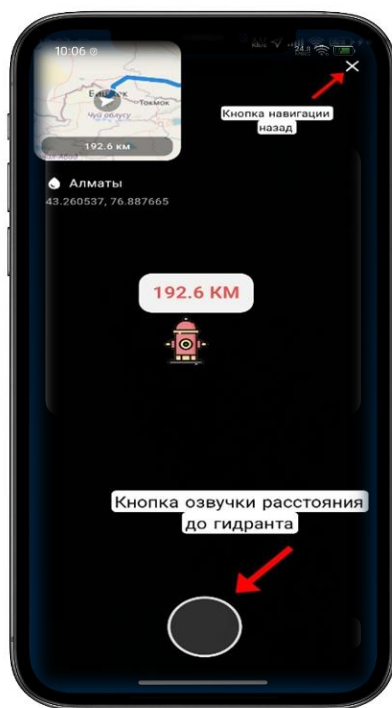


Рисунок 5.3 – Экран AR-режима приложения GeoHydrants

5.4. Работа с информационным окном гидранта

Информационное окно гидранта предназначено для детального ознакомления пользователя с характеристиками выбранного источника противопожарного водоснабжения (рисунок 5.4). Окно открывается при выборе маркера гидранта на карте и содержит структурированную информацию, необходимую для принятия тактических решений.

В верхней части окна отображаются адрес и ориентиры, позволяющие уточнить местоположение гидранта. Далее приводятся основные технические характеристики объекта, включая тип исполнения (наземный или подземный), рабочее давление и диаметр. Отдельный блок посвящен состоянию гидранта, где указывается его пригодность к использованию, код выявленного дефекта и дата последней проверки.

Дополнительно в окне отображается информация о балансовой принадлежности гидранта, включая наименование ответственной организации и контактные данные. В нижней части окна расположены кнопки управления, позволяющие построить маршрут к выбранному гидранту и скопировать его точные координаты для последующего использования или передачи информации другим участникам оперативных действий.

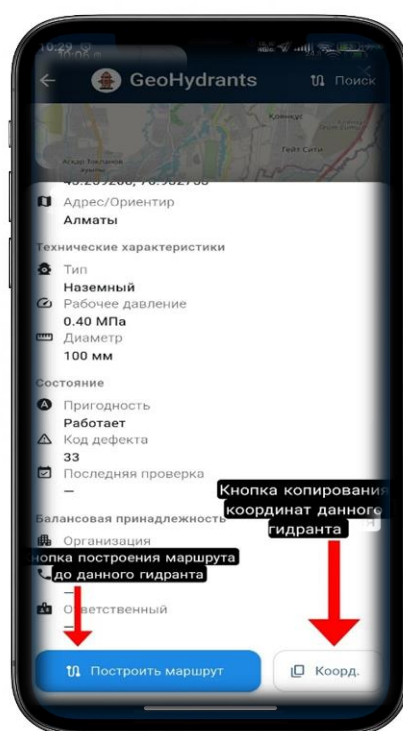


Рисунок 5.4 - Информационное окно гидранта

5.5. Инструкция по внесению объекта «гидрант» в базу данных Firestore

Для обеспечения актуальности и достоверности информации об источниках противопожарного водоснабжения система GeoHydrants предусматривает возможность централизованного внесения и обновления данных в базе Firestore. Корректное заполнение базы данных является обязательным условием устойчивого функционирования системы и достоверного отображения информации в картографическом и AR-режимах.

В целях унификации действий пользователей и исключения ошибок при работе с базой данных разработана инструкция по внесению объекта «гидрант». Дополнительно для пользователей предусмотрена

видеоинструкция по добавлению гидрантов, размещённая в файле «Видеоинструкция по добавлению гидрантов.mp4».

Навигация к целевой коллекции

Для начала работы необходимо осуществить вход в консоль управления Firebase Console по адресу:

<https://console.firebase.google.com/u/0/project/geohydrant/overview>

Вход выполняется под учетной записью администратора. Создание новых пользователей осуществляется посредством направления приглашения на электронную почту.

В левом навигационном меню следует выбрать раздел Build → Firestore Database, после чего в панели коллекций (первый столбец интерфейса) выбрать коллекцию hydrants, предназначенную для хранения данных о пожарных гидрантах.

Инициализация документа

В панели документов (второй столбец интерфейса) необходимо нажать кнопку Add document («Добавить документ»).

В поле Document ID следует выбрать опцию Auto-ID.

Следует отметить, что ручной ввод идентификатора документа не допускается. Использование автоматической генерации идентификатора является обязательным условием, обеспечивающим уникальность записи и корректную работу системы.

Заполнение атрибутов объекта

После инициализации документа производится заполнение атрибутов объекта «гидрант». Для каждого поля необходимо последовательно указать:

- наименование поля (Field) в строгом соответствии с установленной структурой;

- тип данных (Type) — string (строка);

- значение поля (Value), соответствующее фактическим данным объекта.

Обязательные атрибуты объекта «гидрант» приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Атрибуты объекта «гидрант», подлежащие обязательному заполнению

Наименование поля (Field)	Описание значения (Value)	Пример заполнения
address	Фактический адрес расположения объекта.	г. Алматы, ул. Абая 10
lat	Географическая широта (координаты).	43.238949
lon	Географическая долгота (координаты).	76.889709
status	Текущий эксплуатационный статус.	active

type	Тип конструктивного исполнения гидранта.	<i>Наземный / Подземный</i>
landmark	Ближайший визуальный ориентир.	<i>Водоколонка / Кафе</i>
pressure_bar	Показатель давления в сети (бар).	2.5
defects_code	Код неисправности (при наличии) или "нет".	—
last_inspection	Дата последней проверки (формат: ГГГГ.ММ.ДД).	2025.03.29
diameter_mm	Диаметр входного отверстия (мм).	100

Заполнение полей должно осуществляться на основании первичных данных обследования, эксплуатационной документации или результатов геолокационной привязки.

Фиксация и проверка внесённых данных

После завершения ввода атрибутов необходимо выполнить проверку корректности заполнения всех полей, сверив введённые сведения с исходной документацией или фактическими координатами объекта.

Для сохранения данных следует нажать кнопку Save («Сохранить») в нижней части формы. После сохранения необходимо убедиться, что созданный документ отображается в списке коллекции hydrants и корректно визуализируется в интерфейсе базы данных.

Корректное выполнение указанных действий обеспечивает актуальность базы данных, достоверное отображение гидрантов в приложении GeoHydrants и повышает эффективность использования системы при оперативном реагировании противопожарных подразделений.

5.6. Рекомендации по контролю и актуализации данных источников противопожарного водоснабжения

Эффективность функционирования системы автоматизированного поиска источников противопожарного водоснабжения в значительной степени определяется актуальностью и достоверностью данных, содержащихся в базе. Несвоевременное обновление информации о техническом состоянии, доступности и параметрах гидрантов может привести к искажению оперативной картины и снижению эффективности принимаемых управленческих решений. В связи с этим организация системного контроля и актуализации данных является обязательным элементом эксплуатации системы GeoHydrants.

Контроль состояния и актуализация информации о гидрантах рекомендуется осуществлять на плановой и внеплановой основе. Плановые мероприятия целесообразно проводить в рамках регламентных осмотров и технического обслуживания источников противопожарного водоснабжения, а

также при подготовке к пожароопасному периоду. Внеплановая актуализация данных должна осуществляться при выявлении неисправностей, изменении условий подъезда, реконструкции улично-дорожной сети, а также по результатам тушения пожаров и проведения тактико-специальных учений.

Ответственность за внесение и корректировку данных рекомендуется закреплять за конкретными должностными лицами или структурными подразделениями, уполномоченными на ведение учета источников противопожарного водоснабжения. При этом целесообразно предусмотреть разграничение прав доступа пользователей системы, обеспечивающее возможность редактирования данных только для авторизованных лиц и снижение риска несанкционированного изменения информации.

Для повышения достоверности данных рекомендуется использовать комбинированный подход к их проверке, включающий сопоставление сведений, содержащихся в системе, с результатами фактических обследований, материалами эксплуатационных организаций и данными геолокации. При необходимости целесообразно использовать фото- и видеофиксацию состояния гидрантов с последующим внесением подтверждающих материалов в информационную систему или сопроводительную документацию.

Особое внимание следует уделять актуализации критически значимых параметров, влияющих на возможность использования гидрантов при тушении пожаров, включая эксплуатационный статус, рабочее давление, диаметр и доступность подключения пожарной техники. Изменения указанных параметров должны незамедлительно отражаться в базе данных с указанием даты последней проверки и, при необходимости, кода выявленного дефекта.

Таким образом, системная организация контроля и актуализации данных источников противопожарного водоснабжения позволяет обеспечить надежность информационного обеспечения системы GeoHydrants, повысить уровень доверия пользователей к автоматизированным средствам поддержки и создать условия для эффективного применения системы в деятельности противопожарных подразделений на всех уровнях.

5.7. Алгоритм использования системы автоматизированного поиска источников противопожарного водоснабжения при тушении пожара

Использование системы автоматизированного поиска источников противопожарного водоснабжения при тушении пожара должно осуществляться в соответствии с единым алгоритмом действий, обеспечивающим ее рациональное и эффективное применение в условиях оперативной обстановки. Приведенный алгоритм носит рекомендательный характер и предназначен для использования в качестве методической основы при организации работы противопожарных подразделений.

На этапе следования подразделений к месту пожара рекомендуется осуществить предварительный анализ обстановки с использованием системы GeoHydrants. Пользователь, ответственный за информационное обеспечение, открывает приложение и определяет ближайшие доступные источники противопожарного водоснабжения в районе предполагаемого боевого развертывания. При этом производится оценка расстояния до источников, их технического состояния и возможных маршрутов подъезда пожарной техники.

После прибытия подразделений на место пожара система применяется на этапе разведки и уточнения оперативной обстановки. В картографическом режиме осуществляется выбор наиболее рационального источника противопожарного водоснабжения с учетом фактических условий подъезда, состояния гидрантов и предполагаемой схемы прокладки рукавных линий. При необходимости используется режим дополненной реальности для точного визуального определения местоположения гидранта, особенно в условиях отсутствия видимых ориентиров.

На этапе организации боевого развертывания система используется для навигации к выбранному источнику противопожарного водоснабжения и контроля соответствия фактического маршрута расчетному. Информация о технических характеристиках гидранта, содержащаяся в информационном окне, используется для принятия решений о способе подключения пожарной техники и оценке возможных ограничений по подаче воды.

В процессе тушения пожара система может применяться для оперативного поиска резервных источников противопожарного водоснабжения в случае выхода из строя основного гидранта, недостаточности подачи воды или изменения тактической обстановки. Использование базы данных позволяет быстро определить альтернативные варианты водоснабжения и скорректировать действия подразделений без значительных временных потерь.

По завершении тушения пожара и выполнении первоочередных работ рекомендуется использовать систему для фиксации выявленных изменений в состоянии источников противопожарного водоснабжения. При необходимости в базу данных вносятся сведения о неисправностях, затрудненном доступе или иных обстоятельствах, выявленных в ходе оперативных действий. Данный этап позволяет обеспечить актуализацию информации и повысить эффективность использования системы при последующих выездах.

Таким образом, применение системы автоматизированного поиска источников противопожарного водоснабжения в соответствии с предложенным алгоритмом способствует сокращению временных затрат на организацию водоснабжения, повышению обоснованности управленческих решений и увеличению общей эффективности действий противопожарных подразделений при тушении пожаров.

Список литературы

1. Мельник А. А. Справочник начальника караула пожарной части / Мельник А. А., Мартинович Н. В., Калюжина Ж. С. // Красноярск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС - 2015. - 166 с.
2. Брушлинский, Н.Н. Безопасность городов. Имитационное моделирование городских процессов и систем [Текст] / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, П. Вагнер [и др.]. – М.: ФАЗИС, 2004. – 172 с.
3. Приказ Министра внутренних дел Республики Казахстан. Об утверждении Правил организации тушения пожаров: утв. 26 июня 2017 года № 446 [Электронный ресурс] // Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан Әділет [сайт]. – Режим доступа: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1700015430> (дата обращения (09.09.2024 г.)).
4. Приказ Председателя Комитета противопожарной службы Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан. Об утверждении Наставления по пожарно-спасательной подготовке : утв. 10 апреля 2023 года [Электронный ресурс] // Единая платформа интернет-ресурсов государственных органов Республики Казахстан [сайт]. – Режим доступа: www.gov.kz/memleket/entities/kps/documents/details/456529?lang=ru (дата обращения (06.09.2024 г.)).
5. Чистяков А.В. Сборник методических и руководящих документов по организации подготовки личного состава гарнизонов противопожарной службы / Чистяков А.В., Мадиев Т.С., Сейдалин М.М. // - 2023 – С. 140.
6. Кусаинов, А.Б. Анализ обстановки с пожарами в городах Республики Казахстан [Текст] / А.Б. Кусаинов // Пожары и чрезвычайные ситуаций: предотвращение и ликвидация. – 2016. – № 2. – С. 54–57.
7. Мешалкин Е. А. К вопросу автоматизации информационной поддержки действий должностных лиц на пожаре / Е. А. Мешалкин, А. Г. Крылов, В. Т. Олейников, А. П. Абрамов // Материалы 11 Междунар. конф. «Системы безопасности» – СБ-2002. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. – С. 11–13.
8. Березницкий В. В. Исследование и разработка алгоритма нахождения алгоритма кратчайшего пути на графе / В. В. Березницкий, Н. В. Лукьянова // Молодежный техн. вестн. – 2012. – № 3. – С. 6. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru> (дата обращения: 22.10.2024г.).
9. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. – М.: МЦНМО, 2002. – 960 с.
10. Кипер А. В. Разработка системы поддержки принятия решений руководителя тушения пожара на базе нечеткой нейронной сети ANFIS при пожаре на территории морского порта / А. В. Кипер., Т. С. Станкевич

- // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2013. – № 1. – С. 38–46.
11. Кусаинов А.Б., Альменбаев М.М., Макишев Ж.К., Максимов П.В., Смагулов Б.Е. Анализ времени оперативного реагирования противопожарных подразделений на пожары и чрезвычайные ситуации // «Наука и образование в гражданской защите» – Кокшетау: Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, 2024. № 3 (55). – С. 75-80 [Электронный ресурс] Режим доступа:
https://agz.edu.kz/public/uploads/2024/NachZh_55/3_55_.ot_10.10_75_80.pdf (дата обращения: 22.10.2024г.).
12. Социальная сеть ВКонтакте // Группа ЭСУ ППВ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vk.com/esu_ppw (дата обращения: 13.05.2025).
13. Пожару – нет! // Эффективное использование персонального компьютера в ПО. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pojaru.net.ru/forum/20-902-19> (дата обращения: 02.05.2025).
14. Пат. 18586 U1, Российская Федерация, МПК G06F 17/30(2000.01) Геоинформационная система / Жалковский Е.А., Жалковский Е.Е., Страхов В.Н. – № 2001106041/20; заявл. 2001.03.13; опубл. 2001.06.27. – 6 с.
15. Трофимова Л.А., Трофимов В.В. Методы принятия управленческих решений: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2012. – 101 с.
16. Абрамов Н. Н. Надежность систем водоснабжения. – 2-е изд. – М. : Стройиздат, 1986. – 216 с.
17. Расчет водопроводных сетей / Н. Н. Абрамов, М. М. Поспелова, В. Н. Варпаев, Д. Х. Керинова, М. А. Сомов. – М. : Стройиздат, 1976. – 304 с.
18. Башта Т. М. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы / Т. М. Башта, С. С. Руднев, В. В. Некрасов, О. В. Байбаков, Ю. Л. Кирилловский. – М. : Машиностроение, 1970. – 369 с.
19. Иванов Е. Н. Противопожарное водоснабжение. – М. : Стройиздат, 1986. – 316 с.
20. Лобачев П. В. Насосы и насосные станции. – М. : Стройиздат, 1990. – 320 с.
21. Николадзе Г. И. Водоснабжение. – М. : Стройиздат, 1989. – 496 с.
22. Гейер В. Г. Гидравлика и гидропривод / В. Г. Гейер, В. С. Дулин, А. Н. Заря. – М. : Недра, 1991. – 331 с.
23. Сборник задач по машиностроительному водоснабжению / Д. А. Бутаев, З. А. Калмыкова, Н. Г. Подвидз [и др.]. – М. : Машиностроение, 1981. – 464 с.
24. Соколов Е. Я. Струйные аппараты / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер. – М. : Госэнергоиздат, 1960.
25. Тарасов-Агалаков Н. А. Противопожарное водоснабжение / Н. А. Тарасов-Агалаков, В. Ф. Ходоков. – М. : Стройиздат, 1967. – 307 с.

26. Турк В. И. Насосы и насосные станции / В. И. Турк, А. В. Минаев, В. Я. Карелин. – М. : Стройиздат, 1976. – 304 с.
27. Воротынцев Ю. П. Инспектору госпожнадзора о противопожарном водоснабжении / Ю. П. Воротынцев, Б. Н. Малахов. – М. : Стройиздат, 1987. – 80 с.
28. Черкасский В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. – М. : Энергия, 1997. – 424 с.
29. Шерстюк А. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. – М. : Высшая школа, 1972. – 342 с.
30. Абросимов Ю. Г. Задачник по гидравлике и противопожарному водоснабжению. Ч. 1. Гидравлика в пожарном деле / Ю. Г. Абросимов, А. А. Качалов, Ю. А. Мышак, А. И. Иванов. – М. : ВИПТШ МВД СССР, 1989. – 114 с.
31. Абросимов Ю. Г. Задачник по гидравлике и противопожарному водоснабжению. Ч. 2. Противопожарное водоснабжение / Ю. Г. Абросимов, А. А. Качалов, Ю. А. Мышак, А. И. Иванов. – М. : ВИПТШ МВД СССР, 1990. – 119 с.
32. Чистяков Н. Н. Противопожарное водоснабжение зданий / Н. Н. Чистяков, Ю. Ш. Коган, Е. Е. Кирюханцев. – М. : Стройиздат, 1990. – 176 с.
33. Качалов А. А. Задачник по гидравлике и противопожарному водоснабжению. Ч. 1. Гидравлика в пожарном деле. – М. : ВИПТШ МВД СССР, [б. г.]. – 120 с.
34. Качалов А. А. Задачник по гидравлике и противопожарному водоснабжению. Ч. 2. Противопожарное водоснабжение. – М. : ВИПТШ МВД СССР, [б. г.]. – 120 с.
35. Смирнов С. Н. Противопожарная безопасность. – М. : ДиС, 2010. – 144 с.
36. Рудник В. П. Эксплуатация систем водоснабжения / В. П. Рудник, П. И. Петимко, В. Д. Семенюк ; под общ. ред. В. Д. Семенюка. – М. : Аврора, 2011. – С. 119–125.
37. Справочник проектировщика. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий / под ред. И. А. Назарова. – М. : Стройиздат, 2012. – С. 119–122.
38. Московитин А. С. Оборудование противопожарного водоснабжения. – М. : Стройиздат, 2012. – С. 202–210.
39. Лобачев П. В. Насосы и насосные станции. – М. : Стройиздат, 2013. – С. 177–183.
40. Гидравлика и противопожарное водоснабжение / под ред. канд. техн. наук, доц. Ю. Г. Абросимова. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2003.
41. Качалов А. А. Противопожарное водоснабжение : учебник для пожарнотехнических училищ / А. А. Качалов, Ю. П. Воротынцев, Л. В. Власов. – М. : Стройиздат, 1985. – 286 с.

42. Журба М. Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений : в 3 т. / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова. – М. : Изд-во АСВ, 2010. – 496 с.
43. Московитин А. С. Оборудование противопожарного водоснабжения. – М. : Стройиздат, 2009. – 210 с.
44. Шевелев Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб : справочное пособие / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев. – 6-е изд., доп. и перераб. – М. : Стройиздат, 1984. – 116 с.
45. Абрамов Н. Н. Водоснабжение. – М. : Стройиздат, 2012. – С. 116–123.
46. Брешнев В. И. Охрана труда при эксплуатации систем водоснабжения и канализации / В. И. Брешнев, В. М. Трескунов. – М. : Стройиздат, 2013. – С. 67–73.
47. Дмитриев В. Д. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения : справочник / В. Д. Дмитриев, Б. Г. Мишуков ; под ред. В. Д. Дмитриева. – М. : Стройиздат, 2011. – С. 72–77.
48. Курчанов А. М. Гидравлические расчеты водоснабжения и водоотведения : справочник / А. М. Курчанов, Н. Ф. Федоров ; под общ. ред. А. М. Курчанова. – М. : Стройиздат, 2011. – С. 321–328.
49. Кульский Л. А. Проектирование и расчет противопожарного водоснабжения / Л. А. Кульский, М. Н. Булава, И. Т. Гороновский. – М. : Инфра, 2011. – С. 156–161.
50. Жучков В. В. Противопожарное водоснабжение : учебник / В. В. Жучков, А. А. Пименов. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2016. – 298 с.
51. Анохин П. М. Противопожарное водоснабжение : учебное пособие / П. М. Анохин, А. В. Александров, И. А. Нуруллин. – Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2013. – 204 с.
52. Путько А. В. Противопожарное водоснабжение : учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2015. – 95 с.
53. Алексеев М. В. Основы пожарной профилактики в технологических процессах производств. – Надым : Высшая школа МВД СССР, 1972. – 340 с.
54. Бубнов В. Б. Противопожарное водоснабжение : методические рекомендации по выполнению дипломного проекта для слушателей специальности 280104.65 «Пожарная безопасность» / В. Б. Бубнов, Д. Г. Снегирев. – Иваново : Ивановский институт ГПС МЧС России, 2006. – 83 с.
55. Водоснабжение и водоотведение. Наружные сети и сооружения : справочник / Б. Н. Репин, С. С. Запорожец, В. Н. Ереснов [и др.] ; под ред. Б. Н. Репина. – Нальчик : Высшая школа, 1995. – 431 с.
56. Тирановский Г. Г. Монтаж автоматического пожаротушения в кабельных сооружениях энергетических объектов. – М. : Энергоиздат, 1982. – 64 с.
57. СН РК 4.01-03-2013. Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации : строительные нормы Республики Казахстан : с изм. от 07.11.2019 № 179-НК.

58. СН РК 4.01-05-2002. Инструкция по проектированию и монтажу сетей водоснабжения и канализации из пластмассовых труб : строительные нормы Республики Казахстан.
59. СП РК 4.01-103-2013. Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации : свод правил Республики Казахстан : с изм. от 25.12.2017 № 319-НК.
60. СП РК 4.01-14-2005. Проектирование и монтаж подземных трубопроводов водоснабжения с использованием труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом : свод правил Республики Казахстан.
61. Абрамов Н. Н. Водоснабжение. – М. : Стройиздат, 1982. – 440 с.
62. Вагнер Б. Наиболее эффективное программирование на C#. 50 способов улучшения кода. – М. : Вильямс, 2017. – 240 с.
63. Троелсен Э. Язык программирования C# 7 для платформы .NET и .NET Core / Э. Троелсен, Ф. Джепикс. – 8-е изд. – М. : Диалектика, 2018. – 1328 с.
64. Климова Л. М. Высокоуровневые методы информатики и программирования : практикум. – М. : РГТЭУ, 2004. – 40 с.
65. Кознов Д. В. Основы визуального моделирования. – М. : Интернет-университет информационных технологий, 2008.
66. Макаров С. Л. Учебное пособие по выполнению практических заданий по курсам «Разработка облачных и мобильных приложений на платформе Google Android» и «Введение в Android-разработку на Kotlin» в среде Android Studio.
67. Голощапов А. Л. Google Android. Создание приложений для смартфонов и планшетных ПК. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2014. – 928 с.
68. Соколова В. В. Разработка мобильных приложений : учебник для среднего профессионального образования. – М. : Издательство Юрайт, 2025. – 160 с.
69. Ларина Н. А. Технологии программирования и командная разработка программного продукта : учебное пособие для бакалавров направления «Информатика и вычислительная техника». – Рубцовск : Рубцовский индустриальный институт, 2021. – 51 с.
70. Создание приложений для Android [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unityhub.ru/manual/android-BuildProcess>. – Дата обращения: 06.05.2026.
71. Создание мобильного приложения с дополненной реальностью и меню для Android с использованием среды разработки Unity и компонента Vuforia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: file:///C:/Users/User/Downloads/prilozhenie_2._unity_ar_prilozhenie_c_ar_i_menyu.pdf. – Дата обращения: 06.05.2026.

72. Федоров Д. Ю. Программирование на языке высокого уровня Python : учебное пособие для прикладного бакалавриата. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2019. – 161 с.
73. Буйначев С. К. Основы программирования на языке Python : учебное пособие / С. К. Буйначев, Н. Ю. Боклаг. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 91 с.
74. Бизли Д. М. Язык программирования Python : справочник : пер. с англ. – Киев : ДиаСофт, 2000.
75. Гифт Н. Python в системном администрировании UNIX и Linux : пер. с англ. / Н. Гифт, Д. Джонс. – СПб. : Символ-Плюс, 2009.
76. Лейнингем И. Освой самостоятельно Python за 24 часа : пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2001.
77. Лесса А. Python. Руководство разработчика : пер. с англ. – СПб. : ДиасофтЮП, 2001.
78. Лутц М. Изучаем Python : пер. с англ. – СПб. : Символ-Плюс, 2009.
79. Лутц М. Программирование на Python : пер. с англ. – СПб. : Символ-Плюс, 2002.
80. Саммерфельд М. Программирование на Python 3. Подробное руководство : пер. с англ. – СПб. : Символ-Плюс, 2009.
81. Макишев Ж.К. Научно-технический отчет: «Предложения по методам совершенствования оперативного реагирования пожарных подразделений на ЧС» / Академия гражданской защиты им. М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан, 2025 – 21с.

Кусаинов А.Б., Макишев Ж.К., Альменбаев М.М., Максимов П.В.,
Захаров И.А., Смагулов Б.Е.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПОИСКА ИСТОЧНИКОВ
ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ОПЕРАТИВНОМ
РЕАГИРОВАНИИ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ
МОНОГРАФИЯ

Подписано в печать 18.06.2026 г.
Формат 60х84/16 Усл. п.л 6,3
Тираж 500 экз.

Отпечатано в типографии
Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина
МЧС Республики Казахстан
020000, Республика Казахстан, Акмолинская область,
Г. Кокшетау, ул. Акана Серэ, 136
Тел. 8 (7162) 25-28-95