

УДК 614.849
МРНТИ 81.92.13

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

*Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики
Казахстан, Кокшетау, Казахстан*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОИСКА ИСТОЧНИКОВ ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ

Аннотация. В статье проведен сравнительный анализ существующих методов поиска источников противопожарного водоснабжения, применяемых при тушении пожаров. Рассмотрены традиционные подходы, ГИС-ориентированные системы учета, алгоритмические методы оптимизации выбора водоисточников, а также AR-ориентированная методика поиска, реализованная в программном продукте GeoHydrants. На основе системы критериев проведено сопоставление указанных методов и обоснована целесообразность применения технологий дополненной реальности для повышения оперативности действий пожарных подразделений.

Ключевые слова: пожар, противопожарное водоснабжение, источники противопожарного водоснабжения, поиск водоисточников, руководитель тушения пожара, геоинформационные системы, алгоритмы поиска, дерево решений, дополненная реальность, AR-технологии.

Одним из ключевых условий успешного тушения пожара является своевременное и бесперебойное обеспечение подразделений противопожарной службы водой в требуемом объеме. В процессе ликвидации пожара руководитель тушения пожара (РТП) обязан в минимально короткие сроки определить местоположение ближайших источников противопожарного водоснабжения, оценить их состояние и организовать подачу воды на участки тушения пожара [1].

На практике поиск водоисточников осложняется рядом факторов: плотной городской застройкой, сложной инженерной инфраструктурой, недостаточной актуальностью учетных данных, а также ограниченной видимостью в условиях задымления и неблагоприятных метеорологических условий. Указанные обстоятельства обуславливают необходимость совершенствования методов поиска источников противопожарного водоснабжения и внедрения цифровых технологий в оперативную деятельность противопожарных подразделений [1].

Традиционно поиск источников противопожарного водоснабжения осуществлялся с использованием статических планшетов, перечней и схем водоисточников. Данный подход характеризуется простотой реализации, однако не обеспечивает оперативного учета изменений состояния гидрантов, дорожной обстановки и фактического местоположения личного состава [1].

С развитием информационных технологий широкое распространение получили ГИС-ориентированные системы учета источников наружного противопожарного водоснабжения. В таких системах информация о водоисточниках представляется в цифровом виде и визуализируется на электронных картах. К числу ГИС-ориентированных решений, применяемых в практике противопожарных

подразделений стран СНГ, относятся программные продукты «Карта 01», ЭСУ ППВ, EWS и ряд аналогичных систем, использующих в качестве картографической основы платформы OpenStreetMap, Google MyMaps и 2ГИС.

ГИС-ориентированные методы позволяют повысить точность определения координат водоисточников, обеспечивают возможность обновления данных и частично автоматизируют процесс поиска. Вместе с тем данные системы требуют от пользователя навыков интерпретации картографической информации и не всегда удобны при работе непосредственно в условиях пожара [1].

В рамках реализации научно-технического проекта «Автоматизация процессов поиска источников водоснабжения для оперативного реагирования противопожарных подразделений на чрезвычайные ситуации» авторским коллективом проведена серия исследований, направленных на выбор и обоснование наиболее эффективных методов поиска источников противопожарного водоснабжения для оперативного применения в условиях тушения пожаров. В ходе работы рассматривались как традиционные подходы к поиску водоисточников, так и алгоритмические методы, позволяющие формализовать процесс принятия решений РТП и снизить временные затраты на поиск [2, 3].

В качестве базовых алгоритмических решений были изучены методы, обеспечивающие:

- а) выбор ближайших (наиболее подходящих) водоисточников с учетом тактических параметров тушения;
- б) определение оптимальных маршрутов движения пожарной техники к выбранным источникам и обратно с учетом особенностей улично-дорожной сети и возможных ограничений проезда.

В части маршрутизации применялся подход, при котором улично-дорожная сеть представляется в виде ориентированного взвешенного графа, где вершины соответствуют узлам дорожной сети и водоисточникам, а ребра - участкам дорог с заданными весами. Для нахождения оптимальных маршрутов рассматривались алгоритмы поиска кратчайшего пути, включая алгоритмы Дейкстры и Беллмана-Форда, а также решения на основе дерева решений и методов динамического программирования [5, 6].

Отдельное направление исследований было связано с алгоритмическим распределением водоисточников по участкам тушения и учетом параметров водоотдачи (расхода воды), расстояния и потребности в огнетушащих веществах, что позволяет повышать обоснованность оперативных решений при развитии пожара.

Проведенная работа показала, что алгоритмические методы существенно повышают точность и обоснованность выбора водоисточников и маршрутов их использования. Вместе с тем при практическом применении в условиях пожара выявляется важное ограничение: результаты расчетов представляются в виде таблиц, схем или маршрутов на карте и требуют дополнительной интерпретации пользователем, что может снижать скорость принятия решения в динамичной обстановке.

С учетом выявленных ограничений алгоритмических подходов сформирована и реализована AR-ориентированная методика поиска источников противопожарного водоснабжения, направленная на объединение расчетной обоснованности алгоритмов

с максимальной наглядностью представления результатов. Практическая реализация методики выполнена в виде мобильного программного продукта GeoHydrants.

Ключевая особенность AR-ориентированного подхода заключается в том, что он не логически «заменяет» алгоритмические решения, а интегрирует их в единую прикладную схему, включающую:

- автоматизированное получение и актуализацию данных о водоисточниках из базы;
- определение ближайших водоисточников относительно текущего местоположения пользователя;
- построение маршрута движения по улично-дорожной сети (в том числе с использованием сервисов маршрутизации);
- отображение водоисточника и направления движения не только на карте, но и в реальном пространстве посредством технологий дополненной реальности.

В результате пользователь получает не только расчетно обоснованный выбор водоисточника и маршрут, но и визуальную навигацию через AR-интерфейс, что снижает когнитивную нагрузку и уменьшает вероятность ошибок при ориентировании на местности. Практически значимым является то, что AR-режим позволяет сократить время «финального обнаружения» водоисточника на местности, что особенно актуально при поиске подземных гидрантов и в условиях ограниченной видимости.

Таким образом, AR-ориентированная методика, реализованная в GeoHydrants, обеспечивает более высокий уровень оперативной применимости по сравнению с алгоритмическими решениями, представленными только в виде картографических или расчетных результатов, и рассматривается в рамках проекта как наиболее перспективное направление автоматизации поиска источников противопожарного водоснабжения.

Для оценки эффективности рассмотренных методов поиска источников противопожарного водоснабжения использован формализованный метод многокритериальной оценки, позволяющий сопоставить альтернативные способы поиска водоисточников по совокупности эксплуатационных и тактико-оперативных критериев.

Для проведения анализа были рассмотрены пять альтернативных методов поиска источников противопожарного водоснабжения:

- А – статические планшеты ИНППВ;
- В – ГИС-ориентированный учет водоисточников;
- С – алгоритм транспортной задачи;
- Д – метод дерева решений / графов;
- Е – AR-ориентированная методика GeoHydrants.

В качестве критериев оценки использованы показатели, отражающие оперативную применимость методов в условиях чрезвычайной ситуации: учет расстояния до водоисточника, учет состояния и расхода воды, автоматизация выбора источника, построение маршрута движения, работа в реальном времени, визуализация в реальном пространстве, удобство применения в условиях ЧС, сокращение времени поиска водоисточника и интеграция с мобильными устройствами. Для формализованного расчета функций полезности альтернатив применена процедура количественной интерпретации экспертных оценок. С этой целью значения критериев

приведены к единой числовой шкале, что позволяет обеспечить математическую сопоставимость альтернатив и выполнить последующий расчет в рамках метода взвешенной суммы.

Чтобы выполнить расчет по балльной шкале, используем правило перевода:

- если критерий использован то выставляется балл $U_{ij} = 1$
- если критерий не применен то выставляется балл $U_{ij} = 0$

Веса критериев W_j задаем по пропорциональной шкале от 0 до 1. Система весов критериев приведена в таблице 1 (наибольший приоритет - оперативность и наглядность).

Таблица 1 – Весовые коэффициенты критериев оценки методов поиска источников противопожарного водоснабжения

№	Критерий	Вес W_j
1	Учет расстояния	0,08
2	Учет расхода воды	0,08
3	Учет состояния	0,10
4	Автовыбор ближайшего	0,08
5	Маршрут	0,08
6	Работа в реальном времени	0,12
7	Визуализация в реальном пространстве	0,12
8	Отсутствие необходимости интерпретации карты	0,12
9	Удобство в ЧС	0,10
10	Сокращение времени поиска	0,10
11	Интеграция с мобильными устройствами	0,02

Если известны оценки альтернатив, веса критериев и необходимо максимизировать задачу, то есть чем выше оценка альтернативы, тем она более привлекательна, тогда для принятия оптимального управленческого решения функции полезности каждой альтернативы F_i определяется по формуле [3]:

$$F_i = \sum_{j=1}^k U_{ij} W_j, i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

На основании предложенного подхода проведем оценку альтернатив для принятия оптимального управленческого решения по выбору метода поиска источников противопожарного водоснабжения.

Для этого представим в виде матрицы оценок U_{ij} альтернатив по выбранным критериям (таблица 2).

Таблица 2 – Матрица балльных оценок альтернатив по критериям эффективности методов поиска источников противопожарного водоснабжения

Альтернатива	Оценки критериев										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
А (планшеты)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
В (ГИС)	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1
С (транспортная задача)	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
Д (графы/дерево)	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1
Е (GeoHydrants AR)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Расчеты функции полезности для каждой альтернативы проведенные по формуле 1 показали следующие результаты:

$$F_A = 0,0; F_B = 0,5; F_C = 0,56; F_D = 0,56; F_E = 0,92.$$

Из результатов проведенных расчетов видно, что максимальное значение функции полезности получено для альтернативы Е (AR-ориентированная методика GeoHydrants). Таким образом, согласно методу взвешенной суммы наиболее рациональным является применение AR-подхода в задачах оперативного поиска источников противопожарного водоснабжения при тушении пожаров.

Вывод. Проведенный анализ показал, что из рассматриваемых метода поиска источников противопожарного водоснабжения наиболее оптимальным для применения противопожарными подразделениями является AR-ориентированная методика GeoHydrants. Данное обстоятельство связано с тем, что GeoHydrants обладает преимуществами по работе в реальном времени, визуализации в реальном пространстве и снижению необходимости интерпретации карты.

Исследование выполнено в рамках грантового финансирования Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме проекта AP23489617 «Автоматизация процессов поиска источников водоснабжения для оперативного реагирования противопожарных подразделений на чрезвычайные ситуации».

Список литературы

1. Кусаинов А.Б. Практические аспекты принятия управленческих решений в гражданской защите математическим методом: учебное пособие. – Кокшетау: АГЗ им. М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан, 2025. – 110 с.
2. Кусаинов А.Б., Альменбаев М.М., Макишев Ж.К., Захаров И.А., Максимов П.В. Определение кратчайшего маршрута для бесперебойной подачи воды на тушение пожара // Наука и образование в гражданской защите. – 2024. – № 4 (56). – С. 64-68.
3. Кусаинов А.Б., Альменбаев М.М., Макишев Ж.К., Максимов П.В., Смагулов Б.Е. Определение кратчайшего маршрута для бесперебойной подачи воды на тушение пожара методом дерева решений // Наука и образование в гражданской защите. – 2025. – № 2 (58). – С. 53-59.
4. Алексеев В.Е., Таланов В.А. Графы и алгоритмы. Структуры данных. Модели вычислений: учебник. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 318 с.
5. Ногин В.Д. Линейная свертка критериев в многокритериальной оптимизации // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2014. – № 4. – С. 73–82.
6. Алексеев В.Е. Графы и алгоритмы. Структуры данных. Модели вычислений : учебник по специальности 010200 «Прикладная математика и информатика» / В.Е. Алексеев, В.А. Таланов. – Москва: БИНОМ, Лаборатория знаний [и др.], 2006. – 318, [1] с.: ил. - (Основы информационных технологий).

References

1. Kusainov A.B. Prakticheskie aspekty prinjatija upravlencheskih reshenij v grazhdanskoj zashhite matematicheskim metodom: uchebnoe posobie. – Kokshetau: AGZ im. M. Gabdullina MChS Respubliki Kazahstan, 2025. – 110 s.

2. Kusainov A.B., Al'menbaev M.M., Makishev Zh. K., Zaharov I.A., Maksimov P.V. Opredelenie kratchajshogo marshruta dlja besperebojnoj podachi vody na tushenie pozhara // Nauka i obrazovanie v grazhdanskoj zashhite. – 2024. – № 4 (56). – S. 64-68. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://agz.edu.kz/2024g._nayka_i_obrazovanie_v_grazhdanskoj_zashhite_3_55_ (data obrashhenija: 13.02.2026).

3. Kusainov A.B., Al'menbaev M.M., Makishev Zh.K., Maksimov P.V., Smagulov B.E. Opredelenie kratchajshogo marshruta dlja besperebojnoj podachi vody na tushenie pozhara metodom dereva reshenij // Nauka i obrazovanie v grazhdanskoj zashhite. – 2025. – № 2 (58). – S. 53-59. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://agz.edu.kz/121.html> (data obrashhenija: 14.02.2026).

4. Alekseev V. E., Talanov V. A. Grafy i algoritmy. Struktury dannyh. Modeli vychislenij: uchebnik. – M. : BINOM. Laboratorija znaniy, 2006. – 318 s.

5. Nogin V. D. Linejnaja svertka kriteriev v mnogokriterial'noj optimizacii // Iskusstvennyj intellekt i prinjatие reshenij. – 2014. – № 4. – S. 73–82. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://m.mathnet.ru/links/babffc1bf02ddd29aab258a02e06c48d/iipr379.pdf>

6. Alekseev V.E. Grafy i algoritmy. Struktury dannyh. Modeli vychislenij : uchebnik po special'nosti 010200 «Prikladnaja matematika i informatika» / V.E. Alekseev, V.A. Talanov. – Moskva: BINOM, Laboratorija znaniy [i dr.], 2006. – 318, [1] s.: il. - (Osnovy informacionnyh tehnologij).

А. Б. Құсайынов, М. М. Әлменбаев, Ж. Қ. Мақышев, И.А. Захаров, П. В. Максимов

*Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы,
Көкшетау, Қазақстан*

САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ: ӨРТТІ СӨНДІРУ КЕЗІНДЕ ӨРТКЕ ҚАРСЫ СУМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ КӨЗДЕРІН ІЗДЕУ ӘДІСТЕРІ

Аңдатпа. Мақалада өрттерді сөндіру кезінде қолданылатын өртке қарсы сумен қамтамасыз ету көздерін іздеудің қолданыстағы әдістеріне салыстырмалы талдау жүргізілді. Дәстүрлі тәсілдер, ГАЗ-бағдарланған есепке алу жүйелері, су көздерін тандауды оңтайландырудың алгоритмдік әдістері, сондай-ақ GeoHydrants бағдарламалық өнімінде іске асырылған AR-бағдарланған іздеу әдістемесі қарастырылды. Критерийлер жүйесі негізінде аталған әдістерді салыстыру жүргізіліп, өрт сөндіру бөлімшелерінің жеделдігін арттыру үшін толықтырылған шындық технологияларын қолданудың орындылығы негізделген.

Түйінді сөздер: өрт, өртке қарсы сумен қамтамасыз ету, өртке қарсы сумен қамтамасыз ету көздері, су көздерін іздеу, өрт сөндіру жетекшісі, геоакпараттық жүйелер, іздеу алгоритмдері, шешімдер ағашы, толықтырылған шындық, AR-технологиялар.

A. B. Kusainov, M. M. Almenbaev, Zh. K. Makishev, I.A. Zakharov, P. V. Maksimov

*Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau,
Kazakhstan*

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR SEARCHING FIRE FIGHTING WATER SUPPLY SOURCES DURING FIRE SUPPRESSION

Abstract. The article presents a comparative analysis of existing methods for searching fire fighting water supply sources used in fire suppression. Traditional approaches, GIS-oriented accounting systems, algorithmic methods for optimizing the selection of water sources, as well as an AR-oriented search methodology implemented in the GeoHydrants software product are

considered. Based on a system of criteria, a comparison of these methods is carried out and the feasibility of using augmented reality technologies to improve the operational efficiency of fire departments is substantiated.

Keywords: fire, fire fighting water supply, fire fighting water supply sources, water sources search, fire suppression commander, geographic information systems, search algorithms, decision tree, augmented reality, AR-technologies.

Сведения об авторах / Information about the authors

Кусаинов Арман Булатович – кандидат технических наук, асс. профессор (доцент), начальник факультета дистанционного обучения Академии гражданской защиты им. М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау Казахстан. E-mail: arman_1703@mail.ru

Альменбаев Миржан Маратович – кандидат технических наук, асс. профессор (доцент), заместитель начальника Академии гражданской защиты им. М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан по научной работе, Кокшетау, Казахстан. E-mail: make_kz1986@mail.ru

Макишев Жандос Куандыкович – кандидат технических наук, асс. профессор (доцент), заместитель начальника Академии гражданской защиты им. М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан по учебной работе, Кокшетау, Казахстан. E-mail: makishev_jkkti@mail.ru

Захаров Игорь Анатольевич – кандидат технических наук, асс. профессор (доцент), начальник научно-исследовательского центра Академии гражданской защиты им. М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: emercom.87@mail.ru

Максимов Петр Викторович – асс. профессор (доцент), профессор кафедры пожарной профилактики Академии гражданской защиты им. М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау Казахстан. E-mail: maxmpv@mail.ru

Arman B. Kussainov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (docent), Head of the Faculty of Distance Learning of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: arman_1703@mail.ru

Mirzhan M. Almenbayev – Candidate of Technical sciences, Associate Professor(docent), Deputy Head of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan for scientific work, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: make_kz1986@mail.ru

Zhandos K. Makishev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (docent), Deputy Head of the M. Gabdullin Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan for Academic Affairs, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: makishev_jkkti@mail.ru

Igor A. Zakharov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (docent), head of the research center of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: emercom.87@mail.ru

Pyotr V. Maksimov – Associate Professor (docent), is a professor at the Department of Fire Prevention of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: maxmpv@mail.ru