

Научная статья
УДК 355.588
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.75.12.002

Модель и алгоритм поддержки принятия управленческих решений при проведении поисково-спасательных работ в задымленной среде в условиях пожара

Халил Алаззи Масаед Наджи Малфи

*Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия
<https://orcid.org/0000-0003-4954-0107>*

*Автор, ответственный за переписку: Халил Алаззи Масаед Наджи Малфи
kh.lilasyb@gmail.com*

Аннотация. В статье представлена разработанная модель и алгоритм и результатов эксперименты в условиях естественного и искусственного дыма на основе шлема дополненной реальности (ШДР) при проведении поисково-спасательных работ (ПСР).

Основной целью является сокращение времени проведения ПСР с использованием модели и алгоритма поддержки принятия управленческих решений (ППУР) на основе ШДР в задымленной среде в условиях пожара.

Для достижения поставленной цели в работе решаются задачи, включающие проведение серии экспериментов, разработку алгоритма ППУР при проведении ПСР на основе ШДР в условиях пожара и создание модели ППУР при проведении ПСР на основе ШДР в задымленной среде в условиях пожара.

Методы исследования включает экспериментальные методы, моделирование и статистический анализ. Результаты проведенного статистического анализа подтвердил значимость этих улучшений.

Использование алгоритма ППУР на основе ШДР при проведении ПСР в задымленной среде в условиях пожара позволило сократить время проведения ПСР на 39–47% в вагоне метро и поезда, что подтверждено статистическим анализом ($p < 0,0001$).

Ключевые слова: модель, алгоритм, поисково-спасательные работы, задымленная среда, пожар, поддержка принятия решений

Для цитирования: Малфи Х.А.М.Н. Модель и алгоритм поддержки принятия управленческих решений при проведении поисково-спасательных работ в задымленной среде в условиях пожара // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 4 (39). С. 114-126.
<https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.75.12.002>.

Original article.

Model and algorithm for supporting management decision-making during search and rescue operations in a smoking environment under fire conditions

Khalil Alezzi Musaed Naji Malfi

Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia
<https://orcid.org/0000-0003-4954-0107>

Corresponding author: Khalil Alezzi Musaed Naji Malfi, kh.lilasy6@gmail.com

Abstract. The article presents the developed model and algorithm and the results of experiments in conditions of natural and artificial smoke based on an augmented reality helmet during search and rescue operations.

The main goal is to reduce the time required to conduct a PSR using a management decision support model and algorithm based on SDR in a smoky environment under fire conditions.

To achieve this goal, tasks are being solved in the work, including conducting a series of experiments, developing a PDP algorithm for conducting SDR based on SDR in the conditions of fire and the creation of a PPD model during the implementation of the SDR based on in a smoky environment under fire conditions.

Research methods include experimental methods, modeling, and statistical analysis. The results of the statistical analysis confirmed the significance of these improvements.

The use of the SDR-based PPD algorithm when conducting CPR in a smoky environment under fire conditions made it possible to reduce the time of CPR by 39-47% in a subway car and train, which was confirmed by statistical analysis ($p < 0.0001$).

Keywords: model, algorithm, search and rescue operations, smoky environment, fire, decision support

For citation: Malfi K.A.M.N. Model and algorithm for supporting management decision-making during search and rescue operations in a smoking environment under fire conditions // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2025. № 4 (39). С. 114-126. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.75.12.002>.

Введение

Исследования показывают, что традиционные методы поисково-спасательных работ (ПСР) в задымленной среде, визуальный поиск, применение фонарей, тепловизоров и использование тактильного контакта со стенами, имеют ряд ограничений, связанных с ограниченной видимостью и сложностью навигации в замкнутых пространствах [1-5]. Внедрение технологий дополненной реальности позволяет частично устранить эти проблемы, обеспечивая спасателей визуализированными данными в режиме реального времени [6-12].

Исследование посвящено разработке модели и алгоритма поддержки принятия управленческих решений (ППУР) на основе шлема дополненной реальности (ШДР) при проведении ПСР в задымленной среде. Исследование направлено на сокращение времени выполнения ПСР и улучшение их результативности за счёт ситуационной осведомлённости в режиме реального времени.

Актуальность исследования заключается в необходимости внедрения разработанного алгоритма ППУР на основе ШДР при проведении ПСР в задымленной среде в условиях пожара для сокращения время проведения ПСР и повышение эффективности работы пожарных.

Целью исследования является сокращение времени проведение ПСР на основе разработанного алгоритма ППУР на основе ШДР при проведении ПСР в задымленной среде в условиях пожара естественном дыме (ЕД) и искусственном дыма (ИД).

Задачи исследования:

1. Провести оценку влияния алгоритма ППУР на основе ШДР на время проведения ПСР:
 - измерение и сравнение времени проведения ПСР на основе алгоритма ППУР на основе ШДР.
2. Провести анализ и обсудить полученные результаты данных:
 - сравнительный анализ данных, полученных в ходе серии экспериментов для определения статистической значимости результатов;
 - обсуждение практической значимости исследования, включая возможные области применения алгоритма ППУР на основе ШДР при проведении ПСР в задымленной среде в условиях пожара.
3. Разработать модели ППУР при проведении ПСР в задымленной среде в условиях пожара:
 - создание модели ППУР при проведении ПСР в задымленной среде в условиях пожара, описывающей процессы управления ПСР на основе ШДР;
 - визуализация ключевых процессов и связей между стадиями управления и операциями на основе полученных данных и анализа.

Методика исследования

С целью выполнения задач исследования, необходимо провести серию экспериментов.

В рамках исследования с 7 по 8 декабря 2023 года в Ногинском спасательном центре МЧС России имени Жукова проведена серия экспериментов, разработанного ШДР при проведении ПСР в условиях ИД и ЕД в вагоне метро и в вагоне поезда. Серия экспериментов проведена с использованием разработанной блок-схемы алгоритма ППУР на основе ШДР при проведении ПСР в задымленной среде в условиях пожара (Рис.1).

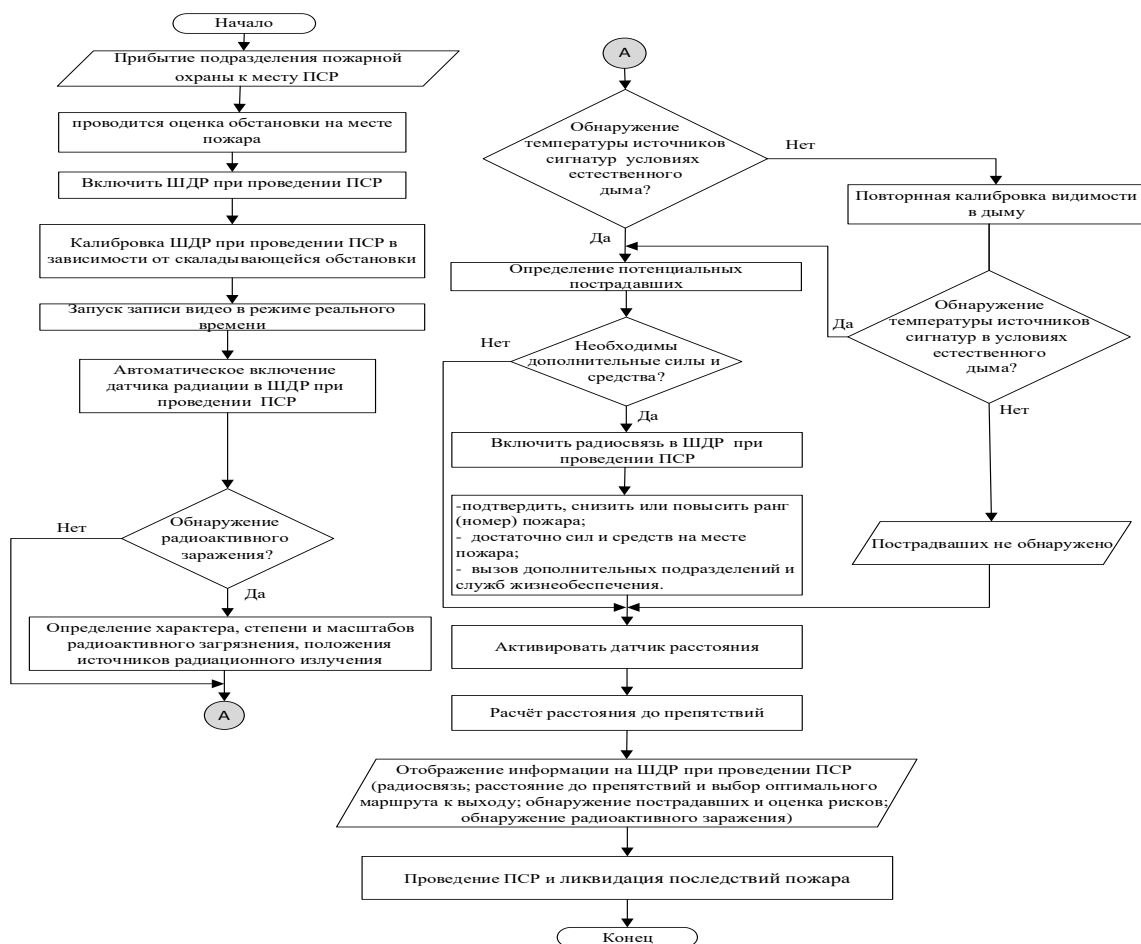


Рис. 1. Блок-схема алгоритма ППУР на основе ШДР при проведении ПСР в задымленной среде в условиях пожара

Представлена разработанная блок-схема алгоритма, которая позволяет описать этапы проведения ПСР в задымленной среде в условиях пожара на основе ШДР при проведении ПСР, обеспечить структурированный подход к выполнению задач по обнаружению и спасению пострадавших.

Характеристики материально-технического обеспечения для проведения серии экспериментального исследования приведены в Табл.1 [1].

Табл.1. Характеристики материально-технического обеспечения для проведения серии экспериментального исследования

№ п/п	Марка, наименование	Количество, ед.	Характеристики	Примечание
1.	Дымомер СМОГ-01	1	- коэффициент ослабления светового потока n , 0-100 %; - температура отработавших газов, от 0 до +200 °С; - основная приведённая погрешность, 2 %; значения показаний определяются при эффективной базе, 0,15 м; - питание напряжением, 220 В или 12 В. Дымомер соответствует ГОСТ 26828-86 «Изделия машиностроения и приборостроения. Маркировка», ГОСТ 24028-80 «Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерения»	Для измерения плотности дыма от 0 до 100 %

№ п/п	Марка, наименование	Количество, ед.	Характеристики	Примечание
2.	Шлем дополненной реальности при проведении поисково-спасательных работ, версия 1	1	- оптика и дисплей: тип MicroOLED; разрешение 1920×1080 (Full HD); - яркость 400 нит; частота 60 Гц; - поле зрения 40°; - прозрачность 79 %; - процессор Exynos 8895; - ОП 4 Гб; - ВП 64 Гб; - microSD до 256 Гб; - сенсоры: тепловизионная камера -20-400 °С; лазерные дальномер 40 м; гироскоп 6 осей; акселерометр; электромагнитный датчик; GPS; A-GPS; GLONASS; BDS; связь: 2G GSM/GPRS/EDGE; 3G WCDMA/ HSPA+; 4G LTE Cat.16 (до 1 Гбит/с); Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac (2.4/5 GHz) Bluetooth 5.0; NFC; ANT+; USB-C; вес: 350 г; - ёмкость аккумулятора: 6000 мач; время автономной работы: до 6 часов; беспроводное управление; - защита корпус (IP68) водонепроницаемый и пылезащищённый, ударозащищённый	Позволяет спасателям и пожарным получать оперативную информацию в режиме реального времени, повышая их ситуационную осведомлённость
3.	Камера SONY IMX333	1	12 МП, f/1.7	Для съёмки видео при проведении экспериментов
4.	Горючий материал	60 кг	дрова, топливо, картон, ткань, резина, бензин, бумага	
5.	Боевая одежда пожарного (БОП)	30	соответствует требованиям ГОСТ Р 53264-2009 "Техника пожарная"	для различных климатических районов тип У вид Т (ТО К902 №2-2011)
6.	Дыхательный аппарат со сжатым воздухом ПТС "Профи" – МП	30	дыхательный аппарат с панорамной маской, лёгочным автоматом, прочными ремнями, штуцером quick fill, петля для эвакуации, раздвижной спинкой, поворотным механизмом пояса, редуктором с муфтой увеличенного диаметра и универсальным адаптером	
7.	Вагон поезд	1	вагон «Электropоезд Рижский, 2-й тип»	
8.	Вагон метро	1	электровагон метрополитена типа ВМ-1	

Условия проведения серии экспериментов:

- Эксперименты проводились в контролируемых условиях с фиксированными параметрами, плотность дыма (измерялась дымомером СМОГ-01, до 900 г/м³), температура источников сигнатур (от -15 до +165°С), температура окружающей среды (-15°С), тип горючих материалов (натуральные и искусственные), температура фиксировалась с помощью ШДР;
- 1-я серия экспериментов в вагоне метро с ИД и 2-я серия экспериментов в вагоне поезда с ЕД;
- ЕД, образующийся при горении дров, топлива, картона, ткани, резины;
- ИД, образующийся от дымовых шашек;
- параметры вагон метро: длина – 14,3 м, ширина – 2,712 м, высота – 3,480 м, вагон поезда: длина – 19,600 м, ширина – 3,480 м, высота – 3,260 м;
- плотность ЕД и ИД – до 900 г/м³;
- температура окружающей среды – -15°С;
- температура источников сигнатур (ТИС) – -15~165°С;

– 10 звеньев газодымозащитной службы (ГДЗС) (ШДР использует руководитель звена ГДЗС).

1-я серия экспериментов в вагоне метро «поиск и спасение пострадавших» на основе разработанной блок-схемы алгоритма ППУР на основе ШДР при проведении ПСР в задымленной среде в условиях пожара.

2-я серия экспериментов без входа в отсек купе вагона поезда «поиск и спасение «пострадавших» на основе разработанной блок-схемы алгоритма ППУР на основе ШДР при проведении ПСР в задымленной среде в условиях пожара и с входом в отсек купе «поиск и спасение пострадавших» без использования, разработанного блок-схема алгоритм ППУР на основе ШДР при проведении ПСР в задымленной среде в условиях пожара.

Для оценки влияния алгоритма ППУР на основе ШДР при проведении ПСР в задымленной среде в условиях пожара на основе экспериментальных данных выполним расчёт по формуле [13]:

$$\Delta T_{\% \text{ проведения ПСР}} = \left(\frac{T_{\text{без ШДР}} - T_{\text{с ШДР}}}{T_{\text{без ШДР}}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

где, $\Delta T_{\% \text{ проведения ПСР}}$ – сокращение времени проведения ПСР в процентах;

$T_{\text{с ШДР}}$ – время проведения «поиск и спасение "пострадавших" на основе разработанного алгоритма ППУР на основе ШДР при проведении ПСР;

$T_{\text{без ШДР}}$ – время проведения «поиск и спасение пострадавших» без использования разработанного алгоритма ППУР на основе ШДР при проведении ПСР.

Статистический анализ [13]:

Среднее время проведения ПСР:

$$\bar{T}_{\text{с ШДР}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{\text{с ШДР},i}; \quad (2)$$

$$\bar{T}_{\text{без ШДР}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{\text{без ШДР},i}; \quad (3)$$

Стандартное отклонение времени ПСР:

$$\sigma_{\text{с ШДР}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_{\text{с ШДР},i} - \bar{T}_{\text{с ШДР}})^2}; \quad (4)$$

$$\sigma_{\text{без ШДР}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_{\text{без ШДР},i} - \bar{T}_{\text{без ШДР}})^2}. \quad (5)$$

t - Статистика (тест) для значимости различий между временем проведения ПСР на основе разработанного алгоритма ППУР на основе ШДР при проведении ПСР на основе ШДР и без использования разработанного алгоритма ППУР на основе ШДР при проведении ПСР:

$$t = \frac{\bar{T}_{\text{без ШДР},i} - \bar{T}_{\text{с ШДР}}}{\sqrt{\frac{\sigma_{\text{без ШДР}}^2}{n} + \frac{\sigma_{\text{с ШДР}}^2}{n}}}. \quad (6)$$

Степень свободы df:

$$df = 2 \times n - 2. \quad (7)$$

P - Значение согласно таблице распределения Стьюдента, соответствующего рассчитанному t - статистика (тест) и степени свободы df [14].

Результаты

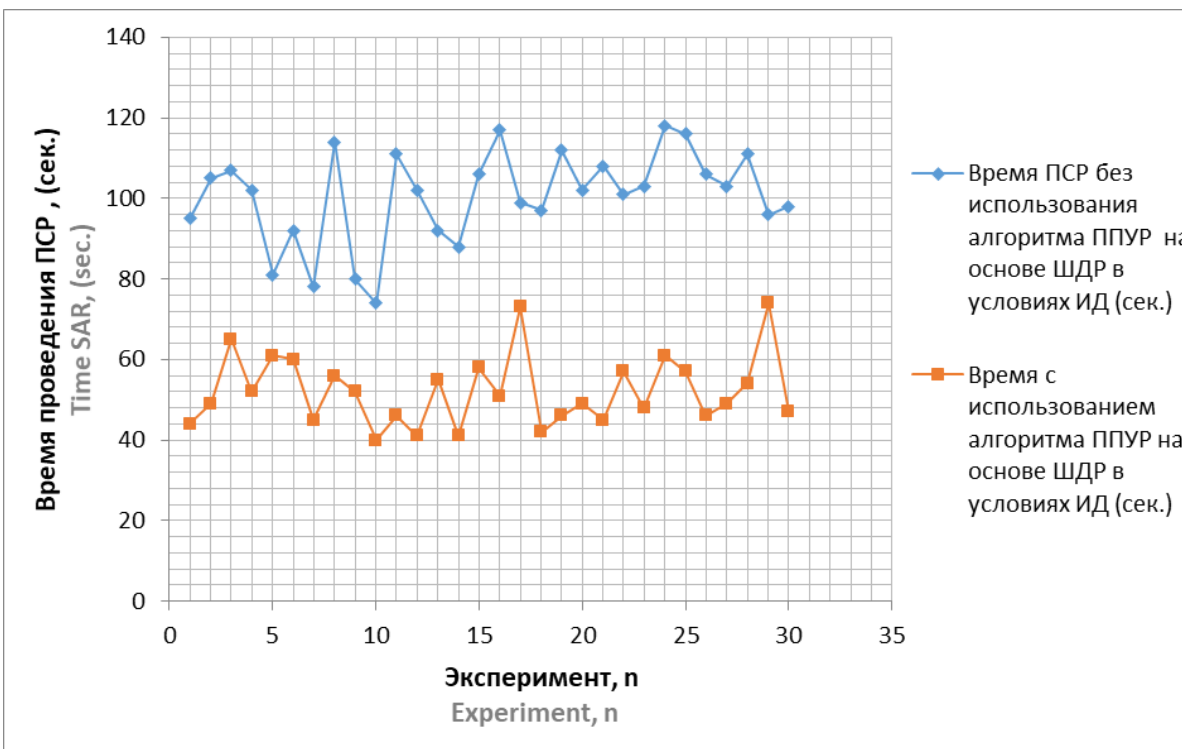
Результаты двух серий экспериментов сведены в Табл.2, 3 и на Рис.2.

Табл.2. Время проведения ПСР с использованием и без использования алгоритма ППУР на основе ШДР в разных условиях

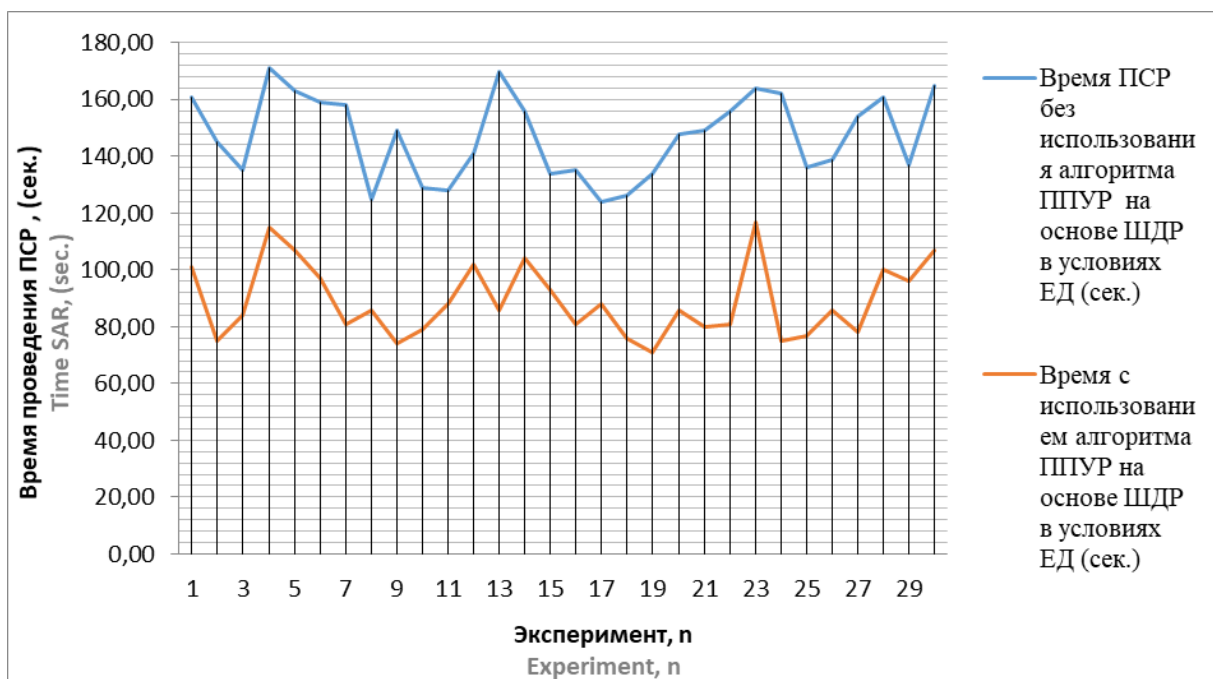
Условия	Параметр	T без алгритма ППУР, ШДР (сек.)	T с алгритмом ППУР, ШДР (сек.)	$\Delta T\%$ проведения ПСР
1 серия экспериментов с ИД в вагоне метро	$T_{\text{мин.}}$ проведения ПСР	62	40	22,9 % - 35,5 %
	$T_{\text{макс.}}$ проведения ПСР	118	74	37,3 % - 62,7 %
	$T_{\text{сред.}}$ проведения ПСР	99,8	52,8	46,7 %
2 серия экспериментов с ЕД в вагоне поезда	$T_{\text{мин.}}$ проведения ПСР	124	71	26,9 % - 43,1 %
	$T_{\text{макс.}}$ проведения ПСР	171	117	31,7 % - 48,2 %
	$T_{\text{сред.}}$ проведения ПСР <i>Taverage of SAR</i>	147,13	89,03	39,4 %

Табл.3. Результаты статистического анализа полученных данных серий экспериментов

Условия	Значение t-теста	p-значение
Первая серия экспериментов с ИД в вагоне метро	18,11	<0,0001
Вторая серия экспериментов с ЕД в вагоне поезда	10,11	<0,0001



А. Первая серия экспериментов в вагоне метро в условиях ИД



Б. Вторая серия экспериментов в вагоне поезда в условиях ЕД

Рис.2. График времени проведения ПСР без использования и с использованием алгоритма ППУР на основе ШДР в условиях ИД и ЕД

Первая серия экспериментов (вагон метро с ИД):

- время проведения ПСР без использования алгоритма ППУР на основе ШДР
 $T_{\text{мин. проведения ПСР}} 62 \text{ сек.}, T_{\text{мин. проведения ПСР}} 118 \text{ сек.}, T_{\text{сред. проведения ПСР}} 99,8 \text{ секунд};$
- время проведения ПСР с использованием алгоритма ППУР на основе ШДР
 $T_{\text{мин. проведения ПСР}} 40 \text{ сек.}, T_{\text{мин. проведения ПСР}} 74 \text{ сек.}, T_{\text{сред. проведения ПСР}} 52,8 \text{ сек.};$
- сокращение времени проведения ПСР в процентах от 22,9 % до 58,9 %, со среднего времени проведения ПСР $\Delta T_{\%}$ проведения ПСР 46,7 %.

Вторая серия экспериментов (вагон поезда с ЕД):

- время проведения ПСР без использования алгоритма ППУР на основе ШДР
 $T_{\text{мин. проведения ПСР}} 124 \text{ сек.}, T_{\text{мин. проведения ПСР}} 171 \text{ сек.}, T_{\text{сред. проведения ПСР}} 147,13 \text{ сек.};$
- время проведения ПСР с использованием алгоритма ППУР на основе ШДР
 $T_{\text{мин. проведения ПСР}} 71 \text{ сек.}, T_{\text{мин. проведения ПСР}} 117 \text{ сек.}, T_{\text{сред. проведения ПСР}} 89,03 \text{ сек.};$
- сокращение времени проведения ПСР в процентах от 26,9 % до 53,7 %, со среднего времени проведения ПСР $\Delta T_{\%}$ проведения ПСР 39,4 %.

Статистический анализ, результаты t - тест используются для оценки статистической значимости различий во времени проведения ПСР с использованием и без использования алгоритма ППУР на основе ШДР:

- результаты t-теста для первой серии экспериментов: значение t-теста 18,11; p-значение <0,0001;
- результаты t-теста для второй серии экспериментов: значение t-теста 10,11; p-значение <0,0001.

Результаты t - теста в обеих сериях экспериментов показали высокие значения t (18,11 для первой серии и 10,11 для второй серии) и p-значения <0,0001. Это указывает на то, что различия между временем ПСР с использованием алгоритма ППУР на основе ШДР при проведении ПСР и без него статистически значимы.

Статистическая значимость p-значение менее 0,0001 во всех случаях подтверждает, что наблюдаемые различия между двумя группами (с использованием и без использования

алгоритма ППУР на основе ШДР при проведении ПСР) статистически значимы. Это означает, что результаты, вероятно, не являются случайными, и предложенный алгоритм ППУР на основе ШДР при проведении ПСР имеет значительное влияние на сокращение времени ПСР. Эффект алгоритма ППУР на основе ШДР при проведении ПСР:

– первая серия экспериментов в вагоне метро в условиях ИД, среднее время проведения ПСР сократилось с 99,8 секунд до 52,8 секунд, что представляет собой сокращение на 46,7 %;

– вторая серия экспериментов в вагоне поезда в условиях ЕД, среднее время проведения ПСР сократилось с 147,13 секунд до 89,03 секунд, что представляет собой сокращение на 39,4%.

Результаты исследования показывают, что предложенный алгоритм ППУР на основе ШДР при проведении ПСР эффективно сокращает время проведения ПСР в условиях ИД и ЕД, хотя степень сокращения варьируется. Практическая значимость результаты экспериментов подтверждает, что использование предложенный алгоритма ППУР на основе ШДР значительно сокращает время проведения ПСР на 39-47% при плотности дыма до 900 г/м³ в условиях ЕД и ИД в вагоне метро и поезда. Это критически важно для спасателей в реальных условиях проведения ПСР, это позволяет не только сократить время поиска и спасения пострадавших, но и снизить риски для самих спасателей.

На Рис.3 предоставлена разработанная функциональная модель (IDEF0) ППУР при проведении ПСР, которое представляет собой комплексную систему ШДР, разработанную для ППУР при проведении ПСР в задымленной среде. Основой данной модели является интеграция передовых информационных технологий и алгоритма ППУР при проведении ПСР. Эти технологии обеспечивают сбор, обработку и визуализацию данных в режиме реального времени, включают в себя ключевые компоненты, которые обеспечивают комплексный подход к ППУР при проведении ПСР:

– алгоритм ППУР при проведении ПСР на основе ШДР (поиска пострадавших на поверхности земли) [1-3];

– штаб обеспечивает координацию и управление всеми этапами ПСР, использует информацию, поступающую от различных систем и датчиков для ППУР;

– технологии ШДР при проведении ПСР предоставляет звену ГДЗС информацию о задымленном пространстве, недоступную невооружённым глазом, ШДР при проведении ПСР включает оптику и прозрачный дисплеи, тепловизионная камера, лазерный дальномеры, гироскопы, акселерометры, датчики радиации и другие сенсоры [2, 3].

– алгоритм ППУР на основе ШДР в задымленной среде в условиях пожара, определение и классификацию пострадавших, координация действий спасателей на основе анализа данных, поступающих от ШДР, ППУР по использованию дополнительных ресурсов.

– алгоритм ППУР при проведении ПСР на основе радиолокационной системы, режим поиска и обнаружения пострадавших на поверхности, режим местонахождения пострадавших на поверхности [3];

– сбор и обработка данных об окружающей среде, датчики окружающей среды собирают данные о температуре, радиационном фоне, блок обработки данных ШДР обрабатывает собранные данные и передаёт их в штаб и на прозрачном дисплеи спасателей в режиме реального времени [2-4];

– специальное оборудование и инструменты для проведения ПСР, включая дыхательные аппараты, боевую одежду пожарного, камеры для видеозаписи.

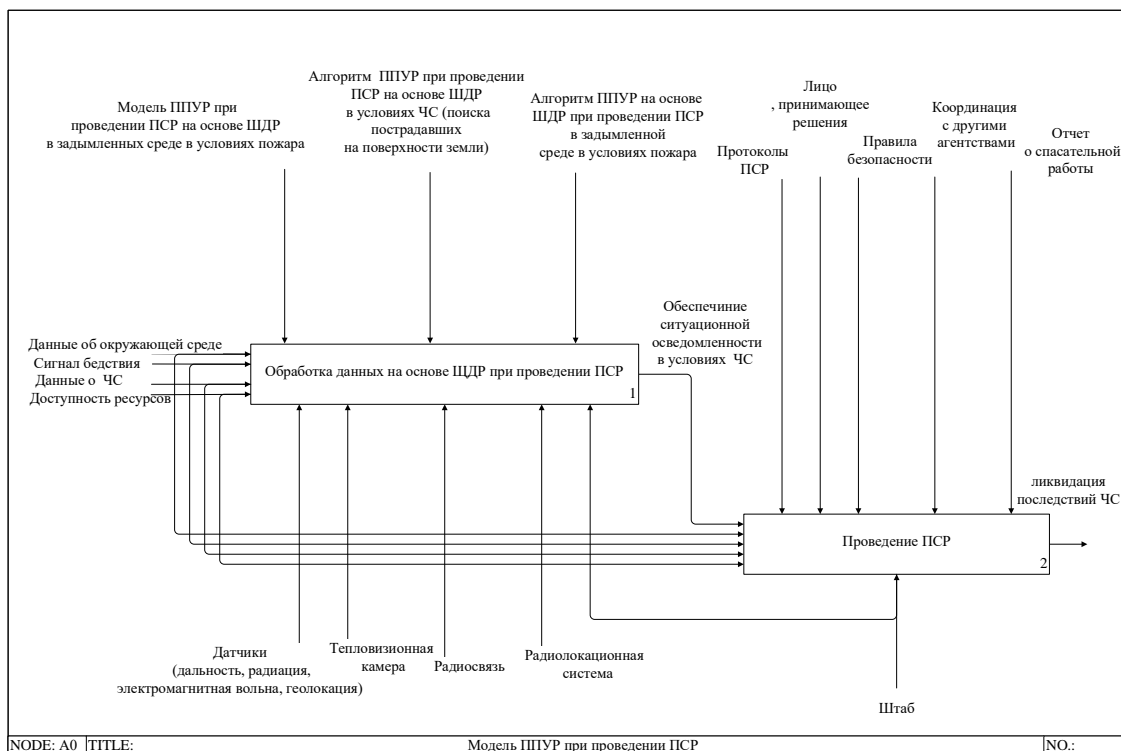


Рис.3. Функциональная модель ППУР при проведении ПСР

На Рис.4 предоставленная разработанная блок-схема модели ППУР при проведении ПСР на основе ШДР, которые отражает структуру взаимодействия между ключевыми элементами системы управления и ППУР при проведении ПСР в задымлённой среде. Основным инструментом обеспечения работы системы является ШДР при проведении ПСР, интегрированный с алгоритмами ППУР, обратной связью и аналитической системой.

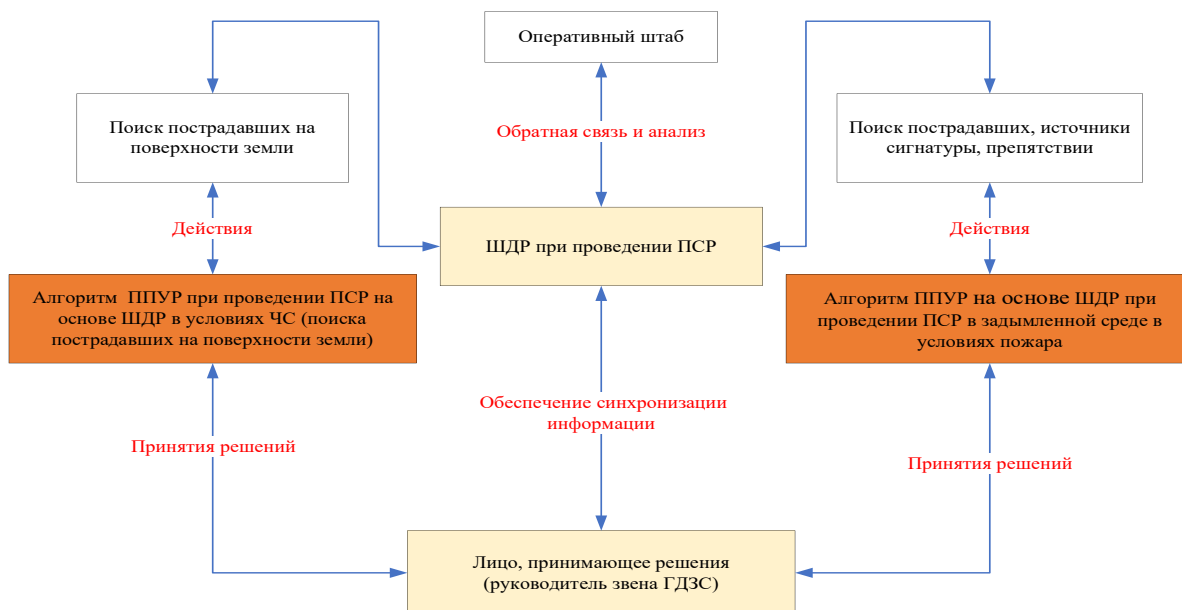


Рис.4. Модель ППУР при проведении ПСР на основе ШДР в задымленной среде в условиях пожара

Обсуждение

Результаты показали, что использование алгоритм ППУР на основе ШДР сократило время проведения ПСР на 39-47% в условиях ЕД и ИД в вагоне метро и поезда. В первой серии

экспериментов в условиях ИД среднее сокращение времени составило 46,7% в вагоне метро, а во второй серии в условиях ЕД на 39,4% в вагоне поезда. Статистическая значимость подтверждена с р-значением <0,0001.

Заключение

В рамках исследования была достигнута основная цель - сокращение времени проведения ПСР в задымленной среде в условиях пожара, с использованием алгоритма ППУР на основе ШДР. Разработанная модель и алгоритм на основе ШДР продемонстрировали свою эффективность в условиях ЕД и ИД.

Результаты проведенных Серий экспериментов показали, что внедрение модели и алгоритма ППУР на основе ШДР позволило сократить время проведения ПСР на 39-47%. Эти результаты были подтверждены статистически значимыми показателями ($p < 0,0001$), что свидетельствует о надёжности и воспроизводимости полученных данных.

Список источников

1. Малфи Х.А.М.Н., Мокшанцев А.В., Ифтоди Л.А., Хачиров А.В. О применении шлема дополненной реальности при проведении поисково-спасательных работ // Технологии техносферной безопасности. 2024. Вып. 2 (104). С. 40-54. <https://doi.org/10.25257/TTS.2024.2.104.40-54>.

1. Мокшанцев А.В., Малфи Х.А.М.Н. Шлем дополненной реальности при проведении поисково-спасательных работ // Академия Государственной противопожарной службы МЧС России: Теория. Инновации. Практика: материалы научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня образования Академии ГПС МЧС России: М.: Академия ГПС МЧС России, 2023. С. 108-111. ISBN 978-5-9229-0290-8.

2. Мокшанцев А.В., Малфи Х.А.М.Н. О применении модуля системы радиолокационных сигналов при проведении поисково-спасательных работ // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. 2022. № 4. С. 13–22. DOI:10.25257/FE.2022.4.13-22.

3. Малфи Х.А.М.Н., Мокшанцев А.В. Процесс проведения поисково-спасательных работ на территории Йемена // Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности: Сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции. Железнодорожники: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. С. 79–82.

4. Мокшанцев А.В., Малфи Х.А.М.Н. Универсальный модуль обработки радиолокационной информации при проведении поисково-спасательных работ // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. 2023. № 2. С. DOI:10.25257/FE.2023.2.

5. Heydarian A., Carneiro J.P., Gerber D., Becerik-Gerber B., Hayes T., Wood W. Immersive virtual environments versus physical built environments: A benchmarking study for building design and user-built environment explorations // Automation in Construction. 2015. Vol. 54, Pp. 116-126. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.020>.

6. Niu S., Pan W., Zhao Y. A virtual reality integrated design approach to improving occupancy information integrity for closing the building energy performance gap // Sustainable Cities and Society. 2016. Vol. 27. Pp. 275-286. <http://doi.org/10.1016/j.scs.2016.03.010>.

7. Lovreglio R., Gonzalez V., Feng Z., Amor R., Spearpoint M., Thomas J., Trotter M., Sacks R. Prototyping virtual reality serious games for building earthquake preparedness: The Auckland City Hospital case study // Advanced Engineering Informatics. 2018. Vol. 38. Pp. 670-682. <http://doi.org/10.1016/j.aei.2018.08.018>.

8. Kinatader M., Warren W. H., Schloss K. B. What color are emergency exit signs? Egress behavior differs from verbal report // Applied Ergonomics. 2019. Vol. 75. Pp. 155-160. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.010>.

9. Muthalif M. Z. A., Shojaei D., Khoshelham K. A review of augmented reality visualization methods for subsurface utilities // Advanced Engineering Informatics. 2022. Vol. 51. P. 101498. <http://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101498>.

10. Chung S., Cho C.-S., Song J., Lee K., Lee S., Kwon S. Smart Facility Management System Based on Open BIM and Augmented Reality Technology // *Applied Sciences*. 2021, Vol. 11 (21). P. 10283. <https://doi.org/10.3390/app112110283>.

11. Alonso-Rosa M., Gil-de-Castro A., Moreno-Munoz A., Garrido-Zafra J., Gutierrez-Ballesteros E., Cañete-Carmona E. An IoT Based Mobile Augmented Reality Application for Energy Visualization in Buildings Environments // *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10 (2). P. 600; <https://doi.org/10.3390/app10020600>.

12. Нагибин Ю. Т. Методы статистической обработки экспериментальных данных в оптоэлектронике. Регрессионный и корреляционный анализ: учеб. пос. СПб: Санкт-петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2011. 53 с. <https://books.ifmo.ru/file/pdf/807.pdf>.

13. Diez, D. M., Barr, C. D., & Çetinkaya-Rundel, M. (2019). *OpenIntro Statistics* (4th ed.). OpenIntro. (<https://www.biostat.jhsph.edu/~iruczins/teaching/books/2019.openintro.statistics.pdf>).

References

1. Malfi K.A.M.N., Mokshantsev A.V., Iftodi L.A., Khachirov A.V. About using an augmented reality helmet when conducting search and rescue works. *Technology of technosphere safety*, 2024; 2(104):40-54. (In Russ.). <https://doi.org/10.25257/TTS.2024.2.104.40-54>.

2. Mokshantsev A.V., Malfi Kh.A.M.N. Augmented reality helmet during search and rescue operations // *Materials of the scientific and practical conference with international participation "Theory. Innovation. Practice" - 2023.* - M.: Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2023. P. 108-111.

3. Mokshantsev A.V., Malfi K.A.M.N. On applying module of the radar signals system during search and rescue operations. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya – Fire and emergencies: prVEention, elimination*, 2022, no. 4, pp. 13–22 (in Russ.). DOI:10.25257/FE.2022.4.13-22.

4. Malfi K.A.M.N., Mokshantsev A.V. The process of conducting search and rescue operations on the territory of Yemen. *Molodye uchenye v reshenii aktualnykh problem bezopasnosti: Sbornik materialov XI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Young scientists in solving urgent security problems: Collection of materials of the XI All-Russian Scientific and Practical Conference]*. Zheleznogorsk, Siberian Fire and Rescue Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia Publ., 2022, pp. 79–82 (in Russ.).

5. Mokshantsev A.V., Malfi K.A.M.N. Universal module for processing radar data during search and rescue operations. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya – Fire and emergencies: prVEention, elimination*, 2023, no. 2, DOI:10.25257/FE.2023.2.??-??Harris, B. (2020). Augmented Reality Technology for Search and Rescue. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 50(1), 76-86.

6. Heydarian A., Carneiro J.P., Gerber D., Becerik-Gerber B., Hayes T., Wood W. Immersive virtual environments versus physical built environments: A benchmarking study for building design and user-built environment explorations. *Automation in Construction*. 2015; 54:116-126. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.020>.

7. Niu S., Pan W., Zhao Y. A virtual reality integrated design approach to improving occupancy information integrity for closing the building energy performance gap. *Sustainable Cities and Society*, 2016; 27:275-286. <http://doi.org/10.1016/j.scs.2016.03.010>.

8. Lovreglio R., Gonzalez V., Feng Z., Amor R., Spearpoint M., Thomas J., Trotter M., Sacks R. Prototyping virtual reality serious games for building earthquake preparedness: The Auckland City Hospital case study. *Advanced Engineering Informatics*, 2018; 38:670-682. <http://doi.org/10.1016/j.aei.2018.08.018>.

9. Kinatader M., Warren W. H., Schloss K. B. What color are emergency exit signs? Egress behavior differs from verbal report. *Applied Ergonomics*, 2019; 75:155-160. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.010>.

10. Muthalif M. Z. A., Shojaei D., Khoshelham K. A review of augmented reality visualization methods for subsurface utilities. *Advanced Engineering Informatics*, 2022; 51:101498. <http://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101498>.

11. Chung S., Cho C.-S., Song J., Lee K., Lee S., Kwon S. Smart Facility Management System Based on Open BIM and Augmented Reality Technology. *Applied Sciences*, 2021; 11(21):10283. <https://doi.org/10.3390/app112110283>.

12. Alonso-Rosa M., Gil-de-Castro A., Moreno-Munoz A., Garrido-Zafra J., Gutierrez-Ballesteros E., Cañete-Carmona E. An IoT Based Mobile Augmented Reality Application for Energy Visualization in Buildings Environments. *Applied Sciences*, 2020; 10(2):600. <https://doi.org/10.3390/app10020600>.

13. Nagibin Yu. T. Methods for statistical processing of experimental data in optoelectronics. Regression and correlation analysis: textbook. St. Petersburg, St. Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2011; 53. (In Russ.). Available at: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/807.pdf>.

14. Diez, D. M., Barr, C. D., & Çetinkaya-Rundel, M. (2019). *OpenIntro Statistics* (4th ed.). OpenIntro. (<https://www.biostat.jhsph.edu/~iruczins/teaching/books/2019.openintro.statistics.pdf>).

Статья поступила в редакцию 03.10.2025, одобрена после рецензирования 15.12.2025, принята к публикации 20.12.2025.

The article was submitted 03.10.2025, approved after reviewing 15.12.2025, accepted for publication 20.12.2025.