

Научная статья

УДК 614.8

doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.70.30.029

Разработка экспериментальной среды для определения работоспособности зондирующих устройств в условиях пожара

Вячеслав Юрьевич Яровой¹

Ярослав Владимирович Гребнев^{1,2}

Андрей Сергеевич Дубовский¹

¹Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

²Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Вячеслав Юрьевич Яровой, yarovoiviacheslav@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время из-за научно-технического прогресса непрерывно развивается и введение боевых действий по тушению пожаров, создаются и патентуются различные устройства для повышения эффективности работы звеньев газодымозащитной службы в непригодной для дыхания среде в зоне ограниченной видимости. При этом испытательные мероприятия, освещённые в работах авторов, не имеют единой экспериментальной базы, что значительно усложняет общую оценку работоспособности и эффективности проектируемых систем восстановления видимости. В работе разработана и обоснована экспериментальная среда для определения работоспособности устройств, предназначенных для восстановления видимости в задымленной среде. Результаты, изложенные в данной статье, могут быть применены для совершенствования и разработки технического оснащения, используемого для ориентации в задымленной среде звеном газодымозащитной службы и влияющего на проведение боевых действий в зоне ограниченной видимости.

Ключевые слова: устаревшие спортивные объекты, распространение продуктов горения, пожарная безопасность, моделирование динамики пожара, противопожарная защита

Для цитирования: Яровой В.Ю., Гребнев Я.В., Дубовский А.С. Разработка экспериментальной среды для определения работоспособности зондирующих устройств в условиях пожара // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 3 (38). С. 302-310. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.70.30.029>.

Original article.

Development of an experimental environment for determining the performance of probing devices in fire conditions

Vyacheslav Yu Yarovoy¹

Yaroslav V. Grebnev^{1,2}

Andrey S. Dubovsky¹

¹Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

²Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Corresponding author: Viacheslav Yu. Yarovoy, yarovoiviacheslav@yandex.ru

Abstract. Currently, due to scientific and technological progress, the introduction of combat operations for extinguishing fires is continuously developing, and various devices are being created and patented to improve the efficiency of gas and smoke protection units in inhospitable environments with limited visibility. However, the testing procedures described in the authors' works lack a unified experimental framework, which significantly complicates the overall assessment of the performance and effectiveness of the proposed visibility restoration systems. The paper developed and substantiated an experimental environment for determining the performance of devices designed to restore visibility in a smoky environment. The results presented in this article can be used to improve and develop technical equipment used for orientation in a smoky environment by the gas and smoke protection service, which affects combat operations in areas with limited visibility.

Keywords: experiment, gas and smoke protection service unit, technical equipment, testing, environment, device, visibility restoration

For citation: Yarovoy V.Yu., Grebnev Ya.V., Dubovsky A.S. Development of an experimental environment for determining the performance of probing devices in fire conditions // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2025. № 3 (38). С. 302-310. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.70.30.029>.

В условиях ограниченной видимости и непригодной для дыхания среды, созданных пожаром, газодымозащитникам требуются эффективные технические средства для восстановления видимости. Одним из наиболее распространённых устройств в настоящее время является тепловизор, который позволяет отслеживать температурные изменения объектов в зоне действия. Однако высокая стоимость таких приборов затрудняет их массовое применение в подразделениях пожарной охраны. [1]

Это делает поиск альтернативных решений актуальным, в виду чего в данной статье предлагается рассмотреть следующие технологии способ оценки их применимости:

1. Лидар (Light Detection and Ranging) — это технология, которая использует световые импульсы для измерения расстояния до объектов. Она анализирует время, за которое свет возвращается, и на основе этого определяет расстояние. Лидарные приборы бывают двух типов: сканирующие и атмосферные. Они не только измеряют расстояние, но и фиксируют, как свет рассеивается в воздухе или дыму. В условиях пожара, где свет сильно рассеивается, обработка данных усложняется. Однако лидарные системы все равно эффективны для мониторинга пожара и его последствий, особенно в задымленных помещениях. Они точно определяют расположение объектов, что помогает в борьбе с огнем и его последствиями.

2. Ультразвуковая эхолокация — это метод, который использует звуковые волны для определения положения объектов. Она измеряет время задержки отраженной волны и на основе этого вычисляет расстояние до объекта. Ультразвуковые датчики особенно эффективны в условиях, где видимые или инфракрасные волны не могут быть использованы из-за сильного рассеивания. Это делает их идеальными для применения в задымленных зонах, где лидарные системы могут столкнуться с трудностями. Ультразвуковая эхолокация позволяет точно определять расположение объектов, что важно для обеспечения безопасности

и эффективного реагирования в чрезвычайных ситуациях, одним из примеров данного оборудования является авторское программно-аппаратное решение [2-3].

Для разработки и тестирования новых аппаратных решений требуется разработка экспериментальной среды. Разрабатываемая среда должна эмулировать условия окружающей среды, которые складываются при пожаре в помещениях, таких как: задымление, тепловой поток, пеленгуемые препятствия (в целях оценки эффективности и работоспособности) [4].

На основе анализа работ [5-7] нами было определено, что моделируемая среда (Рис.1) должна состоять из следующих зон (помещений):

1. Экспериментальная зона является ключевой для проведения экспериментов и тестирования инновационных решений. В этой зоне размещены датчики и пеленгуемые объекты для проверки навигационных возможностей лидарных систем и устройств с ультразвуковой эхолокацией. Зона имитирует условия пожара: высокую температуру и задымление, что позволяет оценить эффективность технологий в сложных условиях, где другие методы могут быть неэффективны.

2. Техническая зона (топка) расположена выше уровня пола экспериментальной зоны (№ 1) и предназначена для размещения горящих материалов. Это создает реалистичную пожарную ситуацию с изменяющейся температурой и концентрацией дыма в зависимости от характера горения. Высота зоны обеспечивает безопасность экспериментов, предотвращая распространение огня и усложняя воздухообмен и движение конвективных потоков, что создает более агрессивную среду для оценки технологий.

3. Зона обслуживания предназначена для контроля и мониторинга процесса горения. В этой зоне будут размещены системы управления и мониторинга, которые отслеживают температуру, концентрацию дыма и другие параметры пожарной ситуации. Это обеспечивает операторам возможность контролировать процесс горения и вносить изменения в экспериментальную среду в соответствии с требованиями тестирования, что позволяет более точно оценивать эффективность технологий.

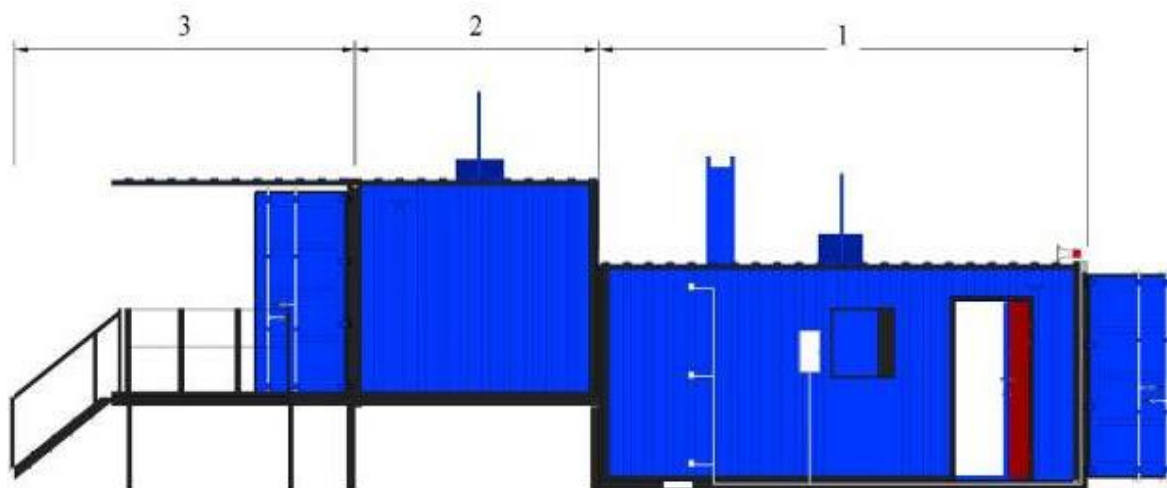


Рис.1. Условное размещение зон моделируемой среды

Для оценки эффективности ультразвуковых датчиков и лидаров в задымленных условиях необходимо разработать алгоритм проведения эксперимента. В данной работе предложен алгоритм, представленный на Рис.2, для тестирования датчиков в экспериментальной среде.

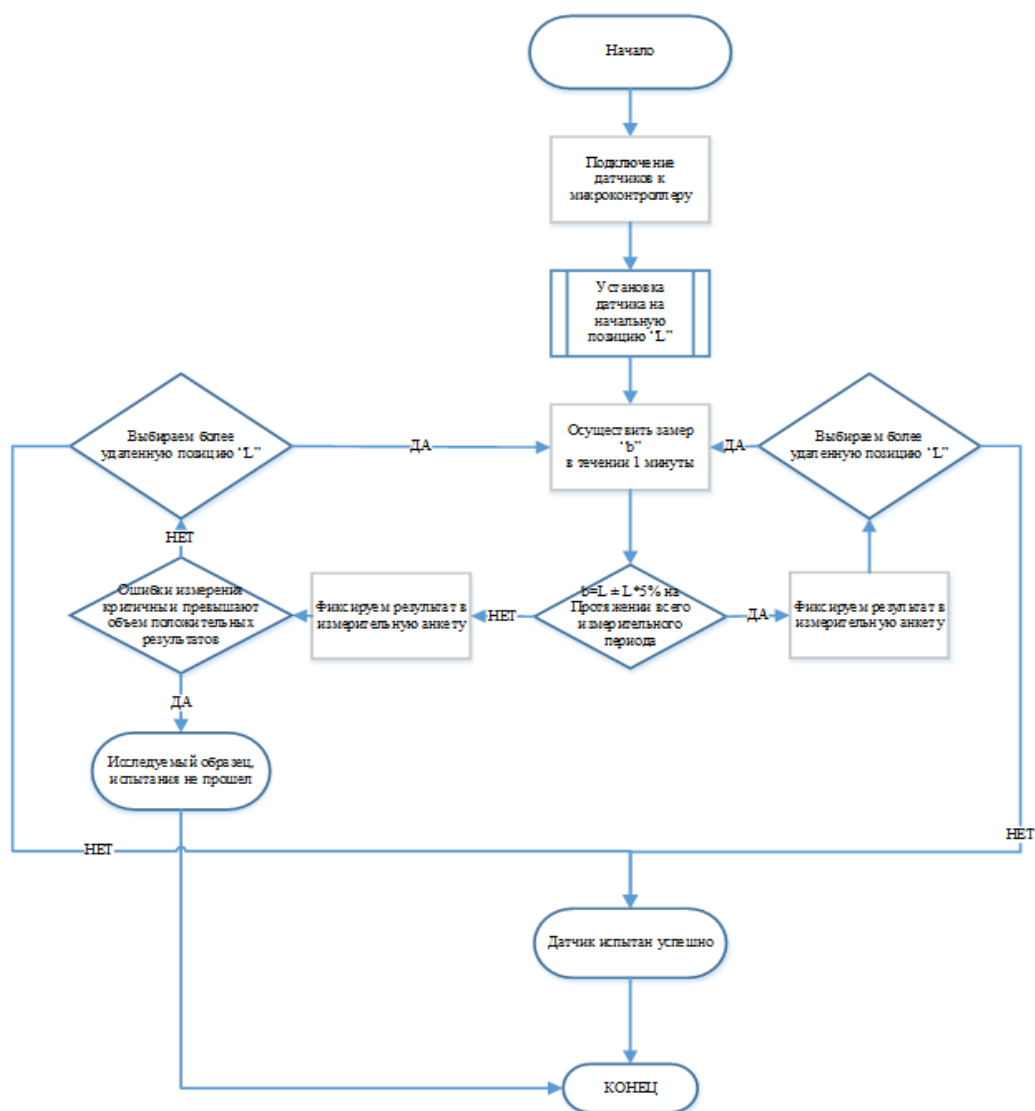


Рис.2. Алгоритм проведения эксперимента

Важным компонентом экспериментальной среды является материалы, используемые в технической зоне, которые должны обеспечивать необходимый уровень дымообразующей способности и имитировать реальные условия пожаротушения.

Основным показателем, по которому осуществлялся выбор количества и вида материала для формирования моделируемой экспериментальной среды является оптическая плотность, которая характеризует степень ослабления светового потока при прохождении через материал. Она определяется как логарифм отношения интенсивности падающего света интенсивности прошедшего света:

$$D = \log(I_0/I) \quad (1)$$

где, D - оптическая плотность;

I_0 - оптическая интенсивность падающего излучения (оптическая интенсивность при попадании на материал);

I - проходящая оптическая интенсивность (оптическая интенсивность, передаваемая материалом / пленкой).

Для расчета оптической плотности дыма замер оптической интенсивности рассчитаем за счет лазерного светового элемента и фоторезистора [8-9], расстояние на котором будут размещены датчики составляет 1 см. Принципиальная схема прибора указана на Рис.3.

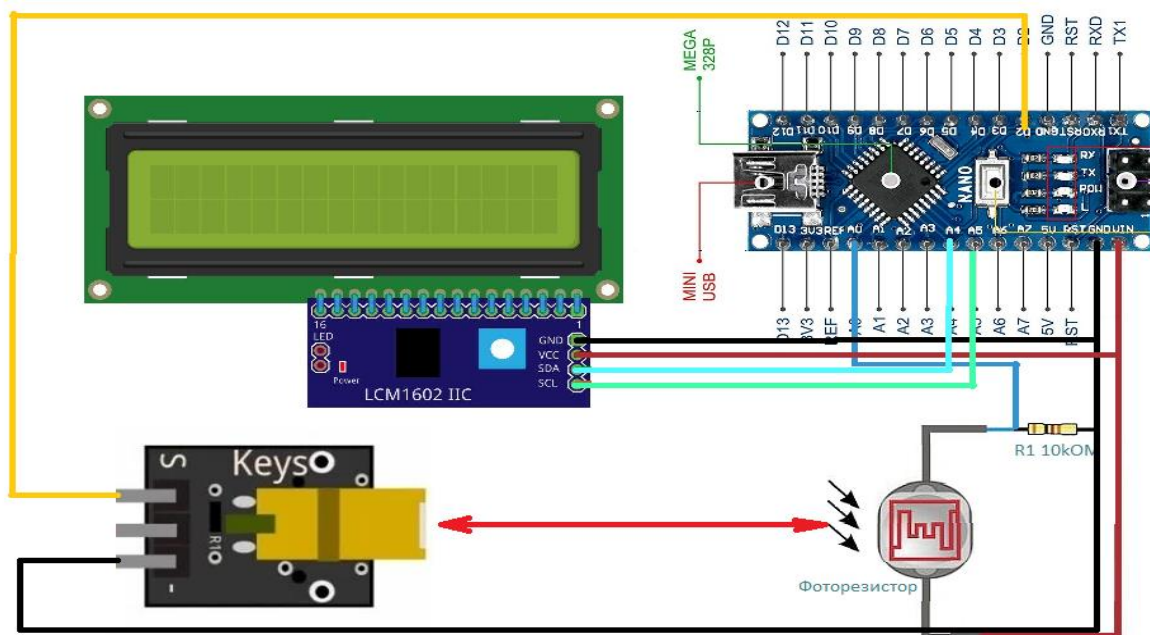


Рис.3. Устройство для замера оптической интенсивности

Для определения расстояния на котором должны быть расположены пеленгуемые препятствия и опираясь на данные исследования автора [10] используем выведенную формулу (2) определения длины видимости:

$$l_v = \frac{20}{1+D}, \quad (2)$$

где, l_v – видимость, м.

Для формирования экспериментальной среды и с учетом положений, сформированных [11-14] было решено, что критическим фактором для формирования среды является выбор материалов и целесообразно осуществлять его по коэффициенту дымообразующей способности.

Коэффициент дымообразования – показатель, характеризующий оптическую плотность дыма, образующегося при пламенном горении или термоокислительной деструкции (тлении) определенного количества твердого вещества (материала) в условиях специальных испытаний.

Для обеспечения репрезентативности испытаний и возможности их повторного проведения, следует использовать материалы, которые часто встречаются в быту и входят в состав мебели и отделочных материалов. Примеры материалов по группам:

Д1: древесина, картон, хлопок;

Д2: фанера, древесно-стружечные плиты (ДСП), линолеум;

Д3: полиэтилен, пенополистирол.

Значение коэффициента дымообразования необходимо включать в стандарты или технические условия на твердые вещества и материалы.

Сущность метода определения коэффициента дымообразования заключается в определении оптической плотности дыма, образующегося при горении или тлении известного количества испытуемого вещества или материала, распределенного в заданном объеме.

Опираясь на выше изложенные детали можно сделать вывод о необходимости проведения опыта при сжигании материала в трех вариациях Д1, Д2, Д3.

Определение количества материала можно произвести, опираясь на пропорциональную зависимость объема от массы. Для этого используем формулу определения коэффициента дымообразования указанную в ГОСТ 12.1.044-89:

$$\frac{V_{\text{(дымовой среды)}}}{m_{\text{(масса образца для д.к.)}}} = \frac{V_{\text{(моделируемой среды)}}}{m_{\text{(масса образца для м.с.)}}} \quad (3)$$

Используя данную зависимость рассчитаем необходимую массу материала в камере сгорания:

$$\frac{0,51 \text{ м}^3}{0,015 \text{ кг}} = \frac{106,03 \text{ м}^3}{x}$$
$$x = \frac{106,03 * 0,015}{0,51}$$
$$x = 3,11 \text{ кг}$$

Таким образом масса материала для создания моделируемой среды равна 3,11 кг.

Для проведения экспериментов необходимо организовать измерение расстояния между датчиками и целью. Датчики располагаются последовательно в процессе проведения эксперимента с шагом в 1 метр на расстоянии до 8 метров от целей. Такой шаг обеспечивает точную градацию изменения показателей и позволяет выявлять возможные погрешности при увеличении расстояния в условиях высокой задымленности.

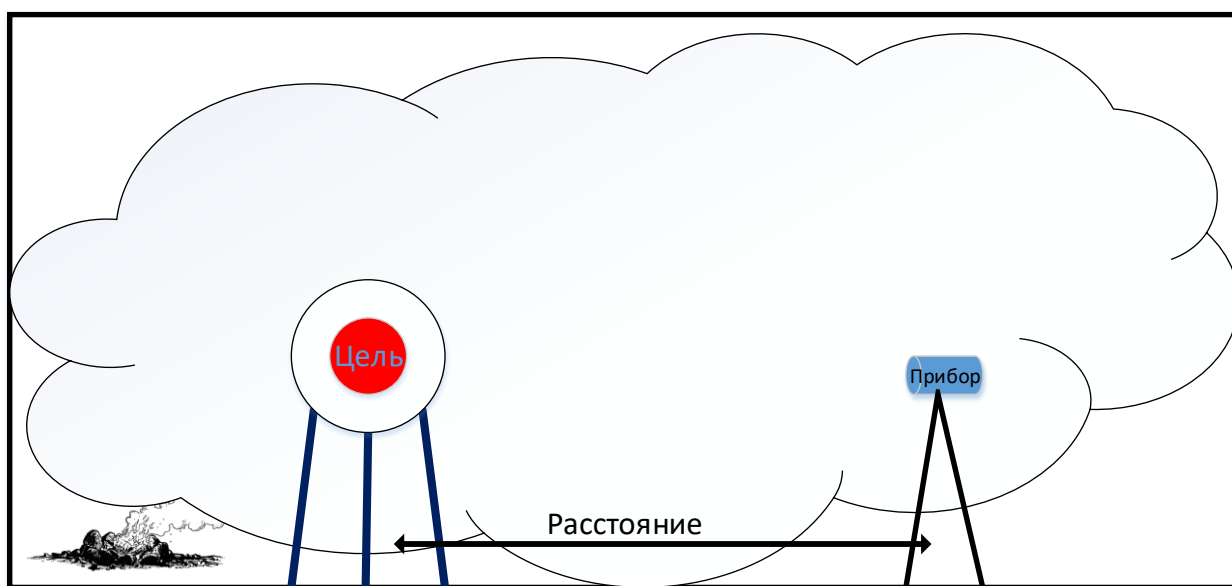


Рис.4. Схема проведения эксперимента

Время замера на позиции должно составлять не менее минуты, так как кроме определения расстояния до цели необходимо выяснить возможность функционирования датчиков в агрессивной среде пожара продолжительное время. Следовательно, в ходе измерения можно отследить зависимость показаний прибора от образования копоти на поверхности датчика.

Выводы

Предложенная модельная среда и экспериментальный подход позволяют объективно оценить работоспособность зондирующих устройств, таких как лидарные системы и ультразвуковые датчики, в условиях реальных пожаров. Результаты этих испытаний будут способствовать разработке более эффективных технологий для обеспечения безопасной работы пожарных подразделений в условиях ограниченной видимости и задымления.

Список источников

1. Яровой В.Ю. Обзор методов зондирования пространства в задымленной среде / В.Ю. Яровой, П.В. Ширинкин // 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. В 5-ти частях, Москва, 19 октября 2023 года. – Москва: Академия Государственной противопожарной службы, 2024. – С. 277-282. – EDN DXSSBN.

2. Патент на полезную модель № 226706 U1 Российская Федерация, МПК A62C 99/00. Зондирующее пожарно-спасательное устройство: № 2023131029: заявл. 27.11.2023: опубл. 19.06.2024 / В.Ю. Яровой, П.В. Ширинкин. – EDN DGONYF.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025681625 Российская Федерация. Программное обеспечение для функционирования модифицированного зондирующего пожарно-спасательного устройства: заявл. 04.08.2025: опубл. 15.08.2025 / Г.Ю. Шамсудинов, В.В. Морозов, В.Ю. Яровой. – EDN VMNGJE.
4. Серрано Дж. Исследование, разработка и валидация рамочной модели для атмосферы, заполненной дымом и частицами // Политехнический университет Мадрида. – 2017.
5. Чжан В. Анализ видимости в задымленной среде на основе изображений: дис. Университет Халла, 2010.
6. Гуань Х.Я., Квок К.Я. Вычислительная гидродинамика в пожарной технике. Теория, Моделирование и практика, Butterworth-Heinemann, Elsevier Science and Technology, ISBN:978-0-7506-8589-4 (2009). 530 p.
7. Канг К. Модель дыма и ее применение для управления задымлением на подземных станциях массового транзита. Журнал «Пожарная безопасность» 42, 2007. Р. 218-231.
8. Авторское свидетельство № 1448249 A1 СССР, МПК G01N 21/53. Установка для определения оптической плотности дыма: № 4108475: заявл. 10.06.1986: опубл. 30.12.1988 / С. В. Мельников, Г. Н. Яценко, Ю.С. Зотов, Т.Г. Меркушкина; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я А-3611. – EDN IOZVRO.
9. Анализ и исследование работы цифрового датчика оптической плотности / С. В. Макеев [и др.] // Информационные технологии. Физика и математика: материалы 87-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 31 января - 17 февраля 2023 г. - Минск: БГТУ, 2023. – С. 112-115.
10. Чистяков И.М. Динамика параметров работы звеньев ГДЗС при снижении видимости на пожаре / И. М. Чистяков // Пожарная и аварийная безопасность: Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции, посвященной 370-й годовщине образования пожарной охране России, Иваново, 12–13 сентября 2019 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2019. – С. 205-208. – EDN PZQEIG.
11. Осяев В.А., Сивакова Н.А. Моделирование динамики оптической плотности дыма в горящем и смежном помещениях на начальной стадии пожара.
12. Серебренников Д.С., Литвинцев К.Ю. Обзор моделей распространения дыма и определения дальности видимости // Технологии техносферной безопасности. – 2011. – №. 1. – С. 6.
13. Иванов И.В. Экспериментальная оценка показателей идентификации в процессе дистанционной диагностики объектов системой оптико-электронного наблюдения / И.В. Иванов, А.А. Суслов, А.В. Ковалев // Альманах Пермского военного института войск национальной гвардии. – 2020. – № 2(2). – С. 68-77. – EDN QDOHGM.
14. Пузач С.В., Мустафин В.М., Акперов Р.Г. Влияние условий проведения испытаний в камере сгорания мелкомасштабной экспериментальной установки на дымообразующую способность древесины // Пожаровзрывобезопасность. 2020. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-usloviy-provedeniya-ispytaniy-v-kamere-sgoraniya-melkomasshtabnoy-eksperimentalnoy-ustanovki-na-dymoobrazuyuschuyu> (дата обращения: 02.06.2025).

References

1. Yarovoy V.Yu. Overview of Space Sensing Methods in a Smoky Environment / V.Yu. Yarovoy, P.V. Shirinkin // Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia: Theory. Innovations. Practice: Materials of the Scientific and Practical Conference with International Participation Dedicated to the 90th Anniversary of the Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. In 5 parts, Moscow, October 19, 2023. – Moscow: Academy of the State Fire Service, 2024. – Pp. 277-282. – EDN DXSSBN.

2. Patent for a utility model No. 226706 U1, Russian Federation, IPC A62C 99/00. Probing fire and rescue device: No. 2023131029, filed on November 27, 2023, published on June 19, 2024 / V. Yu. Yarovoy, P. V. Shirinkin. – EDN DGONYF.
3. Certificate of State Registration of a Computer Program No. 2025681625, Russian Federation. Software for the Functioning of a Modified Fire and Rescue Probe Device: Application No. 04.08.2025: Publication No. 15.08.2025 / G. Yu. Shamsudinov, V. V. Morozov, and V. Yu. Yarovoy. – EDN VMNGJE.
4. Serrano J. Research, development and validation of a framework model for an atmosphere filled with smoke and particles // Polytechnic University of Madrid. – 2017.
5. Zhang V. Visibility analysis in a smoky environment based on images: dis. University of Hull, 2010.
6. Guan H.Ya., Kwok K.Ya. Computational fluid dynamics in fire engineering. Theory, Modeling, and Practice, Butterworth-Heinemann, Elsevier Science and Technology, ISBN: 978-0-7506-8589-4 (2009). 530 p.
7. Kang K. Smoke model and its application for smoke control in underground mass transit stations. Fire Safety Journal 42, 2007. P. 218-231.
8. Author's Certificate No. 1448249 A1 USSR, IPC G01N 21/53. Installation for Determining the Optical Density of Smoke: No. 4108475: filed on June 10, 1986: published on December 30, 1988 / S. V. Melnikov, G. N. Yashchenko, Yu. S. Zotov, and T. G. Merkushkina; applicant: ENTERPRISE P/O A-3611. – EDN IOZVRO.
9. Analysis and research of the digital optical density sensor / S. V. Makeev [et al.] // Information Technologies. Physics and Mathematics: materials of the 87th scientific and technical conference of professors, researchers, and postgraduate students, Minsk, January 31 - February 17, 2023. - Minsk: BGTU, 2023. - Pp. 112-115.
10. Chistyakov I.M. Dynamics of the Parameters of the GDZS Links in the Event of Reduced Visibility at a Fire / I.M. Chistyakov // Fire and Emergency Safety: Collection of Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 370th Anniversary of the Fire Department of Russia, Ivanovo, September 12–13, 2019. – Ivanovo: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies, and Disaster Relief, 2019. – Pp. 205-208. – EDN PZQEIG.
11. Osyayev V.A., Sivakova N.A. MODELING OF THE DYNAMICS OF OPTICAL DENSITY OF SMOKE IN THE HOT AND ADJACENT ROOMS AT THE INITIAL STAGE OF A FIRE.
12. Serebrennikov D. S., Litvintsev K. Yu. Overview of models of smoke propagation and determination of visibility range //Technologies of technosphere safety. – 2011. – No. 1. – P. 6.
13. Ivanov I.V. Experimental assessment of identification indicators in the process of remote diagnostics of objects by the optoelectronic surveillance system / I.V. Ivanov, A.A. Suslov, A.V. Kovalev // Almanac of the Perm Military Institute of the National Guard Troops. – 2020. – No. 2(2). – Pp. 68-77. – EDN QDOHGM.
14. Puzach S.V., Mustafin V.M., Akperov R.G. INFLUENCE OF TEST CONDITIONS IN THE COMBUSTION CHAMBER OF A SMALL-SCALE EXPERIMENTAL INSTALLATION ON THE SMOKE-FORMING CAPACITY OF WOOD // Fire and Explosion Safety. 2020. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-usloviy-provedeniya-ispytaniy-v-kamere-sgoraniya-melkomasshtabnoy-eksperimentalnoy-ustanovki-na-dymoobrazuyuschuyu> (accessed: 02.06.2025).

Информация об авторах

Я.В. Гребнев – кандидат технических наук

Information about the author

Ya.V. Grebnev – candidate of technical sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 01.07.2025, одобрена после рецензирования 27.08.2025, принята к публикации 01.09.2025.

The article was submitted 01.07.2025, approved after reviewing 27.08.2025, accepted for publication 01.09.2025.