

**Интеллектуальный анализ процессов дымообразования на пожарах:
новые подходы на основе ИИ-технологий**

М.В. Шевцов¹, А.Н. Денисов¹, М.В. Иванов¹, А.А. Козлов²

¹ Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,

¹ 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4, Россия,

² Департамент надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России,

² 121357, г. Москва, ул. Ватутина, 1, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является изучение подходов по созданию интеллектуальной системы, внедрение которой способно повлиять на качество решений, принимаемых руководителем тушения пожара (РТП) в процессе управления личным составом при тушении пожара. **Метод.** В работе использованы методы статистического анализа, теории управления, способы обработки данных и реализации продукционных правил по индексированию, хешированию и кластеризации получаемой информации для её дальней трансформации в базу знаний. **Результат.** В работе приведены статистические данные по травмированию и гибели сотрудников пожарно-спасательных подразделений от термических последствий, вызванных движением газообразных масс на объектах капитального строительства. Продолжен цикл исследований по определению и применению методов и алгоритмов искусственного интеллекта в процессе управления боевыми действиями на месте вызова. Определена недостаточность исследований дымообразующей способности строительных материалов, влияющих на личный состав МЧС России на месте вызова. **Вывод.** Сформулирован алгоритм создания базы данных снимков дыма, образующегося при сгорании различных веществ и материалов, составляющих основную горючую нагрузку в помещениях объектов разного функционального назначения, и предложен классификатор изображений дыма в зависимости от пожарной нагрузки. Приведен пример описания структуры формируемой базы данных на основе существующих имитационных моделей и программных продуктов. Представлена модель формирования базы знаний РТП по анализу дыма в зависимости от типа горючей нагрузки.

Ключевые слова: руководитель тушения пожара, термический газообмен, классификатор изображений, база данных, дымообразование, алгоритм, искусственный интеллект, модель, база знаний

Для цитирования: М.В. Шевцов, А.Н. Денисов, М.В. Иванов, А.А. Козлов. Интеллектуальный анализ процессов дымообразования на пожарах: новые подходы на основе ИИ-технологий. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025; 52(2):159-168. DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-2-159-168

**Intelligent analysis of smoke formation processes in fires:
new approaches based on AI technologies**

M.V. Shevtsov¹, A.N. Denisov¹, M.V. Ivanov¹, A.A. Kozlov²

¹ Academy of the State fire service of the Ministry of emergency situations of Russia,

¹ 4 B. Galushkina St., Moscow 129366, Russia,

² Department of supervision and preventive work Emergency situations of Russia,

² 1 Vatutina St., Moscow 121357, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to examine approaches to creating an intelligent system, the implementation of which can affect the quality of decisions made by the fire extinguishing manager (FEM) in the process of managing personnel during fire extinguishing. **Method.** The work uses methods of statistical analysis, control theory, data processing methods

and the implementation of production rules for indexing, hashing and clustering of the received information for its further transformation into a knowledge base. **Result.** The paper presents statistical data on injuries and deaths of fire and rescue unit personnel from thermal consequences caused by the movement of gaseous masses at capital construction sites. The research cycle on defining and applying artificial intelligence methods and algorithms in the process of managing combat operations at the call site is continued. The inadequacy of studies of the smoke-forming ability of building materials affecting the personnel of the Russian Emergencies Ministry at the call site is determined. **Conclusion.** An algorithm for creating a database of images of smoke generated during combustion of various substances and materials that constitute the main combustible load in the premises of objects of different functional purposes is formulated, and a classifier of smoke images depending on the fire load is proposed. An example of a description of the structure of the database being formed based on existing simulation models and software products is given. A model for forming a knowledge base of the RTP for smoke analysis depending on the type of combustible load is presented.

Keywords: fire extinguishing manager, thermal gas exchange, image classifier, database, smoke generation, algorithm, artificial intelligence, model, knowledge base

For citation: M.V. Shevtsov, A.N. Denisov, M.V. Ivanov, A.A. Kozlov. A Intelligent analysis of smoke formation processes in fires: new approaches based on AI technologies. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2025; 52(2):159-168. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-2-159-168

Введение. Информационные технологии в современном мире реализуются комплексом различных научных и инженерных методов и подходов. Наиболее востребованный из них на данном этапе существования общества – это искусственный интеллект, выражающийся в применении его основного прикладного инструмента, называемого компьютерным зрением.

Автоматическое распознавание и обработка изображений, запечатлевших различные объекты в состоянии неподвижности и в движении, составляет основу технического (компьютерного) зрения. Для создания имитационного эффекта аналога человеческого зрения требуется создать условия средствам электронно-вычислительной техники для предоставления возможностей фиксации, обработки и анализа получаемых образов. Полученные данные применяются в разных сферах жизни: экономической, политической, социальной, духовной.

Постановка задачи. Современные наукоемкие технологии искусственного интеллекта не обошли стороной решение вопросов пожаротушения и защиты жизни и здоровья людей. Уже более 15 лет космический и авиационный мониторинг пожарной и экологической безопасности внедрен в деятельность МЧС России и иных государственных структур.

Определение очагов возгорания по термическим точкам является одним из наиболее эффективных способов обнаружения и прогнозирования природных пожаров. Использование возможностей технического зрения получило широкое применение органами управления Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, как техногенных, так и возникших по причине капризов стихий природы.

Наиболее удобной технологией с точки зрения фиксации и обработки снимков является видеоаналитика, которая позволяет не только извлекать образы из видеопоследовательностей, но и распознавать и сохранять их в автоматическом режиме в специально заданных параметрах и местах хранения.

Методы исследования. В данной работе авторами продолжен собственный цикл исследований по установлению методов и алгоритмов искусственного интеллекта, способных влиять на качество решений, принимаемых РТП в процессе управления боевыми действиями на месте вызова.

О поведении дыма в очагах возгорания уже было описано ранее [1]. Цветосмещение дымовых потоков, как и их динамика, до сих пор остаются слабо изученными, и, как следствие,

становятся серьезной проблемой РТП в установлении выбора решающего направления и определении безопасных позиций личного состава при проведении мероприятий по тушению пожаров, особенно в сложных условиях и при недостатке информации о горючей нагрузке, размещенной на объекте защиты. Например, своевременный мониторинг участниками пожаротушения больших клубов «вихревых дымовых потоков» у «закрытых» помещений может снизить риск травмирования в результате высвобождения энергии перегретых газов и последующего взрыва.

Для определения угроз, связанных с травмами и гибелью пожарных, вызванных движением газообразных масс с выделением тепла при горении, проведем анализ открытых статистических источников за 15 лет по России [2, 3]. Анализ статистических данных позволил сделать вывод о том, что в категории основных причин нанесения ущерба жизни и здоровью огнеборцев в период выполнения ими действий по тушению очагов возгорания, прослеживаются интоксикация продуктами горения, отравляющими веществами, а также смертельные исходы и ранения, полученные при непосредственной близости к источникам взрыва газов с повышенной концентрацией и без неё (рис.1-4).

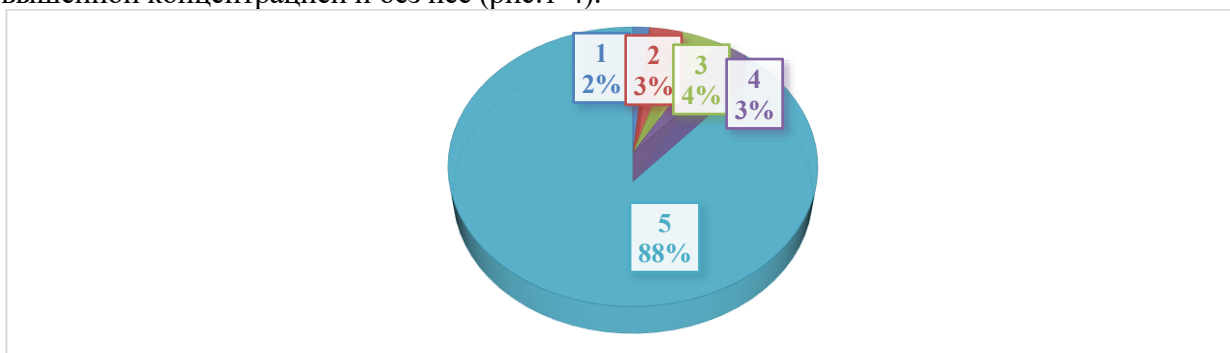


Рис. 1 - Основные причины травмирования личного состава МЧС России при тушении пожаров, связанных с термическим газообменом

1 - отравление вредными веществами, 2 - отравление токсичными термическими продуктами, 3 - взрыв сжатых газов при повышенной концентрации, 4 - пожар-вспышка, обратная тяга, 5 - иные причины

Fig. 1 - The main causes of injuries to personnel of the Russian Emergencies Ministry when extinguishing fires associated with thermal gas exchange

1 - poisoning by harmful substances, 2 - poisoning by toxic thermal products, 3 - explosion of compressed gases at elevated concentrations, 4 - fire-flash, backdraft, 5 - other causes

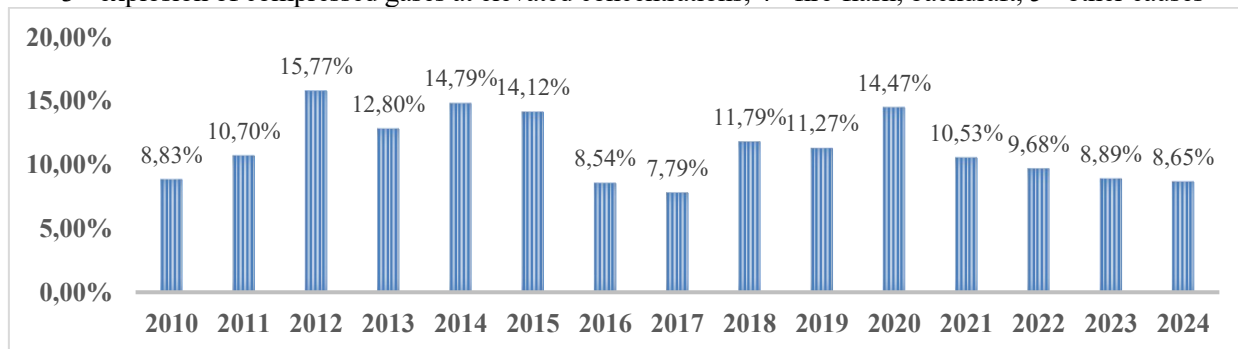


Рис. 2 - Динамика травмирования личного состава МЧС России при тушении пожаров, связанных с термическим газообменом

Fig. 2 - Dynamics of injuries to personnel of the Russian Emergencies Ministry when extinguishing fires associated with thermal gas exchange

Анализ травмирования и, в особенности, гибели должностных лиц реагирующих подразделений пожарной охраны за отчетный период показал, что одними из немаловажных причин, сопутствующих указанным печальным последствиям пожара, остаются процессы, внешними проявлениями которых могут быть дымообразующие потоки и цвет выделяемого дыма.

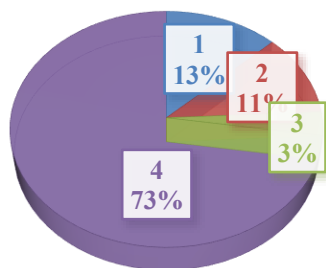


Рис. 3 – Основные причины гибели личного состава МЧС России при тушении пожаров, связанных с термическим газообменом

1 – отравление токсичными термическими продуктами, 2 – взрыв сжатых газов при повышенной концентрации, 3 – пожар-вспышка, обратная тяга, 4 – иные причины

Fig. 3 - The main causes of death of personnel of the Russian Emergencies Ministry when extinguishing fires associated with thermal gas exchange

1 – poisoning by toxic thermal products, 2 – explosion of compressed gases at elevated concentrations, 3 – fire-flash, backdraft, 4 – other causes

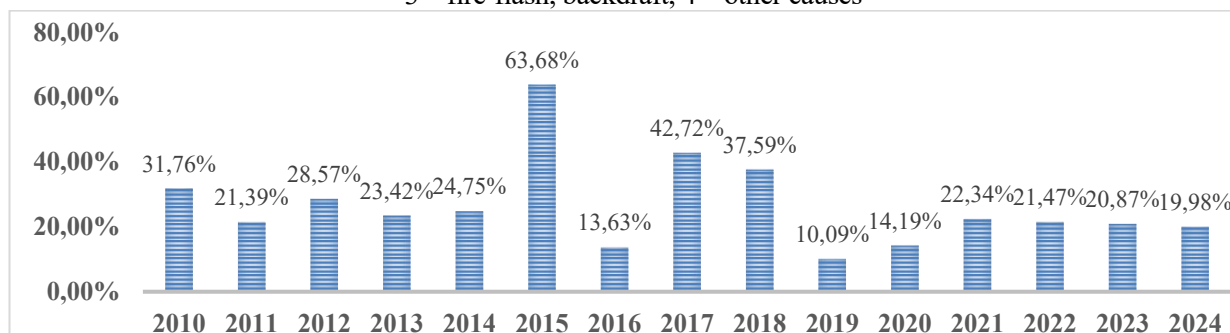


Рис. 4 – Динамика гибели личного состава МЧС России при тушении пожаров, связанных с термическим газообменом

Fig. 4 - Dynamics of deaths of personnel of the Russian Emergencies Ministry during fire extinguishing associated with thermal gas exchange

В целом в нашей стране в последние десятилетия профильными специалистами научных и образовательных учреждений проводилось недостаточное количество экспериментальных исследований об установлении пожарно-технических показателей различных веществ и материалов, участвующих в физико-химических реакциях, протекающих в очаге пожара. Несмотря на повсеместное использование при строительстве и ремонте инновационных полимерных и иных неорганических материалов, созданные Ю.А. Кошмаровым, А.Н. Баратовым и А.Я. Корольченко типовые базы классификации нагрузки по пожаровзрывоопасности и горючести практически не актуализировались и не дополнялись [4-7]. В настоящее время вопросы анализа частиц дыма являются областью научных интересов профессора Пузача С.В. [8, 9]. При этом, если говорить о показателях и свойствах дыма, то исследования осуществлялись и осуществляются исключительно в формате определения дымообразующей способности строительных материалов для оценки возможности их применения на путях эвакуации в рамках сертификации продукции, а также при проведении пожарно-технических экспертиз [10, 11]. Зарубежными учеными указанная область изучалась только в целях производства средств пожарной автоматики [12, 13]. А об особенностях поведения частиц дыма в процессе термического разложения или пиролиза и опасностях, сопровождающихся этими явлениями при подаче огнетушащих веществ и принятии соответствующих мер по недопущению воздействия на спасаемых людей и участников пожаротушения, научно-исследовательская работа проводилась в объеме, несоизмеримо малом в сравнении с потенциальными угрозами, возникающими в результате этих процессов. В целях устранения указанного дефицита знаний авторами принято решение о формировании и систематизации базы данных снимков дыма, образующе-

гося при сгорании различных веществ и материалов (и их комбинации), составляющих основную горючую нагрузку в помещениях объектов разного функционального назначения. Полученные сведения посредством методов машинного обучения позволят использовать данную информацию для создания программно-аппаратных продуктов систем поддержки принятия решений на месте осуществления работ по тушению и спасению пострадавших, а также повышения уровня безопасности специалистов пожарно-спасательной отрасли.

Обсуждение результатов. Для достижения указанной цели первоначально установлен тип горючей нагрузки и классификатор признаков, исследуемых в рамках данного научного изыскания (табл. 1).

Таблица 1. Классификатор (выборка) изображений дыма в зависимости от пожарной нагрузки
Table 1. Classifier (sample) of smoke images depending on fire load

№ п/п Item no.	Тип пожарной нагрузки Fire load type	Вид горючего вещества Type of combustible sub- stance	Агрегатное со- стояние State of matter	Присваиваемый иден- тификационный номер Assigned identification number
1.	Бумага и её производ- ные Paper and its derivatives	Бумага упаковочная	Твердое вещество Solid matter	Б0001
2.		Бумага офсетная		Б0002
3.		Бумага туалетная		Б0003
4.		Глянцевые журналы		Б0004
5.		Книги		Б0005
6.	Древесина и её произ- водные Wood and its derivatives	Доски	Твердое вещество Solid matter	Д0001
7.		Фанера		Д0002
8.		Древесно-стружачая плита		Д0003
9.		Древесно-волоконная плита		Д0004
10.	Кожаные изделия Leather goods	Натуральная кожа	Твердое вещество Solid matter	К0001
11.	Резинотехнические изделия Rubber products	Автомобильные шины	Твердое вещество Solid matter	Р0001
12.		Резиновая обувь и средства защиты		Р0002
13.		Резиновые игрушки		Р0003
14.	Текстиль Textile	Хлопок	Твердое вещество Solid matter	Т0001
15.		Шерсть		Т0002
16.	Пластмассы Plastics	Полиэтилентерефталат	Твердое вещество Solid matter	П0001
17.		Полиэтилен		П0002
18.		Поливинилхлорид		П0003
19.		Полипропилен		П0004
20.		Полистирол		П0005

Созданный банк изображений позволит реализовывать дальнейшие поиски адекватных математических, имитационных и технических инструментов формирования систем поддержки управления деятельности РТП. Предложенный авторами перечень видов горючих веществ и материалов (структура базы данных) не является исчерпывающим списком, а предполагает получение первоначальных обобщенных и усредненных образцов фотоснимков высокого разрешения для последующего проектирования подробного набора данных с более точными и корректными цветовыми показателями. Изучение возможности автоматизации распознавания дымовых частиц в зависимости от конкретного вида вещества или материала, сохра-

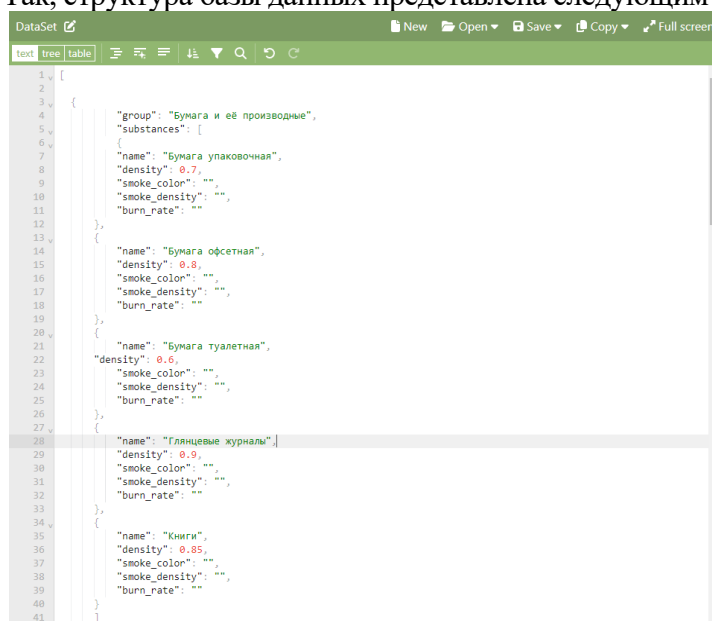
ненных в разработанном датасете, является основной целью научных исследований, заложенных авторами в краткосрочной перспективе. Для улучшения понимания механизмов дымообразования предлагается применение искусственного интеллекта в анализе и систематизации данных о пожарах – в долгосрочной.

Достижению цели должны способствовать следующие первоочередные задачи:

- совершенствование прототипа установки, позволяющей адекватно регистрировать видеопоследовательность кадров с последующей возможностью их декомпозиции на качественные изображения;
- проведение комплекса экспериментальных исследований по всесторонней фиксации цветовых характеристик дымообразования изучаемых продуктов термического разложения;
- совершенствование и разработка алгоритмов автоматизации процессов распознавания вида горючей нагрузки (конкретного вещества или материала), исходя из выявленных параметров дыма в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах спектров;
- проведение процедур обучения системы методами первичной обработки набора данных;
- выявление и корректировка типовых ошибок и погрешностей;
- пополнение базы данных;
- формирования базы знаний.

По мнению авторов, в целях точного и корректного последующего обучения модели сформированный датасет должен содержать не менее 1000 снимков по каждому виду горючего материала, соответственно общий объем банка данных следует формировать количеством не менее 20000 изображений. Для формирования базы данных, которая будет использоваться для определения типа пожарной нагрузки по дымовому потоку, важно структурировать информацию таким образом, чтобы она была удобна для анализа и обработки.

Приведем пример описания структуры базы данных и ее содержимого, представленных на основе табл. 1. Группа «Бумага и её производные» содержит различные типы горючих веществ. Каждый тип бумаги имеет свои уникальные характеристики, влияющие на свойства образующегося дымового потока. Формирование таких данных для обучения нейронной сети осуществляется с помощью нескольких программных средств и подходов [14, 15]. Для этого создана таблица или JSON-файл, содержащий информацию о каждом виде горящей бумаги (цвет дыма, плотность дыма, интенсивность дымовыделения и т.д.), сохраняющие информацию в CSV или JSON формате. Так, структура базы данных представлена следующим образом (рис. 5):



```
1 [
2   {
3     "group": "Бумага и её производные",
4     "substances": [
5       {
6         "name": "Бумага упаковочная",
7         "density": 0.7,
8         "smoke_color": "",
9         "smoke_density": "",
10        "burn_rate": ""
11      },
12      {
13        "name": "Бумага офсетная",
14        "density": 0.8,
15        "smoke_color": "",
16        "smoke_density": "",
17        "burn_rate": ""
18      },
19      {
20        "name": "Бумага туалетная",
21        "density": 0.6,
22        "smoke_color": "",
23        "smoke_density": "",
24        "burn_rate": ""
25      }
26    ]
27  },
28  {
29    "name": "Глянцевые журналы",
30    "density": 0.9,
31    "smoke_color": "",
32    "smoke_density": "",
33    "burn_rate": ""
34  },
35  {
36    "name": "Книги",
37    "density": 0.85,
38    "smoke_color": "",
39    "smoke_density": "",
40    "burn_rate": ""
41  }
42 ]
```

Рис. 5 - Структура датасета в формате JSON
Fig. 5 - Dataset structure in JSON format

Объединение метаданных с изображениями для обучения нейросети требует тщательной подготовки данных, аннотации и правильного выбора инструментов [16, 17, 18]. С помощью фреймворка PyTorch, был создан прототип модели для распознавания дымовых следов различных видов бумаги, а также других материалов, представленных в табл. 1. Обучение модели осуществлено основе YOLO [19, 20].

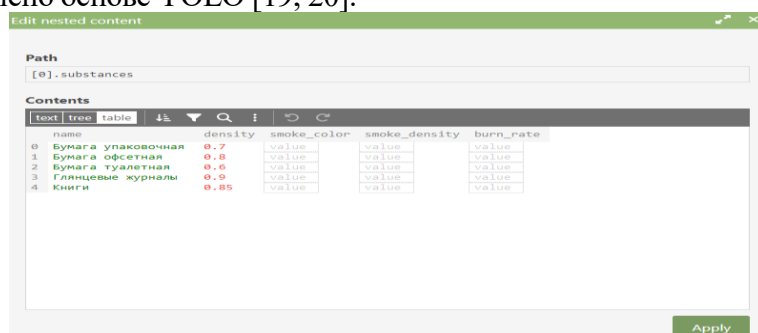


Рис. 6 - Интерфейсное окно для ввода полученных данных в JSON-файл

Fig. 6 - Interface window for entering received data into a JSON file

В целях корректного и эффективного применения полученных данных, разработанный датасет снимков трансформируется в итоговый инструмент системы поддержки принятия решений РТП и оперативного штаба пожаротушения – базу знаний. Алгоритм создания базы знаний предусматривает определенную последовательность действий пользователей: происходит загрузка предварительно подготовленных фотографий в автоматизированную систему, их обработка и сохранение (рис.6).

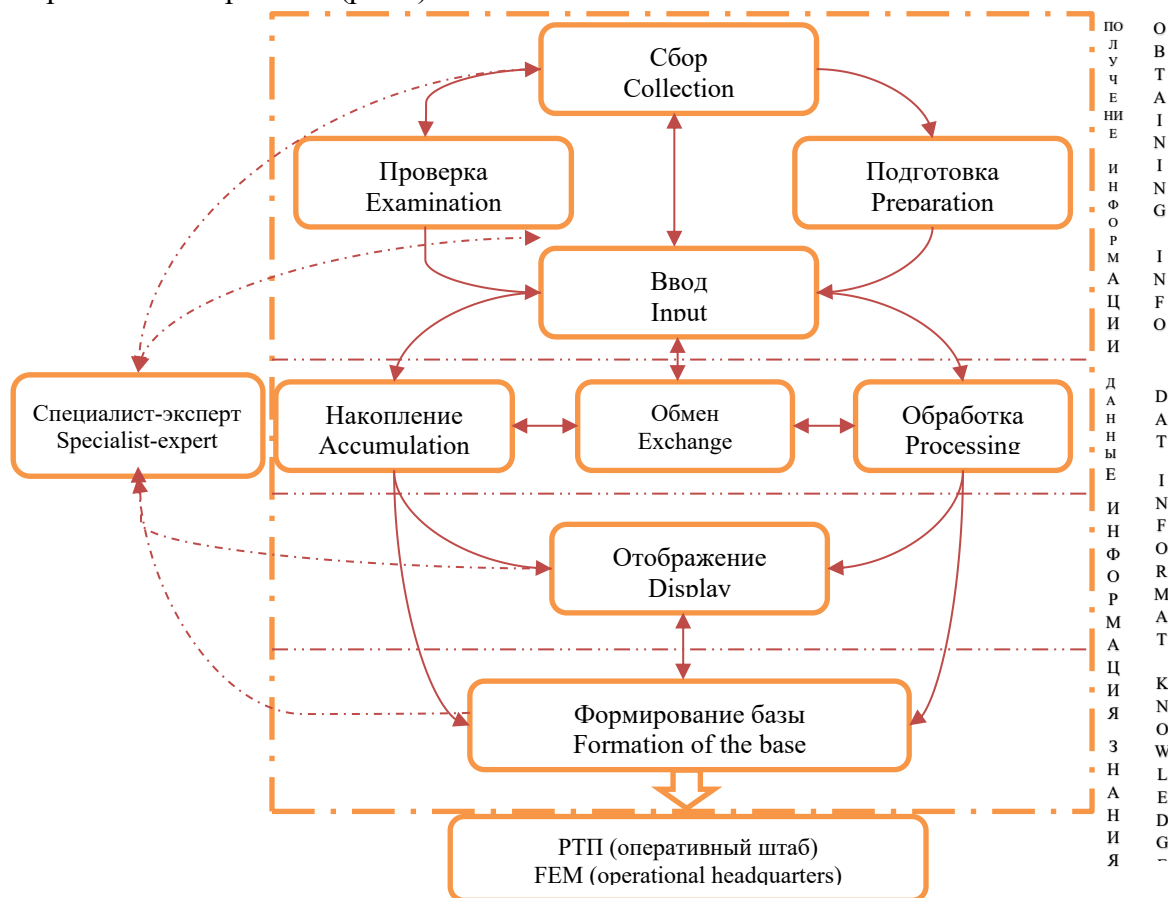


Рис. 7 - Модель формирования базы знаний РТП по анализу дыма в зависимости от типа горючей нагрузки

Fig. 7 - Model for forming the knowledge base of the FEM for smoke analysis depending on the type of combustible load

Затем осуществляется выбор конкретных типов и параметров горючей нагрузки, по которым требуется создание базы знаний. Модель (рис. 7) проектирования базы знаний изображений дыма в зависимости от продукта горения состоит из следующих основных компонентов: работа специалиста по подготовке исходных данных, автоматический анализ входных данных интеллектуальной системой, сохранение обработанной информации в базу данных, формирование базы знаний.

Вывод. Новизна исследования заключается в интеграции искусственного интеллекта с динамикой пожаров для создания адаптивных методов, моделей, алгоритмов поддержки решений при ведении боевых действий.

Проведенный анализ травмирования и гибели пожарных и спасателей подтверждает важность и актуальность предлагаемых авторами исследований. Часто причиной отравления личного состава продуктами горения является несвоевременное включение в средства индивидуальной защиты органов дыхания или вообще их неиспользование вследствие некачественной оценки руководителем тушения пожара зоны возгорания и горящих материалов. Разрабатываемые механизмы анализа дыма будут способствовать снижению уровня опасности личного состава пожарно-спасательных подразделений и повышать их тактические возможности непосредственно в зоне контакта с огнем. Безопасность огнеборцев – это несомненный приоритет в вопросах защиты людей и имущества, что дает авторам стимул к проведению дальнейших научных поисков и решений в данной области.

Библиографический список:

1. О процессах дымообразования на месте пожара / М.В. Шевцов, А.Н. Денисов, М.М. Данилов [и др.] // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны: в 5-ти частях, Москва, 01 марта 2024 года. – Москва: Академия Государственной противопожарной службы, 2024. – С. 369-374. – EDN NXCBQV.
2. Обстоятельства производственного травматизма и гибели личного состава Федеральной противопожарной службы МЧС России (2010-2020 гг) / В.И. Евдокимов, В.С. Путин, А.А. Ветошкин, В.В. Артюхин // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2021. – № 4. – С. 5-19. – DOI 10.25016/2541-7487-2021-0-4-05-19. – EDN KPNHZI.
3. Анализ гибели (смерти) лиц из числа личного состава МЧС России за 2024 год [электронный ресурс]. URL: <https://fireman.club/literature/analiz-gibeli-smerti-lichnogo-sostava-v-mchs-rossii-za-i-kvartal-2024-goda/> (дата последнего обращения: 23 февраля 2025 г.).
4. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с. ISBN – 59229-0011-0.
5. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справочное издание: в 2-х книгах. Книга 1 / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. - М.: Химия, 1990. - 496 с.
6. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справочное издание: в 2-х книгах. Книга 2 / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. - М.: Химия, 1990. - 384 с.
7. А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – 2-е изд. перераб.и доп. – М.: Асс. «Пожнаука», 2004. – Ч. I. – 713 с. ISBN – 5-901283-02-3.
8. Экспериментальная оценка объёмной концентрации и размеров твёрдых частиц дыма, образующихся при терморазложении горючих материалов / С.В. Пузач, Ю.Ю. Журавлев, О.Б. Болдрушкиев, Р.Г. Акперов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2024. – № 2. – С. 5-12. – DOI 10.25257/FE.2024.2.5-12. – EDN HBFAXS.
9. Пузач, С.В. Численное моделирование задымления помещений при пожаре с учетом различных типов пожарной нагрузки / С.В. Пузач, С.П. Калмыков // Пожаровзрывобезопасность. – 2024. – Т. 33, № 2. – С. 42-49. – DOI 10.22227/0869-7493.2024.33.02.42-49. – EDN NNKXIS.
10. Григорьева, М.П. Исследование дымообразующей способности напольных покрытий / М.П. Григорьева, Т.Ю. Еремина, Н.И. Константинова // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – № 3. – С. 25-30. – EDN VSEOCR.
11. Оценка пожарной опасности напольных покрытий при производстве пожарно-технической экспертизы / Г.В. Плотникова, А.И. Волкова, В.Ю. Селезнев, А.С. Ковалько // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. – 2013. – № 3(66). – С. 76-83. – EDN SIQSAT.

12. K. Muhammad, S. Khan, M. Elhoseny, S.H. Ahmed, and S.W. Baik, "Efficient fire detection for uncertain surveillance environment," IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2019.
13. D. Luan, T. Chu, Jakub Bielawski, C. Fan, W. Węgrzyński, X. Huang (2024) Smoke movement and stratification of tunnel fires under coupled effects of rainfall and ventilation, Fire Safety Journal, 104322. DOI: 10.1016/j.firesaf.2024.104323.
14. Багаев, И.И. Анализ понятий нейронная сеть и сверточная нейронная сеть, обучение сверточной нейросети при помощи модуля TensorFlow / И.И. Багаев // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2020. – Т. 8, № 1. – С. 15-22. – DOI 10.18503/2306-2053-2020-8-1-15-22. – EDN IZBILN.
15. Raschka, S. Machine learning in python: Main developments and technology trends in data science, machine learning, and artificial intelligence / S. Raschka, J. Patterson, C. Nolet // Information (Switzerland). – 2020. – Vol. 11, No. 4. – P. 193. – DOI 10.3390/info11040193. – EDN TEBRGY.
16. Эшанкулова, С. Жахон кутубхоналарида сунъий интеллектдан фойдаланиш истикболлари / С. Эшанкулова // INFOLIB: информационно-библиотечный вестник. – 2023. – No. 3. – P. 41-45. – DOI 10.34920/2181-8207/2023/3-075. – EDN FPFQJQ.
17. Тыринов, В.С. Разработка и обучение нейросети распознаванию изображений на базе языка Python и библиотеки TensorFlow / В.С. Тыринов // Студенческая наука и XXI век. – 2023. – Т. 20, № 1-1(23). – С. 108-110. – EDN XUPZXM.
18. Inoue T., Chaudhury S., De Magistris G., Dasgupta S. Transfer learning from synthetic to real images using variational autoencoders for precise position detection. Intern. Conf. on Image Processing (ICIP), Athens, 2018, pp. 2725–2729. doi:10.1109/ICIP.2018.8451064.
19. PyTorch documentation [электронный ресурс]. URL: <https://pytorch.org/docs/stable> (дата последнего обращения: 06 февраля 2025 г.).
20. Константинов, А.А. Использование YOLO для обнаружения объектов в видеозаписи на языке Python с помощью библиотеки OpenCV / А.А. Константинов // Modern Science. – 2019. – № 6-1. – С. 191-198. – EDN GDYGHW.

References:

1. On the processes of smoke formation at the site of a fire / M. V. Shevtsov, A. N. Denisov, M. M. Danilov [et al.] // Civil defense on guard of peace and security: Proceedings of the VIII International scientific and practical conference dedicated to the World Civil Defense Day: in 5 parts, Moscow, March 01, 2024. - Moscow: Academy of the State Fire Service, 2024; 369-374. - EDN NXCQV. (In Russ)
2. Circumstances of industrial injuries and deaths of personnel of the Federal Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia (2010-2020) / V. I. Evdokimov, V. S. Putin, A. A. Vetoshkin, V. V. Artyukhin. *Medical, biological and socio-psychological problems of safety in emergency situations*. 2021;4:5-19. – DOI 10.25016/2541-7487-2021-0-4-05-19. – EDN KPNHZI. (In Russ)
3. Analysis of the fatalities (deaths) of persons from among the personnel of the Ministry of Emergency Situations of Russia for 2024 [electronic resource]. URL: <https://fireman.club/literature/analiz-gibeli-smerti-lichnogo-sostava-v-mchs-rossii-za-i-kvartal-2024-goda/> (date of last access: February 23, 2025). (In Russ)
4. Koshmarov Yu.A. Forecasting hazardous factors of fire in a room: Study guide. – M.: Academy of the GPS of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2000:118 p. ISBN – 59229-0011-0. (In Russ)
5. Fire and explosion hazard of substances and materials and their extinguishing means: Reference publication: in 2 books. Book 1. A.N. Baratov, A.Ya. Korolchenko, G. N. Kravchuk et al. Moscow: Chemistry, 1990;496 p. (In Russ)
6. Fire and explosion hazard of substances and materials and their extinguishing means: Reference publication: in 2 books. Book 2. A.N. Baratov, A.Ya. Korolchenko, G.N. Kravchuk et al. Moscow: Chemistry, 1990. 384 p. (In Russ)
7. A.Ya. Korolchenko, D.A. Korolchenko. Fire and explosion hazard of substances and materials and their extinguishing means. Handbook: in 2 parts. – 2nd ed. revised and enlarged. – M.: Assoc. "Pozhnauka", 2004; Part I.:713 ISBN – 5-901283-02-3. (In Russ)
8. Experimental assessment of the volume concentration and size of solid smoke particles formed during thermal decomposition of combustible materials. S.V. Puzach, Yu.Yu. Zhuravlev, O.B. Boldrushkiev, R.G. Akperov. *Fires and emergencies: prevention, liquidation*. 2024; 2: 5-12. – DOI 10.25257/FE.2024.2.5-12. – EDN HBFKKS. (In Russ)
9. Puzach, S.V. Numerical modeling of smoke in premises during a fire, taking into account various types of fire load / S.V. Puzach, S.P. Kalmykov. *Fire and explosion safety*. 2024;33(2):42-49. - DOI 10.22227/0869-7493.2024.33.02.42-49. - EDN NNKXIS. (In Russ)
10. Grigorieva, M.P. Study of smoke-forming capacity of floor coverings / M.P. Grigorieva, T.Yu. Eremina, N.I. Konstantinova. *Industrial and civil engineering*. - 2016. - No. 3. - Pp. 25-30. - EDN VSEOCP. (In Russ)

11. Assessment of fire hazard of floor coverings during fire-technical examination / G.V. Plotnikova, A.I. Volkova, V.Yu. Seleznev, A.S. Kovalko // Bulletin of the East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. - 2013. - No. 3 (66). - P. 76-83. - EDN SIQSAT.
12. K. Muhammad, S. Khan, M. Elhoseny, S.H. Ahmed, and S.W. Baik, "Efficient fire detection for uncertain surveillance environment," IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2019.
13. D. Luan, T. Chu, Jakub Bielawski, C. Fan, W. Węgrzyński, X. Huang (2024) Smoke movement and stratification of tunnel fires under coupled effects of rainfall and ventilation, Fire Safety Journal, 104322. DOI: 10.1016/j.firesaf.2024.104323.
14. Bagayev, I.I. Analysis of the concepts of neural network and convolutional neural network, training of convolutional neural network using the TensorFlow module. *Mathematical and software support of systems in the industrial and social spheres*. 2020; 8(1):15-22. – DOI 10.18503/2306-2053-2020-8-1-15-22. – EDN IZBILN. (In Russ)
15. Raschka, S. Machine learning in python: Main developments and technology trends in data science, machine learning, and artificial intelligence / S. Raschka, J. Patterson, C. Nolet. *Information (Switzerland)*. 2020;11(4):193. – DOI 10.3390/info11040193. – EDN TEBRGY.
16. Eshankulova, S. Development of neural networks for image recognition. *INFOLIB: information and library bulletin*. 2023;3: 41-45. - DOI 10.34920/2181-8207/2023/3-075. - EDN FPFQJQ. (In Russ)
17. Tyrinov, V.S. Development and training of a neural network for image recognition based on the Python language and the TensorFlow library. *Student science and the XXI century*. 2023; 20(1):108-110. - EDN XUPZXM. (In Russ)
18. Inoue T., Chaudhury S., De Magistris G., Dasgupta S. Transfer learning from synthetic to real images using variational autoencoders for precise position detection. Intern. Conf. on Image Processing (ICIP), Athens, 2018; 2725–2729. doi:10.1109/ICIP.2018. 8451064.
19. PyTorch documentation [electronic resource]. URL: <https://pytorch.org/docs/stable> (last accessed: February 06, 2025).
20. Konstantinov, A.A. Using YOLO for Object Detection in Video in Python Using the OpenCV Library / A.A. Konstantinov. *Modern Science*. 2019;6-1:191-198. - EDN GDYGHW. (In Russ)

Сведения об авторах:

Максим Викторович Шевцов, кандидат технических наук, начальник учебно-методического центра Академии ГПС МЧС России; shevtsovmv@mail.ru

Алексей Николаевич Денисов, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры пожарной тактики и службы (в составе учебно-научного комплекса пожаротушения) Академии ГПС МЧС России; dan_aleks@mail.ru

Мирослав Викторович Иванов, инспектор учебного отдела учебно-методического центра Академии ГПС МЧС России; miroslav.ivanov2001@inbox.ru

Александр Александрович Козлов, начальник отдела организации предоставления государственных услуг и межведомственного взаимодействия Департамента надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России; dkac77@gmail.com

Information about authors:

Maxim V. Shevtsov, Cand. Sci. (Eng)., Head of the educational and methodological center of the Academy of the State fire service of the Ministry of emergency situations of Russia; shevtsovmv@mail.ru

Aleksey N. Denisov, Dr. Sci. (Eng)., Prof., Prof., Department of fire tactics and service (as part of the educational and scientific complex of fire extinguishing) of the Academy of the State fire service of the Ministry of emergency situations of Russia; dan_aleks@mail.ru

Miroslav V. Ivanov, Inspector of the educational Department of the educational and methodological center of the Academy of the State fire service of the Ministry of emergency situations of Russia; miroslav.ivanov2001@inbox.ru

Aleksander A. Kozlov, Head of the Department for the organization of the provision of public services and interdepartmental cooperation of the Department of supervisory activities and preventive work of the Ministry of emergency situations of Russia; dkac77@gmail.com

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов/The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 02.03.2025.

Одобрена после рецензирования/ Reviced 30.04.2025.

Принята в печать/ Accepted for publication 19.05.2025.