

Научная статья  
УДК 614.8+004.8  
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.47.34.006

## Концепция применения когнитивных агентов для оптимизации управления личным составом в ликвидации чрезвычайных ситуаций

*Антон Александрович Лесковский*

*Вадим Петрович Кормышев*

*Вадим Владимирович Чесноков*

*Виктор Николаевич Губайдуллин*

*Алексей Юрьевич Курдынко*

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

*Автор, ответственный за переписку: Антон Александрович Лесковский, 400.beg@mail.ru*

**Аннотация.** Статья посвящена актуальной проблеме оптимизации управления личным составом в процессе ликвидации чрезвычайных ситуаций (далее - ЧС) с использованием современных информационных технологий. Предлагается концепция и подходы к разработке когнитивных агентов, предназначенных для поддержки принятия управленческих решений руководителем ликвидации ЧС. Основная цель работы — создание концепции интеллектуальной системы, способной в режиме реального времени оценивать оперативную обстановку (масштаб, динамику развития ЧС, наличие ресурсов), анализировать действия спасательных отрядов (эффективность, выполнение задач, психологическое состояние) и прогнозировать дальнейшее развитие событий. На основе комплексной оценки когнитивного агента будут предоставляться руководителю ЧС обоснованные рекомендации по корректировке задач, перераспределению личного состава и техники, а также по предотвращению критических ситуаций и минимизации рисков для спасателей. Для формализации процесса управления используется аппарат сетей Петри. В работе описываются архитектура предлагаемой системы, принципы адаптации агентов к меняющимся условиям и механизмы интеграции с существующими системами управления силами и средствами. Полученные результаты могут значительно повысить оперативность и эффективность реагирования на ЧС, а также обеспечить более рациональное использование человеческих ресурсов.

**Ключевые слова:** ликвидация ЧС; аварийно-спасательные формирование; управленческие решения; когнитивные агенты; минимизация рисков, человеческие ресурсы

**Для цитирования:** Лесковский А.А., Кормышев В.П., Чесноков В.В., Губайдуллин В.Н., Курдынко А.Ю. Концепция применения когнитивных агентов для оптимизации управления личным составом в ликвидации чрезвычайных ситуаций // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 4 (39). С. 65-73. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.47.34.006>.

Original article.

## The concept of using cognitive agents to optimize personnel management in emergency response

*Anton A. Leskovski*

*Vadim P. Kormychev*

*Vadim V. Chesnokov*

*Vitkor N. Gubaidullin*

*Alexey Yu. Kurdyenko*

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

*Corresponding author: Anton A. Leskovsky, 400.beg@mail.ru*

**Abstract.** This article is devoted to the pressing issue of optimizing personnel management during emergency response operations using modern information technologies. It proposes a concept and approaches to developing cognitive agents designed to support decision-making by emergency managers. The primary objective of the work is to develop a concept for an intelligent system capable of real-time assessment of the operational situation (scale, dynamics of emergency development, availability of resources), analyzing the actions of rescue teams (effectiveness, task completion, psychological state), and predicting further developments. Based on a comprehensive assessment, the cognitive agent will provide the emergency manager with substantiated recommendations for adjusting tasks, redistributing personnel and equipment, preventing critical situations, and minimizing risks to rescuers. The Petri net formalism is used to model the management process. The paper describes the architecture of the proposed system, the principles of agent adaptation to changing conditions, and the mechanisms for integration with existing force and resource management systems. The results obtained can significantly improve the efficiency and effectiveness of emergency response, as well as ensure a more rational use of human resources.

**Keywords:** Emergency response; emergency rescue teams; management decisions; cognitive agents; risk minimization, human resources

**For citation:** Leskovsky A.A., Kormychev V.P., Chesnokov V.V., Gubaidullin V.N., Kurdyenko A.Yu. The concept of using cognitive agents to optimize personnel management in emergency response // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2025. № 4 (39). С. 65-73. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.47.34.006>.

### Введение

Эффективность ликвидации ЧС напрямую зависит от оперативности и качества принятия управленческих решений [1-2]. В условиях высокой неопределенности, дефицита времени и быстро меняющейся обстановки руководитель ликвидации ЧС сталкивается с проблемой обработки значительных объемов разнородной информации, оценки рисков и оптимального управления личным составом и ресурсами [2]. Традиционные методы управления зачастую оказываются неспособными обеспечить необходимую адаптивность и скорость реагирования, что может приводить к нерациональному использованию человеческих ресурсов, задержкам в проведении спасательных работ и повышению опасности для личного состава [3]. Таким образом, существует острая необходимость в разработке новых, интеллектуальных инструментов, способных существенно повысить когнитивные возможности руководителя и оптимизировать процесс принятия решений.

Необходимость совершенствования системы управления прямо вытекает из требований Федерального закона "Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей" № 151-ФЗ от 07 июля 2025 года [4]. Данный закон устанавливает правовые и организационные нормы в области защиты населения и территорий от ЧС, прямо возлагая на руководителя ликвидации чрезвычайной ситуации (далее - РЛЧС) исключительную ответственность за управление силами и средствами, а также за принятие решений по спасению людей и минимизации ущерба.

Закон [4] фактически требует от РЛЧС непрерывной оценки обстановки, координации действий личного состава, обеспечения их безопасности и эффективного использования ресурсов.

### Анализ проблемной области и существующих подходов к управлению в ЧС

Эффективное управление силами и средствами в условиях чрезвычайной ситуации представляет собой сложную многофакторную задачу, которая до сих пор не имеет полностью автоматизированного и удовлетворительного решения. Анализ современного состояния дел позволяет выявить ряд системных проблем и оценить применимость существующих технологий.

Для анализа когнитивной нагрузки РЛЧС при ликвидации ЧС, рассмотрим ключевые задачи руководителя (Рис.1).

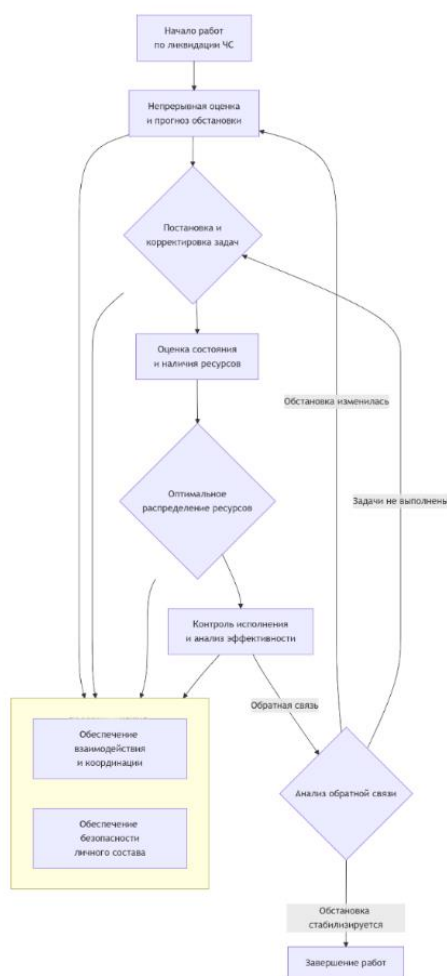


Рис.1. Блок-схема ключевых задач РЛЧС

Представленный комплекс задач наглядно демонстрирует высочайшую когнитивную нагрузку на РЛЧС. Большинство этих задач требуют обработки больших объемов данных, многокритериального анализа и принятия решений в условиях неопределенности [5]. Это создает прямую потребность в интеллектуальных системах поддержки, способных взять на себя часть рутинных аналитических и оптимизационных функций, освободив руководителя для принятия ключевых стратегических решений.

Современная практика управления силами и средствами при ликвидации ЧС опирается на комплекс методов и технологических решений, которые можно классифицировать следующим образом [1]:

1. Классические, регламентированные системы управления на основе единого штаба. Создание централизованного органа управления (штаба) во главе с РЛЧС, который на основе поступающих докладов и предписанных тактик отдает приказы подчиненным подразделениям [6]. Информация передается по цепочке "подразделение → штаб → подразделение".

2. Использование картографических интерфейсов (далее – ГИС). Они необходимы для визуализации обстановки: нанесение очагов ЧС, расположения сил и средств, опасных зон, маршрутов движения. Для этого возможно использование отечественной платформы NextGIS, которая в настоящее время пользуется большим спросом у научных сотрудников, занимающихся ГИС технологиями в подразделениях пожарной охраны [7,8].

3. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений. Разработка систем, использующих элементы инновационных технологий для анализа данных и выработки рекомендаций. Данная система описывается в работе [9], однако, как описывает сам автор, сейчас большим количеством данных управляет система управления базой данных (далее – СУБД), что в будущем может стать неэффективным средством, в связи с изменяющейся обстановкой. Данная информация должна постоянно обновляться под руководством пользователя.

Проведенный анализ наглядно демонстрирует, что, несмотря на наличие развитого арсенала инструментов управления, каждое из рассмотренных решений обладает существенными ограничениями в условиях современной динамичной и насыщенной данными оперативной обстановки.

Таким образом, в контексте управления ликвидацией ЧС остро стоит вопрос разработки и интеграции систем, основанных на технологиях искусственного интеллекта (ИИ), способных преодолеть выявленные недостатки. Необходим переход от систем, которые лишь предоставляют информацию или выполняют уже заготовленные сценарии, к системам, способным к активному аналитическому сопровождению: автономному анализу больших данных в реальном времени, динамическому прогнозированию, многокритериальной оптимизации и, что наиболее важно, генерации адаптивных рекомендаций по управлению ключевым ресурсом — личным составом.

### Инструменты создания умного помощника

Для решения обозначенной проблемы — необходимости в адаптивной, интеллектуальной системе поддержки принятия решений — требуется переход от традиционных программных парадигм к использованию агентно-ориентированного подхода. Однако класс «агентов» широк и неоднороден [10]. В связи с этим, необходим анализ существующих типов агентов и выбор такой архитектуры, которая наилучшим образом соответствует требованиям управления в условиях ЧС.

**Таблица. Виды агентов и их применимость для поставленной задачи**

Критерий / Тип агента	Реактивный [11]	Делающий выводы (Deliberative, e.g., BDI) [12]	Гибридный (Когнитивный) [13]
Ключевой принцип	Простые правила «стимул-реакция» (IF-THEN)	Логический вывод и планирование (Убеждения-Желания-Намерения)	Комбинация реактивного и делающего выводы подходов в многослойной архитектуре
Преимущества	- Высочайшая скорость реакции - Низкие вычислительные затраты - Простота реализации и отладки	- Способность к сложному планированию - Обоснованность и объяснимость решений - Работа с абстрактными целями	- Сочетание скорости и интеллекта - Высокая адаптивность к изменениям - Устойчивость к неопределенности - Возможность обучения

Критерий / Тип агента	Реактивный [11]	Делающий выводы (Deliberative, e.g., BDI) [12]	Гибридный (Когнитивный) [13]
Недостатки	- Отсутствие прогнозирования и планирования - Не адаптивность к новым сценариям - "Хрупкость" (неспособность действовать вне прописанных правил)	- Высокие вычислительные затраты - Инерционность, медленная реакция - Сложность актуализации базы знаний в реальном времени	- Высокая сложность проектирования и реализации - Необходимость координации между слоями
Пример для ЧС	Агент, подающий сигнал "пожар" при превышении порога температуры	Агент, строящий оптимальный план локализации пожара с учетом ресурсов и прогноза погоды	Агент, который реактивно отзывает подразделение при угрозе обрушения, а затем аналитически пере строивает общий план работ
Применимость для управления личным составом	НИЗКАЯ. Может использоваться как "датчик" для срочных уведомлений, но непригоден для комплексного управления	ОГРАНИЧЕННАЯ. Эффективен для предварительного и долгосрочного планирования, но не справляется с оперативным управлением в динамичной обстановке	ВЫСОКАЯ. Наиболее перспективная архитектура, напрямую соответствующая двойственной природе задач в ЧС

По представленной таблице возможно сделать вывод, что для управления в условиях ЧС гибридная архитектура является оптимальным выбором, так как единственная сочетает оперативность реактивных систем с аналитическими и прогностическими способностями когнитивных агентов, что необходимо для работы в динамичной неопределенной среде.

### Концепция работы когнитивного помощника

Разрабатываемая система представляет собой интеллектуальный комплекс поддержки принятия решений, построенный на основе когнитивных агентов. Архитектура системы реализует гибридный подход, сочетающий реактивное поведение для оперативного реагирования на угрозы с возможностями глубокого анализа и прогнозирования

для стратегического планирования.

Ключевые принципы работы системы:

1. Многоагентная архитектура - система состоит из специализированных агентов, каждый из которых отвечает за определенный аспект управления:

- Мониторинг оперативной обстановки
- Оценка ресурсов и состояния личного состава
- Анализ эффективности выполняемых задач
- Прогнозирование развития ЧС
- Генерация адаптивных рекомендаций

2. Непрерывный цикл управления - система функционирует в режиме реального времени, постоянно обрабатывая поступающую информацию и корректируя рекомендации по мере изменения обстановки.

3. Иерархическая обработка информации - данные проходят многоуровневый анализ от первичной обработки сырых данных до формирования стратегических рекомендаций.

Для формализации процесса управления ликвидацией ЧС предлагается использовать аппарат сетей Петри, который позволяет наглядно смоделировать параллельные процессы, условия перехода между состояниями и взаимодействие различных компонентов системы.

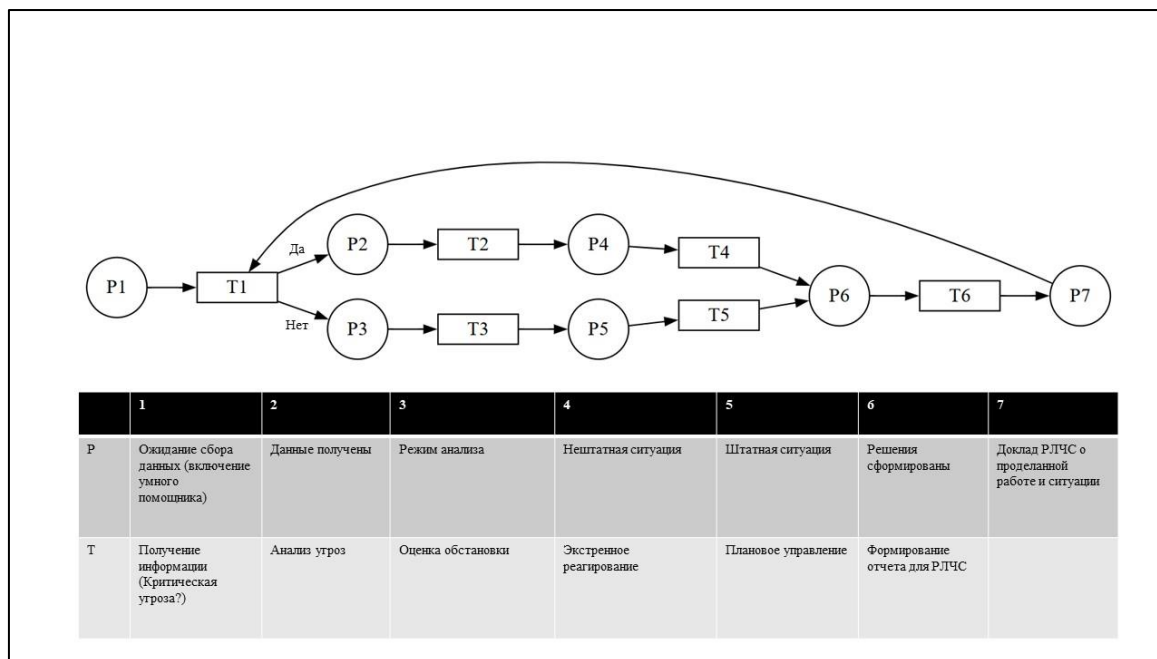


Рис.2. Описание работы когнитивного агента с помощью сетей Петри

Данная модель позволяет наглядно представить циклический характер процесса управления и параллельную обработку информации различными компонентами системы, что обеспечивает высокую эффективность работы когнитивного помощника в условиях динамично меняющейся обстановки ЧС.

### Перспективы внедрения системы

В долгосрочной перспективе система может быть расширена за счет:

1. Интеграции с системами мониторинга состояния спасателей:
  - Использование носимых датчиков для оценки физического состояния;
  - Анализ психоэмоциональной нагрузки в реальном времени.
2. Развития предиктивных возможностей:
  - Создание цифровых двойников для моделирования различных сценариев;
  - Использование методов машинного обучения для улучшения прогнозов.
3. Адаптации для различных типов ЧС:
  - Настройка модулей под специфику лесных пожаров, наводнений, техногенных аварий;
  - Разработка отраслевых решений для промышленных предприятий.
4. Создания мобильной и распределенной архитектуры:
  - Разработка мобильных клиентов для работы в полевых условиях;
  - Организация распределенной сети агентов для крупномасштабных ЧС.

### Заключение

Проведенное исследование подтвердило актуальность и практическую значимость разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений для управления личным составом при ликвидации чрезвычайных ситуаций. На основе комплексного анализа проблемной области была выявлена ключевая проблема — высокая когнитивная нагрузка на руководителя ликвидации ЧС, обусловленная необходимостью обработки больших объемов разнородной информации в условиях дефицита времени и неопределенности.

В результате работы:

1. Разработана концепция когнитивного помощника на основе гибридной архитектуры интеллектуальных агентов, сочетающей реактивное поведение для оперативного реагирования и когнитивные способности для стратегического планирования.

2. Предложена многоагентная структура системы, включающая специализированные модули мониторинга, анализа, прогнозирования и генерации рекомендаций.

3. Формализован процесс управления с использованием сетей Петри, что позволяет наглядно представить динамику взаимодействия компонентов системы и циклический характер принятия решений.

Предложенный подход открывает новые возможности для повышения эффективности управления силами и средствами при ликвидации ЧС, обеспечивая существенное снижение рисков для личного состава и оптимизацию использования человеческих ресурсов в экстремальных условиях.

### Список источников

1. Сергей Алексеевич Старостин *Управленческие решения в чрезвычайных ситуациях* // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина. 2024. №5 (117). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlencheskie-resheniya-v-chrezvychaynyh-situatsiyah> (дата обращения: 16.10.2025).

2. Амиров Николай Асатурович, Рева Юрий Викторович *ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ И ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ* // E-Scio. 2022. №5 (68). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-aspekty-razrabotki-i-prinyatiya-upravlencheskih-resheniy-v-usloviyah-chrezvychaynyh-situatsiy> (дата обращения: 16.10.2025).

3. Шкатова Е.С., Старов В.Н. *Проблемы управления и некоторые методы принятия решений в чрезвычайных ситуациях на опасных объектах* // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2014. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-upravleniya-i-nekotorye-metody-prinyatiya-resheniy-v-chrezvychaynyh-situatsiyah-na-opasnyh-obektah> (дата обращения: 16.10.2025).

4. Российская Федерация. *Законы. Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей от 07.07.2025 № 151-ФЗ* / КонсультантПлюс: сайт. - URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_7746/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_7746/) (дата обращения: 16.10.2025).

5. Хорватх Галина, Кути Раймунд *Задачи руководителя аварийно-спасательных работ по ликвидации аварий при перевозке опасных веществ автотранспортом* // Пожары и ЧС. 2017. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zadachi-rukovoditelya-avariyno-spasatelnyh-rabot-po-likvidatsii-avariy-pri-perevozke-opasnyh-veschestv-avtotransportom> (дата обращения: 16.10.2025).

6. Катинская Е.С. *Оперативный штаб: правовая природа организации деятельности и проблемы функционирования в условиях биологической угрозы* // Вестник ВГУ. Серия: Право. 2023. №2 (53). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/operativnyy-shtab-pravovaya-priroda-organizatsii-deyatelnosti-i-problemy-funktsionirovaniya-v-usloviyah-biologicheskoy-ugrozy> (дата обращения: 17.10.2025).

7. *Использование NextGIS для разработки интерактивных веб-карт водоемисточников: подходы, возможности и примеры* / Г.Ю. Шамсудинов, В.В. Морозов, С.О. Ондар [и др.] // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. – 2025. – № 1(17). – С. 43-49. – DOI 10.34987/2712-9233.2025.27.16.006. – EDN LBBARY.

8. Шамсудинов, Г.Ю. *Применение геоинформационных технологий в пожарной охране* / Г.Ю. Шамсудинов, В.Ю. Яровой, В.И. Спешилов // Информационные технологии в сфере РСЧС и ГО: Сборник трудов секции № 12 XXXV Международной научно-практической конференции, Химки, 26 февраля 2025 года. – Химки: Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования "Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика", 2025. – С. 132-136. – EDN HPXCDZ.

9. Игнатов Максим Сергеевич *Интеллектуальные системы поддержки принятия решения* // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики.

2008. №46. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnye-sistemy-podderzhki-prinyatiya-resheniya> (дата обращения: 17.10.2025).

10. Asaad R.R., Saeed V.A., Abdulhakim R.M. Smart Agent and it's effect on Artificial Intelligence: A Review Study //Icontech International Journal. – 2021. – Т. 5. – №. 4. – С. 1-9.

11. Widad J. The Evolution of Autonomy: From Reactive AI to Agentic AI //The Power of Agentic AI: Redefining Human Life and Decision-Making: In Industry 6.0. – 2025. – С. 1-9.

12. Wojtusiak J., Warden T., Herzog O. Machine learning in agent-based stochastic simulation: Inferential theory and evaluation in transportation logistics //Computers & Mathematics with Applications. – 2012. – Т. 64. – №. 12. – С. 3658-3665.

13. Zheng P. et al. Towards Self-X cognitive manufacturing network: An industrial knowledge graph-based multi-agent reinforcement learning approach //Journal of Manufacturing Systems. – 2021. – Т. 61. – С. 16-26.

## References

1. Sergey Alekseevich Starostin Management solutions in emergency situations // Bulletin of the O.E. Kutafin University. 2024. No.5 (117). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlencheskie-resheniya-v-chrezvychaynyh-situatsiyah> (accessed: 16.10.2025).

2. Nikolay Amirov Astsaturovich, Reva Yuri Viktorovich THEORETICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT AND ADOPTION OF MANAGERIAL DECISIONS IN EMERGENCY SITUATIONS // e-Sayo. 2022. No.5 (68). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-aspekty-razrabotki-i-prinyatiya-upravlencheskih-resheniy-v-usloviyah-chrezvychaynyh-situatsiy> (accessed: 16.10.2025).

3. Shkatova E.S., Starov V.N. Management problems and some decision-making methods in emergency situations at hazardous facilities // Safety issues in the aftermath of emergencies. 2014. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemny-upravleniya-i-nekotorye-metody-prinyatiya-resheniy-v-chrezvychaynyh-situatsiyah-na-opasnyh-obektah> (accessed: 16.10.2025).

4. The Russian Federation. Laws. About the emergency rescue service and the status of rescuers from 07.07.2025 No. 151-FROM / Link: website. - URL: <url> [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_7746/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_7746/) (accessed: 16.10.2025).

5. Galina Horvath, Raimund Kuti Tasks of the head of emergency rescue operations for the elimination of accidents during the transportation of dangerous substances by motor vehicles // Fires and emergencies. 2017. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zadachi-rukovoditelya-avariynospasatelnyh-rabot-po-likvidatsii-avariy-pri-perevozke-opasnyh-veschestv-avtotransportom> (accessed: 16.10.2025).

6. Katinskaya E.S. Operational headquarters: the legal nature of the organization of activities and the problems of functioning in conditions of biological threat // Bulletin of the VSU. Series: Law. 2023. No. 2 (53). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/operativnyy-shtab-pravovaya-priroda-organizatsii-deyatelnosti-i-problemy-funktsionirovaniya-v-usloviyah-biologicheskoy-ugrozy> (accessed: 17.10.2025).

7. Using their own web maps for the development of interactive water sources: approaches, opportunities and examples / G.Y. Shamsudinov, V.V. Morozov, S.O. Ondar [et al.] // Actual problems of safety in the technosphere. – 2025. – № 1(17). – Pp. 43-49. - DOI 10.34987/2712-9233.2025.27.16.006. – PUBLISHING HOUSE OF THE LIBRARY.

8. Shamsudinov, G.Y. Application of geoinformation technologies in fire protection / G.Y. Shamsudinov, V.Y. Yarovoy, V.I. Speshilov // Information technologies in the field of emergency situations and civil defense: Proceedings of section No. 12 of the XXXX International Scientific and Practical Conference, Khimki, February 26, 2025. – Khimki: Federal State Budgetary Military Educational Institution of Higher Education "Academy of Civil Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters named after Lieutenant General D.I. Mikhaylik", 2025. – p. 132-136. – HPXCDZ PUBLISHING HOUSE.

9. Ignatov Maxim Sergeevich Intelligent decision support systems // Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2008. No.46. Address: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnye-sistemy-podderzhki-prinyatiya-resheniya> (accessed: 17.10.2025).

10. Asaad R.R., Said V.A., Abdulhakim R.M. Intelligent agent and its impact on artificial intelligence: a review study //Icontech International Journal. – 2021. – Vol. 5. – No. 4. – pp. 1-9.

11. Widad J. The evolution of autonomy: from reactive AI to agent-based // The power of agent-based AI: rethinking human life and decision-making: In Industry 6.0. - 2025. – pp. 1-9.

12. Wojtusiak J., Worden T., Herzog O. Machine learning in agent-based stochastic modeling: theory of logical conclusions and evaluation in transport logistics // Computers and mathematics with applications. – 2012. – Vol. 64. – no. 12. Pp. 3658-3665.

13. Zheng P. et al. Towards an independent cognitive production network: a multi-agent approach to reinforcement learning based on industrial knowledge graphs //Journal of Production Systems. – 2021. – Vol. 61. – pp. 16-26.

**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 24.10.2025, одобрена после рецензирования 01.12.2025, принята к публикации 15.12.2025.

The article was submitted 24.10.2025, approved after reviewing 01.12.2025, accepted for publication 15.12.2025.