

УДК 621.396 (075.8)

Концептуальные основы построения интеллектуальной системы управления чрезвычайными ситуациями

Conceptual foundations of building an intelligent emergency management system

Присяжнюк / Prisyazhnyuk S.

Сергей Прокофьевич

(office@itain.ru)

доктор технических наук, профессор,

заслуженный деятель науки РФ.

ЗАО «Институт телекоммуникаций»,

генеральный директор.

г. Санкт-Петербург

Комашинский / Komashinsky V.

Владимир Ильич

(kama54@rambler.ru)

доктор технических наук.

ЗАО «Институт телекоммуникаций»,

начальник отдела прикладных интеллектуальных систем.

г. Санкт-Петербург

Ткачев / Tkachev D.

Дмитрий Федорович

(vas@mil.ru)

кандидат технических наук.

ФГКВООУ ВО «Военная академия связи

им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного»

(ВАС им. С. М. Буденного) МО РФ,

начальник отдела НИЦ.

г. Санкт-Петербург

Татаринов / Tatarinov V.

Владимир Иннокентьевич

(vas@mil.ru)

кандидат технических наук.

ВАС им. С. М. Буденного,

заместитель начальника отдела НИЦ.

г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: управление чрезвычайными ситуациями – emergency management; искусственный интеллект – artificial intelligence; машинное обучение – machine learning; предиктивная аналитика – predictive analytics; система поддержки принятия решений – decision support system; интеллектуальное взаимодействие – intelligent interaction; управление ресурсами – resource management.

В статье рассмотрены концептуальные основы, архитектура и перспективные прикладные процессы интеллектуальной системы управления чрезвычайными ситуациями (ИСУ-ЧС), отмечены особенности комплексного применения современных сенсорных сетей, передовых алгоритмов машинного обучения и аналитики данных в режиме реального времени для прогнозирования, эффективного реагирования и снижения последствий ЧС.

The article considers the conceptual foundations, architecture and promising applied processes of an intelligent emergency management system (ISU-ES), notes the features of the integrated use of modern sensor networks, advanced machine learning algorithms and real-time data analytics for forecasting, effective response and mitigation of emergency consequences.

Введение

Интеллектуализация всех сфер деятельности общества протекает как процесс конвергенции (неразрывного слияния) классических методов автоматического

управления с методами искусственного интеллекта (ИИ) в интересах повышения эффективности управления сложными слабо формализованными объектами и процессами. Интеллектуальная система управления чрезвычайными ситуациями (ИСУ-ЧС) – это новый синергетический подход к управлению чрезвычайными ситуациями, сочетающий в себе современные технологии искусственного интеллекта, сенсорных сетей и аналитики данных, комплексно взаимодействующих в режиме реального времени. С учетом того, что частота и интенсивность различных чрезвычайных ситуаций, вызванных природными стихийными бедствиями и деятельностью людей, продолжают расти, необходимость в разработке ИСУ-ЧС становится все более и более актуальной.

Разработка ИСУ-ЧС является инновационным решением, призванным революционизировать процессы прогнозирования чрезвычайных ситуаций (ЧС), проведения упреждающих мероприятий, подготовки к ЧС, реагирования на ЧС и восстановления после них. Под термином «интеллектуальная система управления» понимается любая комбинация аппаратных и программных средств, объединенных общим информационным процессом, функционирующим автономно или в человеко-машинном режиме, и способная синтезировать цель управления и находить рациональные пути достижения цели управления (при наличии мотивации и знаний) на основе данных и информации об окружающей среде и ее состоянии. Традиционно способность синтезировать цель управления реали-

зуется за счет человеко-машинного взаимодействия, при этом автономные системы управления, способные самостоятельно (без участия людей) находить рациональные пути достижения цели, называют «интеллектуальными системами управления». Самые разные средства искусственного интеллекта – нейросетевые [1], нечеткие, эволюционные, логические и другие, могут быть использованы для решения задач планирования действий и для управления в целом. Каждое из перечисленных средств имеет свои преимущества и свои недостатки, особенно в отношении требуемых точности и реального времени.

Архитектура ИСУ-ЧС

Интеллектуальная система управления чрезвычайными ситуациями осуществляет оперативный сбор данных, их интеллектуальный анализ, поддержку принятия решений по применению сил и средств МЧС в масштабе времени, близком к реальному [2]. Физическая архитектура ИСУ-ЧС включает: подсистему мониторинга обстановки, подсистему интеллектуального анализа данных, подсистему интеллектуального управления, многофункциональную сеть связи (рис. 1).

Подсистема мониторинга обстановки предназначена для сбора данных о состоянии внешней среды, на которой возможно проявление различных признаков возникновения ЧС, включающая (рис. 2):

1. Спутниковые сети связи, навигации и дистанционного мониторинга.

2. Воздушные сети мониторинга, связи и передачи данных (развертываются по необходимости).

2. Сети наземных датчиков и Интернета вещей (IoT), размещаемых в географических пространствах, потенциально подверженных ЧС.

Подсистема мониторинга обстановки функционирует в режиме реального времени непрерывного отслеживания параметров окружающей среды и динамически оценивания риски ее изменения в потенциально опасных районах или местностях, уже пострадавших от ЧС. Для этого интегрируются данные с различных сенсорных устройств, таких как наземные, воздушные и спутниковые датчики. Качество собранных данных имеет решающее значение для точности оценки динамики изменения и серьезности ситуации [3]. Данные мониторинга и точные оценки в режиме реального времени предоставляются группам реагирования для повышения эффективности проведения операций по упреждению или ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций [4].

Подсистема интеллектуального анализа данных (рис. 3) опирается на алгоритмы машинного обучения и искусственного интеллекта. Алгоритмы машинного обучения и данные мониторинга применяются для выявления закономерностей, прогнозирования стихийных бедствий и для оценки рисков. Наземные сенсорные сети, размещаемые в уязвимых районах,

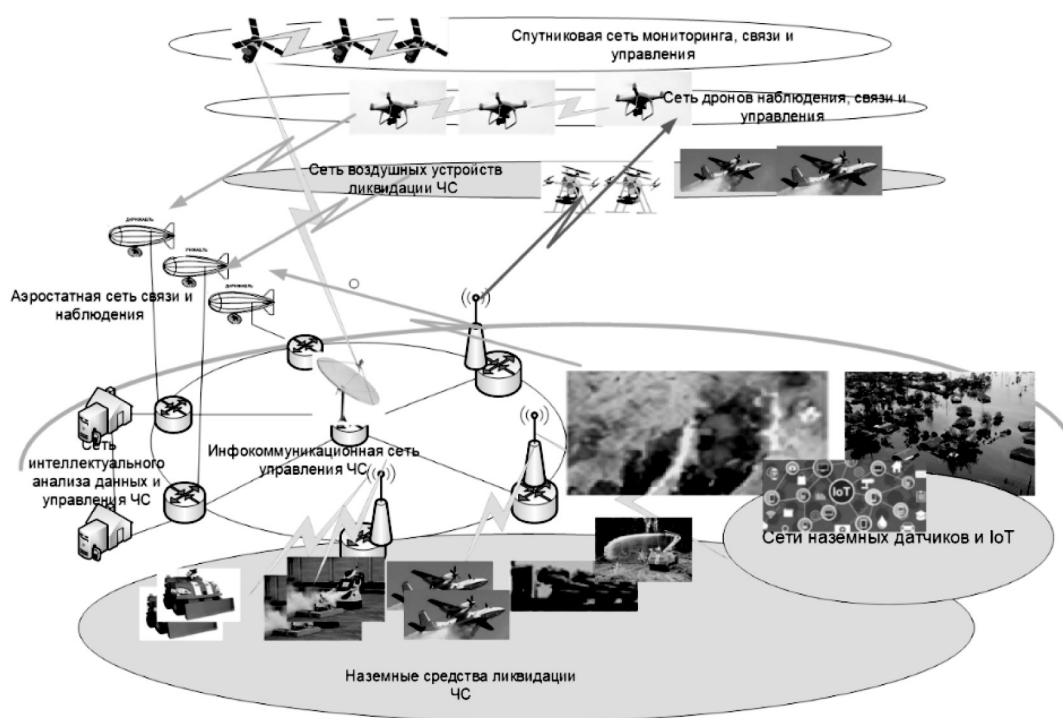


Рис. 1. Обобщенное представление физической архитектуры ИСУ-ЧС



Рис. 2. Подсистема мониторинга обстановки о ЧС в режиме реального времени

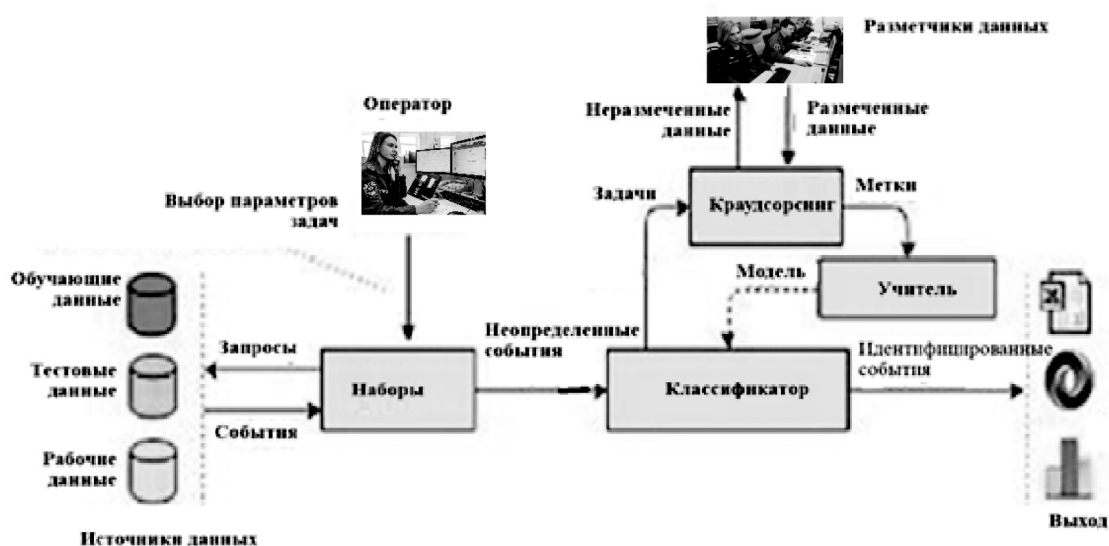


Рис. 3. Подсистема интеллектуального анализа данных

обеспечивают динамичное отслеживание параметров окружающей среды в режиме реального времени, что гарантирует высокую точность прогностических моделей и быстроту реагирования на чрезвычайные ситуации. В свою очередь искусственный интеллект использует алгоритмы машинного обучения для анализа исторических данных, метеорологических закономерностей и социально-экономических факторов для прогнозирования возникновения и интенсивности возможных ЧС.

Прогностические возможности ИИ позволят руководителям эффективно принимать превентивные меры, распределять ресурсы и при необходимости организовывать эвакуацию населения из уязвимых районов. Разработка прогностических моделей включает в себя сбор, хранение и накопление исторических данных о различных типах бедствий, климатических особенностях и социально-экономических факторах, а также тонкую настройку алгоритмов МО для прогнозирования потенциально возможных бедствий [5]. Для сбора данных используются сети датчиков и устройств IoT (спутниковых, воздушных наземных, надводных и подводных), обеспечивающих непрерывное дистанционное зондирование состояния окружающей среды в уязвимых районах. Эта информация обеспечивает повышенную ситуационную осведомленность и инициирует реагирование на потенциально опасные изменения и стихийные бедствия. Датчики собирают данные о таких факторах, как сейсмологическая активность, температура, изме-

нения климата, деятельность по добыче ископаемых, выбросов углекислого газа, возникновение лесных пожаров, уровень воды и состояние дна рек и водоемов и т. д., все это способствует формированию точной оценки рисков и упреждающего управления стихийными бедствиями. Интеграция этих датчиков позволяет осуществлять глобальный охват и обнаруживать ранние признаки самых разнородных (рис. 4.) стихийных бедствий, обеспечивая своевременное и эффективное планирование реагирования на ЧС [6]. Система ИСУ-ЧС включает в себя механизмы аналитики социальных сетей для оценки общественных настроений и потребностей населения во время стихийных бедствий. Эта информация также может использоваться для улучшения коммуникации между группами реагирования и пострадавшими [5].

Подсистема интеллектуального управления поддерживает все необходимые уровни принятия решений (рис. 5) и реализует стратегии адаптивного реагирования, основанные на широком применении технологий искусственного интеллекта, которые автоматизируют протоколы реагирования и распределение ресурсов по ликвидации последствий ЧС. При этом алгоритмы машинного обучения применяются в интересах оптимизации планирования и координации различных мер на основе анализа данных, собираемых в режиме реального времени от сенсорных сетей и результатов прогнозной аналитики.

В АСУ ЧС может быть реализовано автономное управление, при котором предусматривается, что



Рис. 4. Прогнозирование ЧС на основе искусственного интеллекта



Рис. 5. Система интеллектуального управления ЧС



Рис. 6. Система поддержки принятия решений на основе ИИ

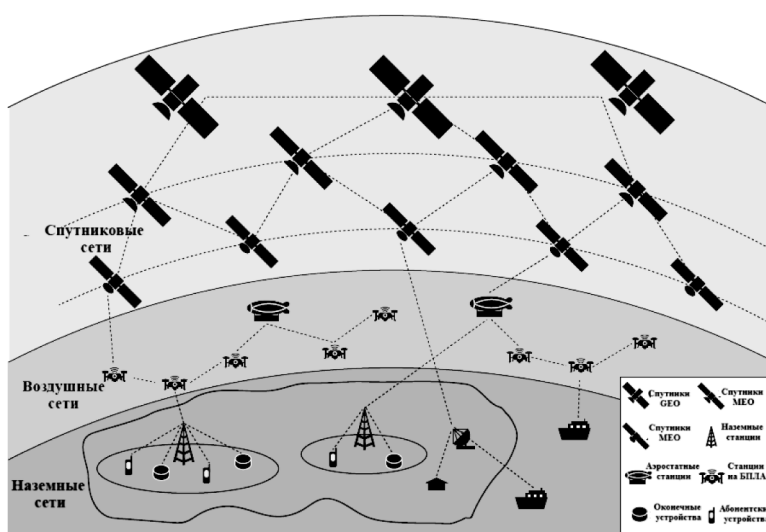


Рис. 7. Многофункциональная сеть МЧС для предоставления интеллектуальных услуг в средах без инфраструктуры

сбор контекстных ЧС данных, их анализ, принятие решений, планирование и выполнение действий осуществляется без вмешательства человека. Механизмы автономного управления применяются для минимизации последствий стихийных бедствий в тех случаях, когда ЧС развивается настолько быстро, что люди не успевают реагировать [3].

Кроме прочего, ИСУ-ЧС позволяет поддерживать общую ситуационную осведомленность и коммуникации между подразделениями реагирования. Ключевыми компонентами системы адаптивного реагирования являются интеллектуальная система поддержки принятия решений (рис. 6), автоматизированные протоколы реагирования, а также системы повышенной ситуационной осведомленности и коммуникаций [7].

Многофункциональная сеть связи МЧС (рис. 7) обеспечивает выполнение задач по сбору данных и оперативному оповещению, управлению процессами эвакуации и распределению ресурсов. С развитием технологий построения сенсорных сетей и Интернета вещей искусственный интеллект стал играть важную роль в повышении эффективности сбора и обработки информации в условиях ЧС. Однако в полевых условиях централизованное облако больше не в состоянии удовлетворить разнообразные требования по обработке динамично растущих больших данных в режиме реального времени. Чтобы свести к минимуму задержку обслуживания, вычислительная нагрузка должна перекладываться с централизованного облака на распределенные периферии, расположенные рядом с конечными пользователями/устройствами. С другой стороны, перегрузку связи, вызванную передачей больших объемов данных, можно значительно сократить, максимизировав обработку этих данных на периферии. В то же время ЧС могут возникать

в самых разнообразных районах РФ и мира, поэтому ИСУ-ЧС должна успешно функционировать в средах без инфраструктуры, где отсутствие стационарных систем электроснабжения и сотовой сети является нормой. Безынфраструктурный сетевой подход позволяет шире использовать приложения ИИ в ИСУ-ЧС в условиях сбора и обработки информации без участия человека. Благодаря современным разработкам в области беспроводных систем связи пятого (5G) и шестого (6G) поколений препятствия формирования безынфраструктурной телекоммуникационной среды могут быть успешно преодолены (рис. 7). Размещение серверов периферийных вычислений больше не ограничивается сетью наземных устройств. Добавляя различные компоненты как в воздушном, так и в космическом пространстве, можно использовать трехуровневую интегрированную информационно-телекоммуникационную сеть для улучшения качества услуг ИИ в средах без инфраструктуры. Компоненты на воздушном уровне, такие как беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и аэростаты, также могут выступать в качестве серверов периферийных вычислений для обеспечения дополнительных вычислительных возможностей и взаимодействия с интеллектуальными устройствами на земле. Кроме того, спутники на низкой околоземной орбите (НОО) в космическом слое могут стать решением для служб передачи данных с низкой задержкой распространения в любую точку Земли, включая сельские и отдаленные районы. Ожидается, что внедрение периферийных вычислений с возможностью обработки данных на независимых низкоорбитальных спутниках еще больше повысит производительность обслуживания. Таким образом, сетевая телекоммуникационная платформа, охватывающая наземный,

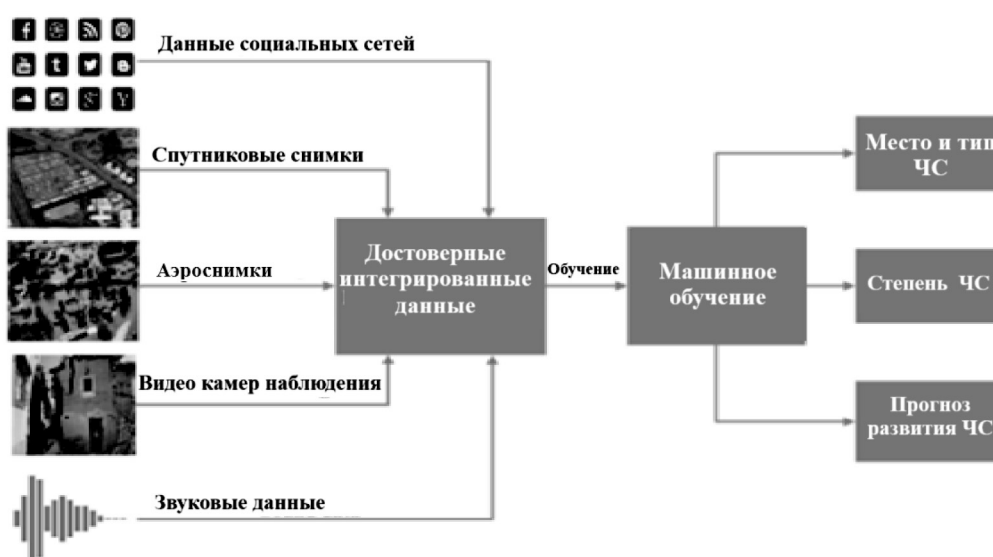


Рис. 8. Комплексное применение высоких технологий в ИСУ-ЧС



Рис. 9. Семейство технологий применяемых в ИСУ-ЧС

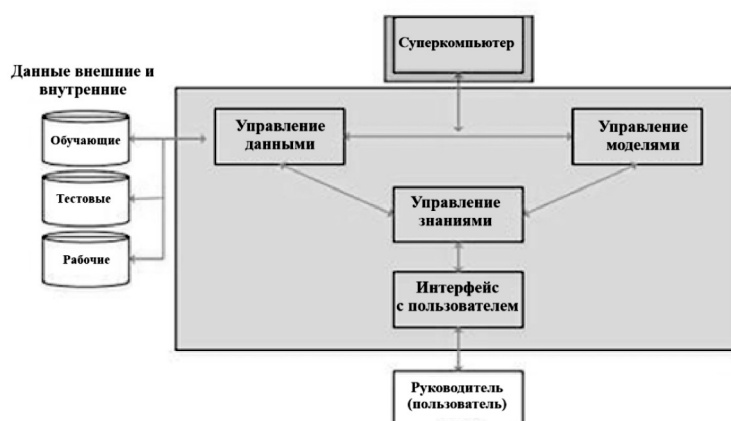


Рис. 10. Механизм обеспечения сотрудничества человека и искусственного интеллекта в реагировании на ЧС

воздушный и космический слои, постепенно обретает формы, способные реализовать цели ИСУ-ЧС и преодолеть ограничения в средах без инфраструктуры.

Семейство технологий, применяемых при построении ИСУ-ЧС

Разнообразные чрезвычайные ситуации могут быть идентифицированы с помощью комплексного применения самых современных технологий (рис. 8), таких как машинное и глубокое обучение, спутниковые фотоснимки и разнородные сенсорные сети. Эти подходы обладают огромным потенциалом для прогнозирования, повышения степени готовности, устойчивости и эффективности применения сил и средств, используемых для преодоления последствий ЧС.

При построении ИСУ-ЧС потребуется применение широкого комплекса различных инструментов и технологий, необходимых для решения большого количества задач по эффективному прогнозированию, планированию, реагированию и управлению силами и средствами упреждения и ликвидации последствий ЧС.

Конкретные инструменты и технологии могут различаться в зависимости от требований и масштабов решаемых задач (рис. 9), но общими для них являются:

1. Сенсорные сети и системы (наземные, воздушные, космические) предназначены для оперативного сбора достоверных данных о состоянии окружающей среды в режиме реального времени и сбора информации о земной поверхности без физического контакта.

2. Базы данных и системы управления базами данных (СУБД) и облачные вычисления предназначены для предварительной обработки (структуризации) хранения и управления (обучающими, тестовыми и рабочими) данными.

3. Алгоритмы машинного обучения и искусственного интеллекта предназначены для осуществления распознавания изображений, текстовых и речевых сообщений в интересах моделирования сценариев ЧС, прогнозирования их последствий и планирования стратегий и тактик применения сил и средств.

4. Аналитические системы включают применение различных комбинаций машинного обучения и имитационного моделирования в интересах реализации описательной аналитики (отражающей текущую ситуацию), диагностической аналитики (поясняющей, какие процессы привели к текущей ситуации), прогностической аналитики (отражающей возможные сценарии развития ситуации) и предписывающей аналитики (предлагающей несколько вариантов возможных действий и возможных последствий каждого из них).

5. Прикладные процессы опираются на ГИС-технологии и подсистемы интеллектуальной поддержки принятия решений (для различных уровней управления ЧС), функционирующих в комплексе с

подсистемами интеллектуальных цифровых двойников и системами алгоритмического принятия решений.

6. Сети проводного и беспроводного доступа, обеспечивающие взаимодействие всех составных частей ИСУ-ЧС и предоставление услуг оповещения о ЧС.

7. Подсистема безопасности информации, кибербезопасности и целостности всех элементов ИСУ-ЧС.

Сотрудничество между организациями, потенциальными потребителями услуг ИСУ-ЧС, стандартизация форматов данных и функциональная совместимость между системами являются необходимыми факторами при ее разработке. Кроме того, обучение пользователей и обслуживающего персонала являются важными аспектами для успешного внедрения и эффективной эксплуатации ИСУ-ЧС. Модели машинного обучения, в том числе глубокие нейронные сети, используются для решения широкого класса задач, в том числе прогнозирования возникновения и интенсивности стихийных бедствий. Модели постоянно самообучаются и обновляют свои прогнозы в режиме реального времени, обеспечивая упреждающий подход к управлению стихийными бедствиями [8].

Сетевое взаимодействие человека и искусственного интеллекта в реагировании на ЧС – это важный инструмент для совместной работы, который сочетает в себе искусственный интеллект и человеческий опыт в реагировании на стихийные бедствия (рис. 10).

Человеческий опыт по-прежнему имеет решающее значение для принятия обоснованных решений в сложных сценариях. Чтобы улучшить сотрудничество человека и искусственного интеллекта, ИСУ-ЧС должен иметь удобный интерфейс для принятия решений с использованием услуг искусственного интеллекта [5].

Заключение

Создание ИСУ-ЧС является революционным подходом к управлению ЧС, который объединяет искусственный интеллект, машинное обучение сети датчиков и Интернет вещей для повышения готовности и возможностей реагирования. Отличительной особенностью ИСУ-ЧС является то, что по мере функционирования и самообучения ее потенциальные возможности будут возрастать и все более и более эффективно решать возлагаемые на нее задачи. Разработка ИСУ-ЧС требует междисциплинарного подхода с привлечением экспертов в области искусственного интеллекта, машинного обучения, Интернета вещей и управления стихийными бедствиями. Сотрудничество с соответствующими заинтересованными сторонами, включая государственные учреждения, некоммерческие организации и сообщества, призванные противостоять ЧС, имеет решающее значение для успеха. В заключение следует отметить, что ИСУ-ЧС представляет собой смену парадигмы на управление ЧС, предлагая комплексное использование предиктивного

моделирования, сенсорных сетей и динамическую поддержку принятия решений, что может значительно повысить готовность МЧС РФ к стихийным бедствиям, реагирования на них и восстановления после [2, 7, 9, 10].

Литература

1. Комашинский, В. И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2003. – 94 с.
2. Othman, S. H. A metamodel-based knowledge sharing system for disaster management / S.H. Othman, G. Beydoun // Expert Systems with Applications. – 2016. – Vol. 63. – P. 49–65.
3. Dawood, Sheik M. Faulttolrent sensor network protocol for disaster management / M. Sheik Dawood, G. Athisha // Journal of Global Research in Computer Science. – 2013. – Vol. 4, No. 6. – P. 1–10.
4. National Disaster Management Authorities // Government of India [сайт]. – 2025. – URL : www.ndma.gov.in (дата обращения: 12.05.2025).
5. Yigitcanlar, T. Towards post-anthropocentric cities: Reconceptualizing smart cities to evade urban ecocide / T. Yigitcanlar, M. Foth, M. Kamruzzaman // Journal of Urban Technology. – 2019. – Vol. 26, Iss. 2. – P. 147–152.
6. VigilNet: An Integrated Sensor Network System for Energy-Efficient Surveillance / T. He, S. Krishnamurthy, L. Luo [et al.] // ACM Transaction Sensor Network. – 2006. – Vol. 2, No. 1. – P. 1–38.
7. Основы построения систем беспроводной передачи данных: учебное пособие для курсантов и слушателей / А. П. Корольков, С.А. Погребов, В.А. Онов, М.Н. Байбаков ; ред. Э.Н. Чижиков. – Санкт-Петербург : СПбУ ГПС МЧС России, 2017. – 106 с.
8. ExScal: Elements of an Extreme Scale Wireless Sensor Network / A. Arora, R. Ramnath, E. Ertin [et al.] // 11th IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA'05), (Hong Kong, China, Aug. 2005). – 2005. – P. 102–108.
9. Shukla, S. S. Disaster Management: Managing the Risk of Environmental Calamity / S.S. Shukla // International Journal of Scientific Engineering and Research. – 2013. – Vol. 1, Iss. 1. – P. 12–18.
10. Patil, P. Disaster Management in India / P. Patil // Indian Research Journal of Extension Education. – 2012. – Vol. 2, Iss. 1. – P. 1–4.