

Научная статья

УДК 681.5; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-49-58

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ЭКСТРЕННОГО РЕАГИРОВАНИЯ

Дейнека Евгений Григорьевич;

✉ Вострых Алексей Владимирович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ a.vostrykh@list.ru

Аннотация. Проведен аналитический обзор современных систем экстренного реагирования, проанализирован путь их развития и существующие виды, показаны особенности использования систем и алгоритмы их работы.

Проведенный анализ систем позволил сформировать картину современных трендов развития в данном направлении, а также выявить ряд критичных недостатков, которые не позволяют в должной мере использовать данные системы на практике. Исключение выявленных уязвимостей позволит повысить эффективность систем, что, в свою очередь, положительно отразится на безопасности граждан, находящихся на территории объектов защиты, а также сохранит материальное имущество организаций.

Ключевые слова: объекты защиты, системы экстренного реагирования, эвакуация, происшествия, мониторинг

Для цитирования: Дейнека Е.Г., Вострых А.В. Аналитический обзор современных систем экстренного реагирования // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 3 (75). С. 49–58. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-49-58.

Scientific article

ANALYTICAL REVIEW OF MODERN EMERGENCY RESPONSE SYSTEMS

Deineka Evgeny G;

✉ Vostrykh Alexey V.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ a.vostrykh@list.ru

The article provides an analytical review of modern emergency response systems, analyzes their development path and existing types, and shows the features of using these systems and their operation algorithms.

The analysis of the systems made it possible to form a picture of modern development trends in this area, as well as to identify a number of critical shortcomings that do not allow these systems to be used properly in practice. Elimination of the identified vulnerabilities will increase the efficiency of the systems, which in turn will have a positive impact on the safety of citizens located on the territory of protected facilities, and will also preserve the material property of organizations.

Keywords: objects of protection, emergency response systems, evacuation, incidents, monitoring

For citation: Deineka E.G., Vostrykh A.V. Analytical review of modern emergency response systems // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 3 (75). P. 49–58. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-49-58.

Введение

Рост числа происшествий природного и техногенного характера, а также их разрушительной силы за последние несколько десятилетий активизировали исследования в области разработки систем экстренного реагирования, которые предоставляют эффективные решения для своевременного принятия решений [1–3]. Вместе с этим развитие цифровых технологий привело к интеграции их с практическим опытом специалистов экстренных служб, что в последствии дало революционный толчок к появлению специализированных платформ и технологий [4–5].

К функциям систем экстренного реагирования относятся [2–5]:

- отслеживание и управление ресурсами (контроль за расположением техники, спасателей и пострадавших в реальном времени);
- обнаружение и мониторинг (автоматическое выявление чрезвычайных ситуаций (ЧС) с помощью датчиков, спутниковых и наземных систем);
- обеспечение связи (поддержка надежной коммуникации между всеми участниками реагирования);
- оповещение населения (своевременное информирование граждан о угрозах через SMS, сирены, мобильные приложения и другие каналы);
- координация действий спасателей (объединение работы различных заинтересованных служб для эффективного реагирования);
- обеспечение быстрого реагирования (автоматизация вызова служб, маршрутизация и предоставление оптимальных путей к месту происшествия);
- обработка информации (сбор данных о происшествиях для оценки ситуации и планирования профилактических мер).

В статье представлен обзор существующих технических разработок в области экстренного реагирования, охватывающий как проектирование систем, так и разработку оригинальных алгоритмов.

Аналитическая часть

На территории нашей страны системы экстренного реагирования включают в себя различные платформы и технологии [5–7]:

- «112» (Единый номер вызова экстренных служб – автоматизированная система, объединяющая все экстренные службы по единому номеру, с возможностью определения местоположения потерпевшего);
- единая диспетчерская служба (ЕДДС) – централизованная система, объединяющая службы спасения, полиции, скорой помощи и пожарных для координации действий в ЧС;
- мобильные приложения и платформы (такие как «МЧС России» и другие, предоставляющие информацию о ЧС, оповещения и инструкции);
- интегрированные системы мониторинга и раннего предупреждения (включают метеорологические, гидрологические и другие датчики для своевременного обнаружения угроз);
- ГЛОНАСС/GPS-системы (используются для отслеживания местоположения пострадавших, спасателей и транспортных средств в реальном времени);
- системы автоматического оповещения населения (используют сирены, SMS-рассылки и мобильные приложения для информирования граждан о ЧС).

Эти системы работают совместно для быстрого обнаружения, оповещения и реагирования на ЧС по всей России.

В зарубежных странах системы с течением времени модернизировались и совершенствовались как в точности расчетов, так и удобстве использования. Хронология развития представлена ниже [8–10]:

- 1970–1995 г. Mixed WSN based system системы управления человеческим опытом (от англ. Human experience driven systems);
- 2006 г. Static WSN based systems (в работе системы используются статистические беспроводные сенсорные сети);
- 2011 г. Mixed WSN based systems (в работе системы используются технологии смешанных беспроводных сенсорных сетей);
- 2020 г. WSN & Cloud based systems (в работе системы используются технологии синтеза беспроводных сенсорных сетей и облачных технологий);
- 2022 г. Cloud based systems & mobile phones – системы, в основе которых лежат технологии облачных и мобильных разработок.

Системы экстренной навигации предназначены для оптимальной координации сил и средств спасателей в условиях ЧС [2–3]. Они помогают подразделениям оперативно достигать места происшествия, обходить опасные участки путей следования, учитывать действия других спасателей и получать данные из различных источников информации [6–7].

Так как зарубежный сегмент представлен большим разнообразием, чем отечественный, проведем анализ специализированных платформ и технологий зарубежного производства.

Системы экстренного реагирования изначально были востребованы в оборонной промышленности, но рост масштабов и сложности ликвидации происшествий активизировал их развитие и внедрение в работу спасательных служб. Данные системы прошли длительное становление начиная от тривиальных модулей, основанных на опыте спасателей, и заканчивая облачными навигационными системами, которые в настоящее время активно используются и модернизируются.

Из-за ограничений вычислительной мощности ранние системы экстренной навигации представляли собой упрощенные автоматизированные системы, основной задачей которых было своевременное предоставление данных операторам [8]. Алгоритмы вычислений в этих системах часто основывались на статистических данных и математических моделях, что упрощало процесс эвакуации и поиск сбалансированных решений. Примером такой разработки является описанный в научной статье [9] метод потока сети с минимальной стоимостью, позволяющий решать задачи планирования эвакуации. Данный метод преобразует исходный граф здания в расширенную временную сеть, вычисляющую с помощью алгоритма линейного программирования оптимальные по времени маршруты эвакуации.

В научной статье [10] авторами предложена оригинальная система мониторинга и анализа дорожного движения для построения наикратчайших маршрутов следования сил и средств подразделений экстренных служб к месту вызова. Система учитывает: возможное появление автомобильных пробок; данные о дорожном движении в реальном времени, которые обобщаются на придорожных станциях контроля дорожного движения и передаются в систему по обычным телефонным линиям.

В научной статье [11] авторами предложен программный продукт, позволяющий на основе информации о вентиляционных шахтах строить наикратчайшие пути эвакуации с помощью алгоритма Дейкстры, что позволяет получить не только самый короткий путь, но и наиболее безопасный.

В статье [12] авторами представлена распределенная система на основе статической WSN для построения кратчайших безопасных путей эвакуации. Данная система использует двухуровневую архитектуру, содержащую подсистемы зондирования и принятия решений.

В научной работе [13] авторами предложена система экстренного оповещения граждан, которая позволяет спасателям эвакуировать жителей до подхода урагана к населенному пункту. В системе используется метод «вертикальной эвакуации», позволяющий сократить временные затраты на оповещение и оказание помощи людям.

В научной статье [14] авторами предложена навигационная система на основе WSN для направления эвакуируемых с помощью алгоритма маршрутизации [15]. Принцип построения

оптимального маршрута и его предоставление заинтересованным лицам следующий: множество датчиков расставляются на маршрутах эвакуации, каждому из которых назначается определенный коэффициент, зависящий от расстояния до ближайшего выхода. В случае происшествия значения коэффициентов изменяется, создавая данными значениями оптимальные по времени пути эвакуации вдоль них, передавая построенные маршрут в телефоны пользователей.

В научной статье [16] авторами предложена система оповещения людей при авариях на атомных электростанциях, которая рассчитывает план эвакуации жителей в радиусе 20 миль от станции.

В статье [17] авторами используется самоорганизующаяся сеть WSN для построения наикратчайшего пути следования по опасной зоне для спасательных роботов. Для построения маршрута используется «искусственное потенциальное поле» [18], с помощью которого датчики, объединяя данные, генерируют безопасный путь.

В научных статьях [19–21] авторы разработали оригинальную систему на основе технологии смешанной WSN. Данный выбор был сделан по причине более высокой отказоустойчивости технологии. Разработанная система обладает двумя типами узлов: сенсорными (SN) и связи (CN). SN узлы обладают высокой чувствительностью и оповещают людей в случае опасности. CN узлы являются портативными устройствами, которые посетители объекта защиты носят при себе.

В научной работе [22] авторами разработана навигационная система, состоящая из двух подсистем: интеллектуальная подсистема эвакуации (IES) и подсистемы эвакуации (OCES) для резервных целей. Обе подсистемы функционируют на основе данных, поступающих из датчиков, установленных на объекте защиты. Подсистема IES используется для составления маршрутов эвакуации, подсистема OCES работает на мобильных телефонах пользователей и используется для формирования сообщений о ЧС и составлении путей эвакуации. Результаты использования данной системы показали, что она способна значительно сократить количество пострадавших во время эвакуации.

С ростом массовости использования смартфонов, которые с развитием информационных технологий становятся все более надежными и функциональными, исследователи интегрируют возможности персональных телефонов в системы экстренной навигации. Например, в научной статье [23] авторами предложена технология экстренной поддержки пользователей мобильных телефонов, которая объединяет сеть WSN с существующей инфраструктурой мобильной сети для построения маршрутов эвакуации. В технологии используется подход «CoWiSMoN», который основан на взаимном обмене информацией между датчиками, установленными в объекте защиты, и мобильными телефонами пользователей. С телефонов происходит сбор информации и отправка ее в центры реагирования по каналам беспроводной связи. Кроме того, в предложенной технологии предусмотрена защита канала связи от перегрузок информации во время происшествий, что позволяет функционировать системе без перебоев.

Аналогичная по замыслу технология представлена в работе [24], где авторы реализовали систему экстренной эвакуации, состоящую из подсистемы управления данными датчиков и внутренней навигацией. Подсистема управления данными собирает сенсорную информацию с телефонов пользователей и может их оповещать в случае происшествий, а также отправлять информационные сообщения руководству объекта защиты. Внутренняя навигационная подсистема использует радиомаяки для оценки местоположения пользователей через Bluetooth канал. Основным выявленным недостатком данной системы является ограниченная вычислительная мощность, которая не позволяет ей своевременно производить расчеты оптимальных путей эвакуации и передавать эту информацию пользователям.

В некоторые системы экстренной навигации внедрены интегрированные облачные технологии вычислений, доступные через локальную WSN, что позволяет уменьшить

вычислительную нагрузку на удаленные облачные серверы. Например, в научной работе [25] авторами предложена система наблюдения, которая позволяет фиксировать события, отклоняющиеся от заданной нормы (например, резкое повышение температуры окружающей среды), и проводит оповещение персонала и посетителей объекта защиты. Система имеет в своем составе несколько статических и мобильных датчиков, а также внешний облачный сервер. При резком возрастании температуры срабатывают статические датчики и передают сигнал мобильным датчикам, которые, в свою очередь, произведут фиксацию окружающей среды и отправят снимки на сервер для дальнейшего анализа. Если факт превышения показателей будет подтвержден, сервер уведомит пользователей о необходимости эвакуации.

В статье [26] авторами предложена система экстренной навигации, позволяющая проводить эвакуацию посетителей объекта защиты из опасной зоны. Маршруты эвакуации рассылаются пользователям телефонов посредством облачной системы поддержки принятия решений CDSS. Пользователи системы обладают возможностью определять свое местоположение посредством съемки ориентиров в здании и загрузки их в систему CDSS. Система на основе полученного снимка производит расчеты оптимальных путей следования и высылает их обратно пользователем. С целью снижения потребления заряда батареи смартфона во время его взаимодействия с системой имеется протокол связи с учетом энергопотребления. Для уравновешивания остаточного заряда аккумуляторов передача данных на небольшие расстояния производится с использованием более эффективных методов для выгрузки в облачный сервер.

В научной статье [27] авторами предложена интеллектуальная облачная система эвакуации SCES, которая позволяет осуществлять рассылку экстренных сообщений и планов эвакуации для населения. Система состоит из двух компонентов. Первый компонент представляет собой беспроводную интеллектуальную сенсорную сеть WISN, связывающую мобильные телефоны, с помощью которых производится сбор данных. Второй компонент – облачная система, занимающаяся принятием решений, она анализирует ситуацию на основе характеристик, загружаемых из телефонов (таких как голосовые и текстовые сообщения, изображения и другие данные). Далее второй блок рассчитывает пути эвакуации с помощью 3D-симулятора.

В научной статье [28] авторы представили оригинальную систему эвакуации при возникновении пожара на объекте защиты. В состав системы вошли радиочастотные идентификационные сенсорные метки RFID, программное обеспечение для мобильных телефонов, позволяющее считывать сигналы меток и облачный сервер. Метки используются системой для считывания информации о температуре и местоположении пожара, а также передачи этой информации на сервер, который, в свою очередь, проверяет информацию и в случае угрозы жизни и здоровью посетителей объекта рассчитывает кратчайшие пути эвакуации. Далее обработанная информация синтезируется в оптимальные пути эвакуации.

Рассмотренные авторские реализации являются одними из последних разработок в области систем экстренного реагирования.

Заключение

Проведя обзор систем экстренного реагирования было выявлено, что существующие системы в основном применяются для построения путей эвакуации для посетителей объектов защиты и формирования оптимальных маршрутов следования сил и средств спасательных подразделений. Вместе с тем у рассмотренных систем были выявлены следующие недостатки:

– низкая отказоустойчивость систем при возникновении происшествий по причине их перегрузки во время лавинообразного увеличения количества обращений граждан;

– проблемы, связанные с установкой программного обеспечения на некоторые модели телефонов;

- высокое энергопотребление программного обеспечения;
- мобильные телефоны посетителей напрямую влияют на отказоустойчивость большинства систем (в случае исчерпания энергетического ресурса мобильного телефона система становится неработоспособной);
- частые зависания приложений на телефонах пользователей;
- частые сбои при обновлении программного обеспечения;
- программное обеспечение довольно ресурсоемкое, что не позволяет его устанавливать на все модели телефонов;
- отсутствие единого приложения, требуется установка целого ряда программных продуктов для обеспечения защиты;
- работоспособность рассмотренных систем зависит от качества интернет соединения.

Выявленные недостатки свидетельствуют о необходимости создания новой системы, отличительными особенностями которой должны стать:

- высокая отказоустойчивость системы при перегрузках (достижима за счет использования методов резервирования, балансировки нагрузки, резервного копирования и мониторинга);
- кроссплатформенность (универсальность в установке для всех операционных систем мобильных устройств);
- экономичность в потреблении энергии;
- оптимизированность под требования целевых пользователей и возможность установки, а также полноценного использования на самых бюджетных моделях смартфонов.

Таким образом, современные системы экстренной реагирования имеют ряд критичных недостатков, которые не позволяют в требуемой мере полагаться на них в случае происшествия.

Теоретическая значимость полученных результатов заключается в повышении эффективности существующих систем экстренного реагирования за счет устранения недостатков, выявленных в настоящем исследовании.

В свою очередь, практическая значимость полученных результатов заключается в использовании в работе проектировщиков, представленных в настоящей статье рекомендаций для создания новой, более качественной системы экстренного реагирования, которая, в отличие от аналогов, гипотетически позволит повысить безопасность людей и материального имущества организаций.

Список источников

1. Николаев Д.В., Вострых А.В., Скурут И.В. Экономические обоснования перехода на новые подходы в проектировании интерфейсов программных продуктов МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 1 (53). С. 85–89.
2. Метод оценки достоверности количественного анализа риска на объектах нефтегазовой отрасли / А.В. Матвеев [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 1. С. 35–49. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.35-49.
3. Буйневич М.В., Максимов А.В., Пелех М.Т. Принципы информационной поддержки системного проектирования развития сети пожарных депо на территории мегаполиса // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2017. № 3. С. 129–135.
4. Буйневич М.В., Шуракова Д.Г., Вострых А.В. Двухуровневая кластеризация субоптимальных зон прикрытия г. Костромы подразделениями МЧС России при возникновении происшествий // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2018. № 2. С. 121–127.
5. Терёхин С.Н., Вострых А.В. Совершенствование информационных систем, используемых органами надзорной деятельности МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 4. С. 163–170.

6. Шидловский Г.Л., Котов И.Ю., Вострых А.В. Разработка алгоритма для решения многокритериальных задач ранжирования требований пожарной безопасности // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 4. С. 103–111.
7. Theoretical basis for designing integrated security systems of potentially hazardous facilities / A.V. Matveev [et al.] // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Т. 12. № 22. С. 12357–12361.
8. Belardo S., Karwan K.R., Wallace W. An investigation of system design considerations for emergency management decision support // Systems Man and Cybernetics, IEEE Transactions on 1984. P. 795–804. DOI: 10.1109/TSMC.1984.6313308.
9. Chalmet L., Francis R., Saunders P. Network models for building evacuation // Fire Technology. 1982. № 18. P. 90–113. DOI: 10.1007/bf02993491.
10. Southworth F., Chin S.M., Cheng P. A telemetric monitoring and analysis system for use during large scale population evacuations // Road Traffic Monitoring, 1989. Second International Conference. 1989. P. 99–103.
11. Hughes T. Graph processing by which to evacuate a mine // Applied Computing. Proceedings of the 1990 Symposium, 1990. P. 137–141. DOI: 10.1109/SOAC.1990.82155.
12. Filippoupolitis A., Gelenbe E. A distributed decision support system for Building Evacuation // Human System Interactions. HSI '09. 2nd Conference, 2009. P. 323–330. DOI: 10.1109/HSI.2009.5091000.
13. Griffith D. The critical problems of hurricane evacuation and alternative solutions // OCEANS 82. 1982. P. 990–994. DOI: 10.1109/OCEANS.1982.1151729.
14. Tseng Yu.C., Pan M.S., Tsai Yu.Yu. Wireless sensor networks for emergency navigation // Computer 2006. № 39. P. 5562. DOI: 10.1109/MC.2006.248.
15. Park V.D., Corson M.S. A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks // INFOCOM'97. Sixteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Driving the Information Revolution., Proceedings IEEE. IEEE. 1997. Vol. 3. P. 1405–1413. DOI: 10.1109/INFCOM.1997.631180.
16. Zorpette G. Evacuation planning for Lilco's Shoreham plant: Lack of an approved emergency evacuation strategy may prevent full operation of a \$5 billion nuclear power plant on long Island's north shore // Spectrum, IEEE. 1987. № 24. P. 22–24. DOI: 10.1109/MSPEC.1987.6448960.
17. Li Q., De Rosa M., Rus D. Distributed algorithms for guiding navigation across a sensor network // Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking. ACM, 2003. P. 313–325.
18. Koditschek D.E. Robot planning and control via potential functions. The robotics review 1989. 349 p.
19. Gorbil G., Gelenbe E. Opportunistic communications for emergency support // Procedia Computer Science. 2011. № 5. P. 39–47. DOI: 10.1016/j.procs.2011.07.008.
20. Gelenbe E., Gorbil G. Wireless networks in emergency management. Proceedings of the first ACM international workshop on Practical issues and applications in next generation wireless networks // ACM. 2012. P. 1–6.
21. Gorbil G., Gelenbe E. Resilient emergency evacuation using opportunistic communications // Computer and Information Sciences III. 2013. P. 249–257.
22. Filippoupolitis A., Gorbil G., Gelenbe E. Autonomous navigation systems for emergency management in buildings // GLOBECOM Workshops (GC Wkshps), 2011 IEEE, 2011. P. 1056–1061. DOI: 10.1109/GLOCOMW.2011.6162338.
23. CoWiSMoN: A framework for cognitive wireless sensor mobile network system for emergency rescue management / S. Zubair [et al.] // Adaptive Science and Technology (ICAST), 2011 3rd IEEE International Conference. 2011. P. 237–241. DOI: 10.1109/ICASTech.2011.6145177.

24. Indoor Emergency Evacuation Service on Autonomous Navigation System using Mobile Phone / Yu. Inoue [et al.] // Universal Communication, 2008. ISUC '08. Second International Symposium. 2008. P. 79–85. DOI: 10.1109/ISUC.2008.49.
25. iMouse: An Integrated Mobile Surveillance and Wireless Sensor System / Yu.C. Tseng [et al.] // Computer. 2007. № 40. P. 60–66. DOI: 10.1109/MC.2007.211.
26. Gelenbe E., Bi H. Emergency Navigation without an Infrastructure // Sensors. 2014. № 14. P. 15142–15162. DOI: 10.1109/ICSENS.2014.6985038.
27. Enabling Cloud Computing in Emergency Management Systems / M. Qiu [et al.] // IEEE Cloud Computing. 2014. № 1. P. 60–67. DOI: 10.1109/MCC.2014.71.
28. Chu L., Wu S.J. An Integrated Building Fire Evacuation System with RFID and Cloud Computing // Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP), 2011. Seventh International Conference. 2011. P. 17–20. DOI: 10.1109/IIHMSP.2011.65.

References

1. Nikolaev D.V., Vostryh A.V., Skurtul I.V. Ekonomicheskie obosnovaniya perekhoda na novye podhody v proektirovaniii interfejsov programmnyh produktov MCHS Rossii // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2020. № 1 (53). S. 85–89.
2. Metod ocenki dostovernosti kolichestvennogo analiza risika na ob"ektah neftegazovoj otrassli / A.V. Matveev [i dr.] // Pozharovzryvobezopasnost'. 2018. T. 27. № 1. S. 35–49. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.35-49.
3. Bujnevich M.V., Maksimov A.V., Pelekh M.T. Principy informacionnoj podderzhki sistemnogo proektirovaniya razvitiya seti pozharnyh depo na territorii megapolisa // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2017. № 3. S. 129–135.
4. Bujnevich M.V., Shurakova D.G., Vostryh A.V. Dvuhurovnevaya klasterizaciya suboptimal'nyh zon prikrytiya g. Kostromy podrazdeleniyami MCHS Rossii pri vozniknovenii proisshestvij // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2018. № 2. S. 121–127.
5. Teryohin S.N., Vostryh A.V. Sovershenstvovanie informacionnyh sistem, ispol'zuemyh organami nadzornoj deyatel'nosti MCHS Rossii // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 4. S. 163–170.
6. Shidlovskij G.L., Kotov I.Yu., Vostryh A.V. Razrabotka algoritma dlya resheniya mnogokriterial'nyh zadach ranzhirovaniya trebovaniij pozharnoj bezopasnosti // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 4. S. 103.–111.
7. Theoretical basis for designing integrated security systems of potentially hazardous facilities / A.V. Matveev [et al.] // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. T. 12. № 22. S. 12357–12361.
8. Belardo S., Karwan K.R., Wallace W. An investigation of system design considerations for emergency management decision support // Systems Man and Cybernetics, IEEE Transactions on 1984. P. 795–804. DOI: 10.1109/TSMC.1984.6313308.
9. Chalmet L., Francis R., Saunders P. Network models for building evacuation // Fire Technology. 1982. № 18. P. 90–113. DOI: 10.1007/bf02993491.
10. Southworth F., Chin S.M., Cheng P. A telemetric monitoring and analysis system for use during large scale population evacuations // Road Traffic Monitoring, 1989. Second International Conference. 1989. P. 99–103.
11. Hughes T. Graph processing by which to evacuate a mine // Applied Computing. Proceedings of the 1990 Symposium, 1990. P. 137–141. DOI: 10.1109/SOAC.1990.82155.
12. Filippoupolitis A., Gelenbe E. A distributed decision support system for Building Evacuation // Human System Interactions. HSI '09. 2nd Conference, 2009. P. 323–330. DOI: 10.1109/HSI.2009.5091000.
13. Griffith D. The critical problems of hurricane evacuation and alternative solutions // OCEANS 82. 1982. P. 990–994. DOI: 10.1109/OCEANS.1982.1151729.

14. Tseng Yu.C., Pan M.S., Tsai Yu.Yu. Wireless sensor networks for emergency navigation // Computer 2006. № 39. P. 5562. DOI: 10.1109/MC.2006.248.
15. Park V.D., Corson M.S. A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks // INFOCOM'97. Sixteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Driving the Information Revolution, Proceedings IEEE. IEEE. 1997. Vol. 3. P. 1405–1413. DOI: 10.1109/INFCOM.1997.631180.
16. Zorpette G. Evacuation planning for Lilco's Shoreham plant: Lack of an approved emergency evacuation strategy may prevent full operation of a \$5 billion nuclear power plant on long Island's north shore // Spectrum, IEEE 1987. № 24. P. 22–24. DOI: 10.1109/MSPEC.1987.6448960.
17. Li Q., De Rosa M., Rus D. Distributed algorithms for guiding navigation across a sensor network // Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking. ACM, 2003. P. 313–325.
18. Koditschek D.E. Robot planning and control via potential functions. The robotics review 1989. 349 p.
19. Gorbil G., Gelenbe E. Opportunistic communications for emergency support // Procedia Computer Science. 2011. № 5. P. 39–47. DOI: 10.1016/j.procs.2011.07.008.
20. Gelenbe E., Gorbil G. Wireless networks in emergency management. Proceedings of the first ACM international workshop on Practical issues and applications in next generation wireless networks // ACM. 2012. P. 1–6.
21. Gorbil G., Gelenbe E. Resilient emergency evacuation using opportunistic communications // Computer and Information Sciences III. 2013. P. 249–257.
22. Filippoupolitis A., Gorbil G., Gelenbe E. Autonomous navigation systems for emergency management in buildings // GLOBECOM Workshops (GC Wkshps), 2011 IEEE, 2011. P. 1056–1061. DOI: 10.1109/GLOCOMW.2011.6162338.
23. CoWiSMoN: A framework for cognitive wireless sensor mobile network system for emergency rescue management / S. Zubair [et al.] // Adaptive Science and Technology (ICAST), 2011 3rd IEEE International Conference. 2011. P. 237–241. DOI: 10.1109/ICASTech.2011.6145177.
24. Indoor Emergency Evacuation Service on Autonomous Navigation System using Mobile Phone / Yu. Inoue [et al.] // Universal Communication, 2008. ISUC '08. Second International Symposium. 2008. P. 79–85. DOI: 10.1109/ISUC.2008.49.
25. iMouse: An Integrated Mobile Surveillance and Wireless Sensor System / Yu.C. Tseng [et al.] // Computer. 2007. № 40. P. 60–66. DOI: 10.1109/MC.2007.211.
26. Gelenbe E., Bi H. Emergency Navigation without an Infrastructure // Sensors. 2014. № 14. P. 15142–15162. DOI: 10.1109/ICSENS.2014.6985038.
27. Enabling Cloud Computing in Emergency Management Systems / M. Qiu [et al.] // IEEE Cloud Computing. 2014. № 1. P. 60–67. DOI: 10.1109/MCC.2014.71.
28. Chu L., Wu S.J. An Integrated Building Fire Evacuation System with RFID and Cloud Computing // Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP), 2011. Seventh International Conference. 2011. P. 17–20. DOI: 10.1109/IIHMSP.2011.65.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 07.06.2025; одобрена после рецензирования: 18.09.2025;
принята к публикации: 20.09.2025

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 07.06.2025; approved after review: 18.09.2025;
accepted for publication: 20.09.2025

Информация об авторах:

Дейнека Евгений Григорьевич, соискатель кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149).

Вострых Алексей Владимирович, старший преподаватель кафедры прикладной математики и безопасности информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: a.vostrykh@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8261-0712>, SPIN-код: 4788-4683

Information about the authors:

Deineka Evgeny G., applicant of the department of fire, emergency rescue equipment and automotive industry of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149)

Vostrykh Aleksey V., senior lecturer, of the department of applied mathematics and information technology security of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: a.vostrykh@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8261-0712>, SPIN: 4788-4683