
ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Научная статья

УДК 614.84; DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-257-269

МЕТОД УЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОПОВЕЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В РАСЧЕТЕ ПОЖАРНОГО РИСКА

✉ Мельников Григорий Олегович.

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

✉ grinyam@list.ru

Аннотация. Рассматривается задача нормативно совместимого учета эксплуатационных и алгоритмических характеристик модульной системы оповещения и управления эвакуацией людей на основе технологии интернета вещей (IoT-COUE) при расчете индивидуального пожарного риска по методике, установленной приказом МЧС России от 14 ноября 2022 г. № 1140 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности». В расчетах индивидуального пожарного риска величины задаются как постоянные значения, тогда как при реальной эксплуатации они изменяются во времени и зависят от состояния оборудования, сетевой инфраструктуры и поведения контингента. Выделены основные точки интеграции характеристик IoT-COUE в расчет: параметры времени начала эвакуации (включая задержку оповещения и предэвакуационные действия), вероятность успешной эвакуации и вероятностные характеристики работоспособности систем оповещения. Вводится коэффициент подтвержденной функциональной надежности системы оповещения и управления эвакуацией, формируемый по логам и результатам регламентных испытаний; уточняется структура задержек оповещения с учетом поэтапного и адресного оповещения; задаются правила представления адаптивной маршрутизации и управления людскими потоками, включая случаи блокирования путей опасными факторами пожара. Дополнительно предложены коэффициент адаптивности IoT-COUE (0...1) и временной профиль риска, позволяющие связать расчет индивидуального пожарного риска с динамикой обстановки и режимами эксплуатации без изменения базовой структуры методики. Показано, что переход к вероятностно-статистическому учету задержек, надежности и состояний отказа повышает воспроизводимость оценки индивидуального пожарного риска и обоснованность выбора дополнительных противопожарных мероприятий.

Ключевые слова: пожарный риск, эвакуация, интернет вещей, пожарная безопасность, оповещение, система оповещения и управления эвакуацией

Для цитирования: Мельников Г.О. Метод учета характеристик модульной системы оповещения и управления эвакуацией людей на основе технологии интернета вещей в расчете пожарного риска // Проблемы управления рисками в техносфере. 2026. № 2 (78). С. 257–269. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-257-269

Scientific article

A METHOD FOR ACCOUNTING FOR THE CHARACTERISTICS OF A MODULAR ALERT AND PEOPLE EVACUATION MANAGEMENT SYSTEM BASED ON THE INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY IN CALCULATION OF FIRE RISK

✉Melnikov Grigoriy O.

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

✉grinyam@list.ru

Abstract. The article considers the problem of a normatively compatible accounting of the operational and algorithmic characteristics of a modular warning and evacuation management system based on Internet of Things (IoT) technology when calculating individual fire risk according to the methodology established by order of EMERCOM of Russia dated November 14 2022 № 1140 «On Approval of the Methodology for Determining Calculated Fire Risk values in Buildings, Structures and Firefighters compartments of various functional fire hazard classes». In the fire risk calculations, the values are set as constant values, whereas in real operation they change over time and depend on the condition of the equipment, network infrastructure and the behavior of the contingent. The main points of integration of the characteristics of the IoT system into the calculation are highlighted: the parameters of the evacuation start time (including the delay in notification and pre-evacuation actions), the probability of successful evacuation, and the probabilistic characteristics of the alert system performance. The coefficient of confirmed functional reliability of the SSE is introduced, which is formed according to the logs and the results of routine tests.; The structure of notification delays is being clarified, taking into account step-by-step and addressable notification; rules for the presentation of adaptive routing and human flow management, including cases of blocking paths by fire hazards, are being set. Additionally, the coefficient of adaptivity of the IoT system (0...1) and the time risk profile are proposed, which make it possible to link the calculation of the IoT with the dynamics of the situation and operating modes without changing the basic structure of the methodology. It is shown that the transition to probabilistic and statistical accounting of delays, reliability, and failure conditions increases the reproducibility of the fire risks assessment and the reasonableness of the choice of additional fire prevention measures.

Keywords: fire risk, evacuation, Internet of Things, fire safety, notification, fire alarm system

For citation: Melnikov G.O. A method for accounting for the characteristics of a modular alert and people evacuation management system based on the internet of things technology in calculation of fire risk // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2026. № 2 (78). P. 257–269. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-257-269

Введение

В современных условиях развития строительных технологий, усложнения архитектурно-планировочных решений и роста функциональности зданий обеспечение пожарной безопасности все в большей степени опирается на риск-ориентированные методы оценки. Концепция пожарного риска позволяет количественно оценить вероятность наступления критических значений опасных факторов пожара (ОФП) для человека и тем самым принимать обоснованные проектные и эксплуатационные решения. Особое значение данный подход приобретает для объектов с массовым пребыванием людей, где эффективность эвакуации становится определяющим фактором сохранения жизни и здоровья людей [1, 2].

В Российской Федерации ключевым инструментом реализации риск-ориентированного подхода является методика определения расчетных величин пожарного риска, утвержденная приказом МЧС России от 14 ноября 2022 г. № 1140 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности». Данная методика стала результатом эволюции нормативных представлений о пожарной опасности зданий и сооружений и пришла на смену более ранней методике, утвержденной приказом МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». По сравнению с предыдущей редакцией, новая методика расширила набор учитываемых параметров, формализовала расчет индивидуального пожарного риска и в явном виде включила в расчет процессы эвакуации людей, временные характеристики развития пожара и блокирования эвакуационных путей.

Вместе с тем, несмотря на очевидные преимущества и методологическую зрелость, действующая методика расчета индивидуального пожарного риска (ИПР) в значительной степени опирается на априорно заданные, статические параметры [3, 4]. Вероятности присутствия людей в здании, время начала эвакуации, вероятность ее успешного завершения, а также эффективность систем противопожарной защиты в большинстве случаев определяются либо по нормативным значениям, либо на основе расчетных сценариев, не учитывающих изменчивость реальных условий эксплуатации объекта. Такой подход, будучи оправданным на этапе становления риск-ориентированной методологии, в условиях цифровизации и внедрения интеллектуальных инженерных систем начинает проявлять свои ограничения.

Результаты исследований надежности и эффективности системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) указывают на устойчивый характер снижения уровня работоспособности СОУЭ (табл. 1, рис. 1) [5, 6]. Показано, что низкая вероятность корректного срабатывания и функционирования СОУЭ обусловлена недостаточной надежностью, несоответствием типа СОУЭ типу объекта защиты, недостоверностью передаваемой информации, слабой профессиональной подготовкой персонала, малой разборчивостью и восприимчивостью передаваемых речевых сообщений, а также некорректностью принятых алгоритмов срабатывания.

Таблица 1

Состояние и функционирование СОУЭ

Год	Всего	Сработала, обеспечила безопасную эвакуацию людей из здания	Сработала, не обеспечила безопасную эвакуацию людей из здания	Исправна, но не сработала вследствие недостижения порога срабатывания	Неисправна	Не включена	Работоспособность СОУЭ
2018	264	232	2		24	6	0,88
2019	312	269	6		28	9	0,86
2020	290	255	1		26	8	0,88
2021	332	302	1		22	7	0,91
2023	367	289	13	48	13	4	0,79
2024	3243	2492	74	447	128	102	0,77

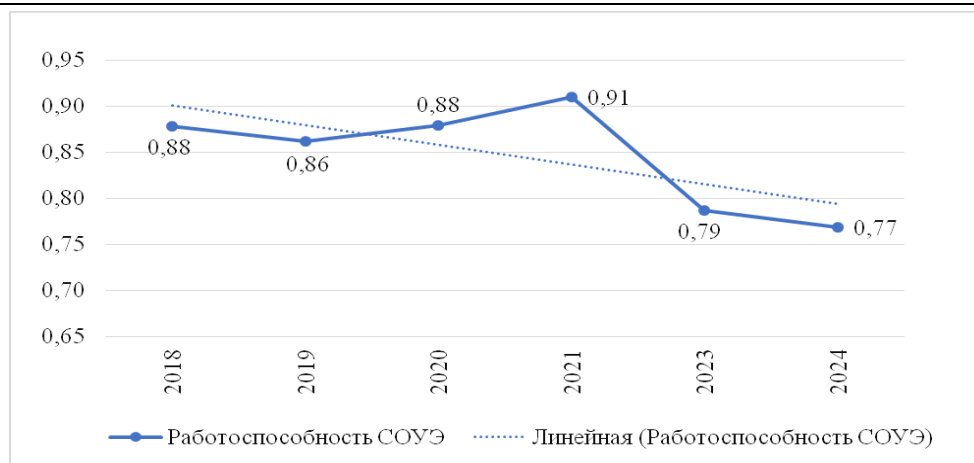


Рис. 1. Работоспособность СОУЭ в период 2018–2024 гг.

Несмотря на то что методика расчета пожарного риска [7] учитывает влияние параметров эвакуации людей на величину ИПР, характеристики СОУЭ в ней представлены в обобщенном виде и, как правило, задаются нормативно. Такой подход не позволяет отразить реальное качество функционирования СОУЭ и их фактическое влияние на временные параметры эвакуации и ее успешного завершения. В условиях выявленной статистической нестабильности работы СОУЭ это приводит к снижению чувствительности расчетной модели ИПР к реальным условиям эксплуатации объекта и требует принципиально новых подходов к построению СОУЭ на основе новых информационных технологий (НИТ) и, в частности, технологии.

В последние годы развитие технологий интернета вещей (Internet of Things, IoT) обусловило появление модульных СОУЭ, реализуемых на основе динамичной архитектуры, собирать данные в режиме реального времени и адаптировать алгоритмы управления к текущей обстановке [8, 9]. Масштабирование IoT-инфраструктуры подтверждается отраслевой аналитикой: согласно данным IoT Analytics число подключенных IoT-устройств увеличилось с 10,0 млрд в 2019 г. до 16,6 млрд в 2023 г., а к 2030 г. прогнозируется превышение 40 млрд подключений [10]. Для задач пожарной безопасности это означает расширение технических предпосылок для применения распределенных сенсоров, локальной обработки данных, цифровой связи и адресного управления эвакуацией.

Анализ зарубежных публикаций показывает, что исследования IoT-ориентированной эвакуации развиваются по трем взаимосвязанным направлениям: получение данных о пожарной обстановке и людских потоках в реальном времени; построение адаптивных алгоритмов выбора безопасных маршрутов; интеграция сенсорных данных с BIM/цифровыми двойниками для поддержки принятия решений [11–18].

Первое направление связано с переходом от статических планов эвакуации к маршрутизации на основе актуальной информации о задымлении, температуре, доступности участков и плотности потоков. В работах [12, 13] показано, что IoT-инфраструктура позволяет учитывать состояние среды и характеристики людей при выборе маршрута, что повышает применимость адаптивного управления в сложных многоэтажных зданиях. Развитие этой линии представлено в работах Н.-Н. Yen и соавторов: предложены алгоритмы индивидуальной эвакуации с учетом дыма и групповой эвакуации с учетом заторов, а также механизм динамического управления эвакуационными указателями по данным датчиков дыма и температуры [14, 15].

Второе направление связано с применением цифровых двойников и семантических моделей для интеллектуального управления системами противопожарной защиты. В исследованиях L. Jiang и соавторов, T. Zhang и соавторов, Y. Ding и соавторов показано, что объединение BIM, IoT-сенсоров, компьютерного зрения и моделей пожара обеспечивает виртуально-физическую синхронизацию объекта, распознавание развития пожара и мониторинг движения эвакуируемых [15–17]. Для крупных общественных зданий Y.J. Kim и соавторы

предложили систему пожарного аварийного управления на основе информативного цифрового двойника, в которой оценка потенциального риска используется для передачи информации о безопасных зонах и путях выхода [18].

При этом большинство зарубежных работ направлено на повышение точности обнаружения, адаптивность маршрутизации и информационную поддержку эвакуации, но не решает задачу нормативно совместимого включения таких характеристик в расчет индивидуального пожарного риска по российской методике [7]. Следовательно, сохраняется научно-практический разрыв между технологическими возможностями IoT-СОУЭ и формализованной расчетной схемой ИПР, что определяет необходимость разработки специального метода учета характеристик модульной СОУЭ на основе технологии интернета вещей.

Таким образом, возникает противоречие между возможностями современных модульных систем оповещения и управления эвакуацией на основе IoT и статическим характером параметров, используемых в методике расчета ИПР [8]. Разрешение данного противоречия требует разработки метода учета характеристик таких систем в расчетной схеме ИПР, без разрушения логики и нормативной основы действующей методики.

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью повышения достоверности оценки ИПР за счет учета реальных условий функционирования СОУЭ. Практическая значимость работы заключается в возможности применения предложенного метода при обосновании проектных решений, оценке эффективности СОУЭ и управлении пожарными рисками на объектах с массовым пребыванием людей. Научная новизна исследования состоит в разработке подхода к формализованному учету динамических характеристик модульной СОУЭ на основе технологии интернета вещей в рамках методики расчета ИПР.

Методы исследования

В работе применен комплекс методов, обеспечивающих прослеживаемость перехода от нормативной расчетной схемы ИПР к формализованному учету измеряемых характеристик модульной СОУЭ на основе технологии интернета вещей.

Объект исследования – процесс эвакуации людей при пожаре в зданиях и (или) пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности. Предмет исследования – расчетная схема определения ИПР и параметры, через которые в нее может быть корректно интегрировано влияние модульной СОУЭ.

В качестве исходной нормативной основы использованы действующая методика определения расчетных величин пожарного риска и ранее действовавшая методика.

Для выявления мест интеграции параметров модульной СОУЭ в расчет ИПР выполнен структурный анализ расчетного алгоритма:

- задание исходных данных;
- моделирование развития пожара (ОФП);
- определение времени блокирования путей эвакуации;
- моделирование эвакуации;
- оценка вероятности безопасной эвакуации;
- расчет ИПР.

Далее проведено сопоставление методик расчета ИПР по тем элементам, которые непосредственно связаны с эвакуацией и исходными данными расчета.

Для обоснования необходимости совершенствования учета СОУЭ выполнена обработка статистических данных о работоспособности/срабатываниях СОУЭ. В качестве процедур обработки использованы статистика Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России [6].

Для определения времени наступления предельных значений ОФП на путях эвакуации (времени блокирования) использовано моделирование развития пожара с применением полевой модели PyroSim (FDS), реализующей расчет течений, переноса тепла и дыма и применяемой в инженерных задачах пожарной безопасности.

Результатами моделирования являются временные зависимости параметров среды на контрольных участках путей эвакуации, используемые далее для определения времени блокирования и для согласования с эвакуационной моделью.

Для расчета времени эвакуации и оценки влияния управленческих воздействий (оповещение, маршрутизация, перераспределение потоков, ограничение/разрешение проходов) применена агентно-ориентированная модель эвакуации Pathfinder. В модели задавались геометрия эвакуационных путей, параметры контингента (профили людей), поведенческие сценарии и условия изменения доступности путей.

Расчет выполнялся для набора расчетных сценариев, отличающихся: локализацией очага и динамикой развития пожара, составом и плотностью контингента, состояниями работоспособности СОУЭ (штатная работа/частичный отказ/задержка оповещения). Для оценки вклада характеристик СОУЭ применен анализ чувствительности выходного показателя ИПР к изменению параметров, связанных с оповещением и управлением эвакуацией: задержка начала эвакуации, доля оповещенных, устойчивость каналов доставки сообщения, изменение доступности маршрутов и управляемость потоков.

Предложенный метод основан на преобразовании измеряемых характеристик модульной СОУЭ в параметры, используемые в расчетном алгоритме ИПР по методике [7]. К таким характеристикам отнесены:

- временные параметры оповещения (включая задержку обнаружения/инертности формирования сообщения/доставки и реакции);
- показатели надежности (вероятность работоспособного запуска и доставки оповещения),
- показатели адресности и адаптивности управления (влияние на распределение потоков и исключение небезопасных маршрутов).

Модификация традиционной схемы расчета заключалась в введении процедур корректировки входных параметров эвакуационного блока и вероятностных характеристик с сохранением общей структуры расчета и ее нормированного порядка применения.

Для обеспечения воспроизводимости хода исследования использовались стандартные программные средства моделирования пожара и эвакуации (PyroSim и Pathfinder) с фиксацией исходных данных, сценариев и настроек моделирования; расчетные результаты анализировались в виде временных рядов ОФП, распределений времени эвакуации и интегральных показателей (время блокирования, время эвакуации, вероятность безопасной эвакуации, итоговая величина ИПР).

Результаты и их обсуждение

Одним из ключевых направлений интеграции IoT-СОУЭ [8] в методику расчета ИПР является выявление и структурирование тех параметров, которые оказывают наибольшее влияние на результирующую величину.

$$R_{i,j} = Q_{п,i} \cdot (1 - K_{ап,i}) \cdot P_{пр,i} \cdot (1 - P_{э,i,j}) \cdot (1 - K_{пэ,i}), \quad (1)$$

где $Q_{п,i}$ – частота возникновения пожара в здании в течение года; $K_{ап,i}$ – коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов по пожарной безопасности; $P_{пр,i}$ – вероятность присутствия эвакуируемого контингента в здании (рассматриваемой части здания); $P_{э,i,j}$ – вероятность эвакуации людей j -й группы эвакуируемого контингента в общем потоке эвакуирующихся при реализации i -го сценария пожара; $K_{пэ,i}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Сравнительный анализ основных параметров методики [7] и того, как они могут быть уточнены или улучшены при использовании IoT-систем, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная таблица параметров расчета пожарного риска

№ п/п	Параметр	Традиционный подход	IoT-ориентированный подход	Эффект интеграции IoT
1.	$Q_{п,i}$ – частота пожара	Статистика, усредненные значения	Сбор данных с сенсоров (тепловых, дымовых, утечек, КЗ и пр.)	Уточнение вероятности и профиля рисков*
2.	$P_{пр,i}$ – вероятность присутствия людей в здании	По графику эксплуатации: $P_{пр,i} = \frac{t_{пр,i}}{24}$	Расчет на основе Wi-Fi – трекинга, видеонаблюдения, счетчика людей [19, 20]	Учет реального числа людей в здании и вычисление точного значения вероятности их присутствия
3.	$P_{э,i,j}$ – вероятность эвакуации людей	Расчет по сценариям	Уточненные вычисления $t_{эл,i}, t_{эз,i,j}, t_p, t_{ск,i,j}$ через IoT-данные и адаптивные алгоритмы	Более точная оценка возможности успешной эвакуации
4.	$t_{эз,i,j}$ – время начала эвакуации	По нормативной документации: $t_{эз,i,j} = t_{пор} + t_{инерц}^{обн} + t_{задерж}^{COУЭ} + t_{предв}$	На основе быстрого обнаружения интеллектуальной системы обнаружения пожара [21] и системы IoT	Снижение задержек начала эвакуации
5.	t_p – расчетное время эвакуации людей	По моделям движения	Уточнение расчета с учетом маршрутов SGEP, SIEP [11]	Оптимизация эвакуации с учетом плотности, препятствий и блокирования путей эвакуации
6.	$t_{эл,i}$ – блокировка путей эвакуации	С помощью инструментов моделирования пожара (Fire Dynamic Simulator – FDS)	Данные от IoT сенсоров токсичности, температуры и дыма и edge-расчет времени достижения критических значений ОФП [8]	Реалистичное моделирование критических условий во времени
7.	$K_{п.э,i}$ – соответствие системам противопожарной защиты (СПЗ)	По нормативной документации	Введение коэффициента K_{IoT} , отражающего интеллектуальные возможности системы (формула (2))	Учет адаптивности и автоматизации системы

Примечание: * Профиль рисков – это многоуровневая модель пожарного риска, основанная на динамической и детализированной картине изменения уровня индивидуального пожарного риска на объекте в зависимости от времени, зон, условий эксплуатации и поведенческих факторов, приведенного в табл. 2.

Подробнее о том, как модульная СОУЭ на основе технологии интернета вещей влияет на расчет ИПР, может свидетельствовать внедрение коэффициента адаптивности IoT-СОУЭ (K_{IoT}) в расчет коэффициента, учитывающего соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности ($K_{п.э,i}$):

$$K_{п.э,i} = 1 - (1 - K_{обн,i}(t) \cdot K_{COУЭ,i}(t) \cdot (\alpha \cdot K_{IoT})) \cdot (1 - K_{обн,i}(t) \cdot K_{пдэ,i}(t)) , \quad ! \quad (2)$$

где K_{IoT} – коэффициент адаптивности IoT-системы. Оценка в диапазоне от 0 до 1 на основе наличия сенсоров в ключевых точках, времени реакции системы, возможности адаптации маршрутов, степени автоматизации принятия решений; α – эмпирический коэффициент, учитывающий влияние IoT-системы на эффективность пассивной защиты, предлагаемый в пределах 0,1–0,3 (чем выше, тем больше влияние IoT).

Таблица 3

Профиль индивидуального пожарного риска

Зона	Время	$R_{i,j}$	Причина
Холл	18:00	$3,2 \cdot 10^{-4}$	Скопление людей, неисправно речевое оповещение
Кладовая	03:00	$1,2 \cdot 10^{-5}$	Пожароопасное оборудование
Технический этаж	12:00	$2,4 \cdot 10^{-4}$	Повышенная температура, неисправна АУП
Кинозал №1	20:00	$4 \cdot 10^{-5}$	Скопление людей

Для повышения точности вычисления модели предлагается дополнить формулу (1) методики расчета пожарного риска зависимостью от времени и рядом следующих изменений:

$$R_{i,j}(t) = Q_{п,i}(t) \cdot (1 - K_{ап,i}(t)) \cdot P_{пр,i}(t) \cdot (1 - P_{э,i,j}(t)) \cdot (1 - K_{пэ,i}(t)) \quad \#(3)$$

Каждый коэффициент может быть скорректирован на основе IoT, например:

$Q_{п,i}(t)$ – частота возникновения пожара на объекте i в момент времени t может быть скорректирована на основе данных от IoT-датчиков (например, повышение температуры, утечка газа, короткие замыкания и т.п.) и профиля рисков;

$K_{ап,i}(t)$ – коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов по пожарной безопасности. Может быть скорректирован за счет непрерывного мониторинга работоспособности АУП, раннего обнаружения пожара, анализа временных характеристик срабатывания АУП (время обнаружения, время активации, время подачи огнетушащих веществ). А также на основании статистических данных за предыдущие годы (табл. 4, рис. 3);

$P_{пр,i}(t)$ – вероятность присутствия эвакуируемого контингента в здании, определяемая на основе данных по Wi-Fi-трекингу, счетчику людей при входе, видеонаблюдению;

$P_{э,i,j}(t)$ – вероятность эвакуации людей мониторингом поведения людей в реальной обстановке, учитывающая скорость реакции, ориентацию в пространстве, склонность к панике и физические возможности;

$K_{пэ,i}(t)$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты: АУП, СОУЭ, противодымной вентиляции, контролируемой через сенсоры, телеметрию и цифровые интерфейсы.

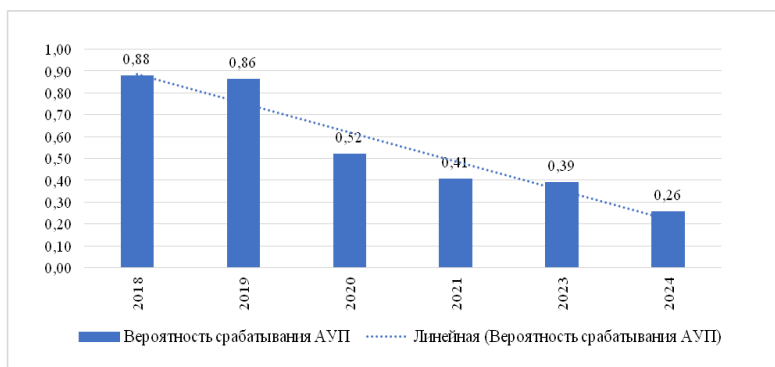


Рис. 3. Работоспособность АУП в период 2018–2024 гг.

Таблица 4

Состояние и функционирование АУП

Год	Всего	Сработала, пожар потушила	Сработала, подала огнетушащие вещества в очаг пожара, пожар не потушила	Сработала и подала огнетушащие вещества все очага пожара	Исправна, но не сработала вследствие недостижения порога срабатывания	Неисправна	Не включена	Работоспособность АУП
2018	264	232	25			11	4	0,88
2019	312	269	34			6	4	0,86
2020	100	52	31			10	7	0,52
2021	152	62	38			12	40	0,41
2023	141	55	30	9	37	7	3	0,39
2024	248	64	62	35	77	7	4	0,26

Согласно анализу данных из [6], можно сделать вывод, что работоспособность АУПТ в 2024 г. сводится к 0,26. Что свидетельствует о том, что АУПТ в большей части не выполняет своего основного назначения и коэффициент о соответствии АУПТ нормативным документам по пожарной безопасности ($K_{\text{ап},i}$) требует корректировки.

Проведенный анализ и предложенные решения позволяют утверждать, что методика расчета ИПР может и должна быть адаптирована к новым возможностям. Применение IoT позволяет перейти от разовой оценки риска к непрерывному расчету, реагирующему на изменения обстановки в режиме реального времени.

Заключение

В работе решена научно-практическая задача формализованного учета характеристик модульной СОУЭ, построенной на основе технологии IoT, при определении ИПР в рамках действующей методики. Показано, что при всей методологической зрелости риск-ориентированного подхода практическая применимость расчета ИПР ограничивается статическим характером ряда ключевых параметров, прежде всего связанных с эвакуацией и фактическим функционированием систем противопожарной защиты, что снижает чувствительность расчетной модели к реальным условиям функционирования объекта.

Предложенный метод основан на преобразовании измеряемых характеристик модульной СОУЭ в параметры, используемые в алгоритме расчета ИПР, с акцентом на три группы показателей:

– временные параметры оповещения и начала эвакуации (включая задержки обнаружения, формирования/доставки сообщения и реакции людей);

- показатели надежности (вероятность работоспособного запуска и доставки сигналов оповещения);
- показатели адресности и адаптивности управления эвакуацией (влияние на перераспределение потоков и исключение небезопасных маршрутов).

При этом принципиально важно, что модернизация реализована не через замену нормативной схемы расчета, а через введение процедур корректировки входных параметров эвакуационной части и вероятностных характеристик при сохранении общей структуры и порядка применения методики.

Дополнительно предложена возможность учитывать временную неоднородность риска через профиль риска (зоны/время/причины) и введение временной зависимости в расчет (как способ связать расчет ИПР с изменяющимися режимами эксплуатации и состояниями систем), а также использовать коэффициент адаптивности IoT-COУЭ (в диапазоне 0–1) и эмпирический коэффициент α (влияние модульной системы на эффективность пассивной защиты (0,1–0,3) как формализованные рычаги отражения «интеллектуальных» возможностей системы в составе параметров, характеризующих соответствие и эффективность СПЗ.

Предложенный метод создает единый «нормативно совместимый» механизм включения параметров IoT-COУЭ в расчет ИПР и тем самым открывает возможность перехода от разовой расчетной оценки к более динамичному, риск-ориентированному расчету риска, реагирующему на изменение обстановки и состояния систем в реальном времени, что особенно актуально для современных объектов.

Список источников

1. Чистякова А.А., Прус М.Ю. Поддержка риск-ориентированного управления пожарной безопасностью в жилом секторе на основе анализа структуры пожарных рисков // Технологии техносферной безопасности. 2024. № 2 (104). С. 112–137. EDN GULAKE. DOI: 10.25257/TTS.2024.2.104.112-137
2. Сулейменова Р.Д., Болотина Е.В. Оценка пожарных рисков, методы расчета и ключевые факторы, влияющие на уровень риска // Актуальные вопросы обеспечения комплексной безопасности: материалы национальной науч.-практ. конф. с международным участием, посвященной 35-летию МЧС России и 95-летию Оренбургского ГАУ. Оренбург: Оренбургский государственный аграрный университет, 2025. С. 211–215. EDN AWVIRP.
3. Мельников Г.О., Синещук Ю.И. Современные подходы к эвакуации из зданий: роль IoT и 5G технологий // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы: материалы Междунар. форума. СПб.: Санкт-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2024. С. 74–78. EDN JEXLPC.
4. Будыкина Т.А., Ляшенко С.М., Федотов С.Б. Оценка пожарной опасности объекта образования на основе термического анализа и определения расчетных величин пожарного риска // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2023. № 2 (57). С. 26–38. EDN IEYXZX.
5. Кочнов О.В. Оценка эффективности речевых систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Казань: ООО «Бук», 2025. 250 с. EDN LFXZJD.
6. Пожары и пожарная безопасность в 2024 г. Статистика пожаров и их последствий: информ.-аналит. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2025. 112 с.
7. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности: приказ МЧС России от 21 сент. 2021 г. № 1140. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
8. Мельников Г.О., Синещук Ю.И. Модульная модель системы оповещения и управления эвакуацией людей на основе технологии IOT // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 4 (76). С. 182–200. EDN RSLCQX. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-182-200
9. Москвина Н.В. Преимущества использования цифровой платформы для подключения устройств «Интернета вещей» при предупреждении и ликвидации

происшествий и ЧС // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. Железногорск: Сибирская пожарно-спасательная академия, 2021. С. 370–375. EDN BWFBPU.

10. IoT Analytics. State of IoT Summer 2024: Number of connected IoT devices growing 13 % to 18,8 billion globally. 2024. URL: <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/> (дата обращения: 04.05.2026).

11. Yen H.-H., Lin C.-H., Tsao H.-W. Novel Smoke-Aware Individual Evacuation and Congestion-Aware Group Evacuation Algorithms in IoT-Enabled Multi-Story Multi-Exit Buildings // IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 119402–119418. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3221757

12. Fang H., Lo S., Lo J.T.Y. Building Fire Evacuation: An IoT-Aided Perspective in the 5G Era // Buildings. 2021. Vol. 11. № 12. Article 643. DOI: 10.3390/buildings11120643

13. A Fire Evacuation and Control System in Smart Buildings Based on the Internet of Things and a Hybrid Intelligent Algorithm / A. Mohammadiounotikandi [et al.] // Fire. 2023. Vol. 6. № 4. Article 171. DOI: 10.3390/fire6040171

14. Yen H.-H., Lin C.-H. Intelligent Evacuation Sign Control Mechanism in IoT-Enabled Multi-Floor Multi-Exit Buildings // Sensors. 2024. Vol. 24. № 4. Article 1115. DOI: 10.3390/s24041115

15. Jiang L., J. Shi C., Wang Z. Pan Intelligent control of building fire protection system using digital twins and semantic web technologies // Automation in Construction. 2023. Vol. 147. Article 104728. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104728

16. Building Artificial-Intelligence Digital Fire (AID-Fire) system: A real-scale demonstration / T. Zhang [et al.] // Journal of Building Engineering. 2022. Vol. 62. Article 105363. DOI: 10.1016/j.jobe.2022.105363

17. Ding Yu., Zhang Yu., Huang X. Intelligent emergency digital twin system for monitoring building fire evacuation // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 77. Article 107416. DOI: 10.1016/j.jobe.2023.107416

18. Advanced fire emergency management based on potential fire risk assessment with informative digital twins / Yu.J. Kim [et al.] // Automation in Construction. 2024. Vol. 167. Article 105722. DOI: 10.1016/j.autcon.2024.105722

19. Интеллектуальная система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре объектов с массовым пребыванием людей на основе BIM-моделирования / Г.А. Лазарев [и др.] // Научный журнал. 2022. № 2 (64). С. 21–29. EDN QTDIOF.

20. Интеллектуальная система оповещения и управления эвакуацией людей на объектах защиты с применением BIM-моделирования / Г.Л. Шидловский [и др.] // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXI Междунар. науч.-практ. конф. М.: Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2019. С. 597–599. EDN BNFAOV.

21. Доронин А.С. Обоснование и разработка прототипа устройства на основе искусственного интеллекта для распознавания пожара: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2025. 166 с.

References:

1. Chistyakova A.A., Prus M.Yu. Podderzhka risk-orientirovannogo upravleniya pozharnoj bezopasnost'yu v zhilom sektore na osnove analiza struktury pozharnyh riskov // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2024. № 2 (104). S. 112–137. EDN GULAKE. DOI: 10.25257/TTS.2024.2.104.112-137

2. Sulejmenova R.D., Bolotina E.V. Ocenka pozharnyh riskov, metody rascheta i klyuchevye faktory, vliyayushchie na uroven' riska // Aktual'nye voprosy obespecheniya kompleksnoj bezopasnosti: materialy nacional'noj nauch.-prakt. konf. s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 35-letiyu MCHS Rossii i 95-letiyu Orenburgskogo GAU. Orenburg: Orenburgskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2025. S. 211–215. EDN AWVIRP.

3. Mel'nikov G.O., Sineshchuk Yu.I. Sovremennyye podhody k evakuacii iz zdaniy: rol' IoT i 5G tekhnologij // *Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problemy, perspektivy: materialy Mezhdunar. foruma*. SPb.: Sankt-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2024. S. 74–78. EDN JEXLPC.
4. Budykina T.A., Lyashenko S.M., Fedotov S.B. Ocenka pozharnoj opasnosti ob"ekta obrazovaniya na osnove termicheskogo analiza i opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska // *Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity*. 2023. № 2 (57). S. 26–38. EDN IEYXZX.
5. Kochnov O.V. Ocenka effektivnosti rechevyh sistem opoveshcheniya i upravleniya evakuaciej lyudej pri pozhare. Kazan': OOO «Buk», 2025. 250 s. EDN LFXZJD.
6. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2024 g. Statistika pozharov i ih posledstvij: inform.-analit. sb. Balashiha: FGBU VNIPO MCHS Rossii, 2025. 112 s.
7. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska v zdaniyah, sooruzheniyah i pozharnyh otsekah razlichnyh klassov funkcional'noj pozharnoj opasnosti: prikaz MCHS Rossii ot 21 sent. 2021 g. № 1140. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
8. Mel'nikov G.O., Sineshchuk Yu.I. Modul'naya model' sistemy opoveshcheniya i upravleniya evakuaciej lyudej na osnove tekhnologii IOT // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2025. № 4 (76). S. 182–200. EDN RSLCQX. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-182-200
9. Moskvina N.V. Preimushchestva ispol'zovaniya cifrovoj platformy dlya podklyucheniya ustroystv «Interneta veshchej» pri preduprezhdenii i likvidacii proisshestvij i CHS // *Aktual'nye problemy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti i zashchity ot chrezvychajnyh situacij: sb. materialov Vseros. nauch.-prakt. konf. ZHeleznogorsk: Sibirskaya pozharno-spasatel'naya akademiya*, 2021. S. 370–375. EDN BWFBPU.
10. IoT Analytics. State of IoT Summer 2024: Number of connected IoT devices growing 13 % to 18,8 billion globally. 2024. URL: <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/> (data obrashcheniya: 04.05.2026).
11. Yen H.-H., Lin C.-H., Tsao H.-W. Novel Smoke-Aware Individual Evacuation and Congestion-Aware Group Evacuation Algorithms in IoT-Enabled Multi-Story Multi-Exit Buildings // *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 119402–119418. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3221757
12. Fang H., Lo S., Lo J.T.Y. Building Fire Evacuation: An IoT-Aided Perspective in the 5G Era // *Buildings*. 2021. Vol. 11. № 12. Article 643. DOI: 10.3390/buildings11120643
13. A Fire Evacuation and Control System in Smart Buildings Based on the Internet of Things and a Hybrid Intelligent Algorithm / A. Mohammadiounotikandi [et al.] // *Fire*. 2023. Vol. 6. № 4. Article 171. DOI: 10.3390/fire6040171
14. Yen H.-H., Lin C.-H. Intelligent Evacuation Sign Control Mechanism in IoT-Enabled Multi-Floor Multi-Exit Buildings // *Sensors*. 2024. Vol. 24. № 4. Article 1115. DOI: 10.3390/s24041115
15. Jiang L., J. Shi C., Wang Z. Pan Intelligent control of building fire protection system using digital twins and semantic web technologies // *Automation in Construction*. 2023. Vol. 147. Article 104728. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104728
16. Building Artificial-Intelligence Digital Fire (AID-Fire) system: A real-scale demonstration / T. Zhang [et al.] // *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 62. Article 105363. DOI: 10.1016/j.jobbe.2022.105363
17. Ding Yu., Zhang Yu., Huang X. Intelligent emergency digital twin system for monitoring building fire evacuation // *Journal of Building Engineering*. 2023. Vol. 77. Article 107416. DOI: 10.1016/j.jobbe.2023.107416
18. Advanced fire emergency management based on potential fire risk assessment with informative digital twins / Yu.J. Kim [et al.] // *Automation in Construction*. 2024. Vol. 167. Article 105722. DOI: 10.1016/j.autcon.2024.105722
19. Intellektual'naya sistema opoveshcheniya i upravleniya evakuaciej lyudej pri pozhare ob"ektov s massovym prebyvaniem lyudej na osnove BIM-modelirovaniya / G.A. Lazarev [i dr.] // *Nauchnyj zhurnal*. 2022. № 2 (64). S. 21–29. EDN QTDIOF.
20. Intellektual'naya sistema opoveshcheniya i upravleniya evakuaciej lyudej na ob"ektah zashchity s primeneniem BIM-modelirovaniya / G.L. SHidlovskij [i dr.] // *Aktual'nye problemy*

pozharnoj bezopasnosti: materialy XXHI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. M.: Vserossijskij ordena «Znak Pocheta» nauchno-issledovatel'skij institut protivopozharnoj oborony Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij, 2019. S. 597–599. EDN BNFAOV.

22. Doronin A.S. Obosnovanie i razrabotka prototipa ustrojstva na osnove iskusstvennogo intellekta dlya raspoznavaniya pozhara: dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2025. 166 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 30.03.2026; одобрена после рецензирования: 16.04.2026; принята к публикации: 03.05.2026

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 30.03.2026; approved after review: 16.04.2026; accepted for publication: 03.05.2026

Информация об авторе:

Мельников Григорий Олегович, адъюнкт кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: grinyam@list.ru, <https://orcid.org/0009-0003-8459-7317>, SPIN-код: 6971-4886

Information about the author:

Melnikov Grigory O., associate professor of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: grinyam@list.ru, <https://orcid.org/0009-0003-8459-7317>, SPIN: 6971-4886