

УДК 519.876.5

DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0026

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА И ОЦЕНКИ  
ПОЖАРНОГО РИСКА ЗДАНИЯ**

© Авторы 2022

SPIN: 4702-5955

AuthorID: 618777

ORCID: 0000-0002-5531-3579

ResearcherID: F-2232-2018

ScopusID: 57212562000

**АВДЕЕВА Марина Олеговна**, кандидат экономических наук,

доцент Высшей школы техносферной безопасности

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

*(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, e-mail: avdeeva\_mo@spbstu.ru)*

SPIN: 3204-6018

AuthorID: 831170

ORCID: 0000-0002-6725-7340

ResearcherID: AAF-4709-2019

ScopusID: 57218102410

**УЗУН Олег Леонидович**, кандидат юридических наук, доцент Высшей школы техносферной безопасности

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

*(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, e-mail: uzun\_ol@spbstu.ru)*

SPIN: 8286-5957

AuthorID: 805309

ORCID: 0000-0002-0567-3875

ResearcherID: Q-4441-2017

ScopusID: 57205428468

**ДОРОНИН Александр Сергеевич**, ассистент Высшей школы техносферной безопасности

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

*(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, e-mail: doronin\_as@spbstu.ru)*

**ЗАГЛЯДИМОВ Константин Игоревич**, студент Высшей школы техносферной безопасности

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

*(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, e-mail: zaglyadimov.ki@edu.spbstu.ru)*

**Аннотация.** Обеспечение пожарной безопасности считается одной из функций государства, достижение которой путем внедрения нормативно правового регулирования со стороны государства, разработке мероприятий по пожарной безопасности. Однако, несоблюдение этих норм, а также небрежное отношение людей к безопасности и приводят к возникновению пожаров. Проанализировав имеющиеся на данный момент публикации по выбранной теме, авторы пришли к выводу, что данная задача и по сей день не теряет своей актуальности. Целью данного исследования является проведение автоматизированной оценки пожарного риска средствами программного обеспечения *Fenix+* путем построения имитационной модели здания. Определены следующие задачи: а) проанализировать современное состояние пожарной безопасности для высшего учебного заведения, б) на основании проведенных на модели экспериментов получить значения индивидуального пожарного риска, графики и карты распределения опасных факторов пожара, временные значения и количество эвакуировавшихся людей, а также информация о скоплениях, в) провести анализ результатов полученных данных и разработать рекомендаций и мероприятий по снижению пожарного риска. С использованием программного продукта *Fenix2+* реализована 3D модель здания высшего учебного заведения, на которой проведены различные эксперименты. На основе анализа полученных результатов авторами статьи были сформулированы предложения по повышению безопасности здания.

**Ключевые слова:** оценка рисков, эвакуация, пожар, анализ и оценка, управление безопасностью жизнедеятельности, моделирование рисков, моделирование, техносферная безопасность, *fenix+*.

**APPLICATION OF THE SIMULATION MODELING METHOD FOR CALCULATING AND  
ASSESSING THE FIRE RISK OF A BUILDING**

© Autor(s) 2022

**AVDEEVA Marina Olegovna**, phd (economic), associate professor of Higher School of Technospheric Safety

**UZUN Oleg Leonidovich**, phd (legal), associate professor of Higher School of Technospheric Safety

**DORONIN Alexander Sergeevich**, assistant at the Higher School of Technosphere Security

**ZAGLYADIMOV Konstantin Igorevich**, student of the Higher School of Technosphere Security

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*

(195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnic St., 29,

e-mails: avdeeva\_mo@spbstu.ru, uzun\_ol@spbstu.ru, doronin\_as@spbstu.ru, zaglyadimov.ki@edu.spbstu.ru)

**Abstract.** Ensuring fire safety is considered one of the functions of the state, the achievement of which is through the introduction of regulatory regulation by the state, the development of measures for fire safety. However, non-compliance with these standards, as well as people's careless attitude to safety, lead to fires. After analyzing the currently available publications on the chosen topic, the authors came to the conclusion that this task does not lose its relevance to this day. The purpose of this study is to conduct an automated assessment of fire risk by means of *Fenix+* software by building a simulation model of a building. The following tasks are defined: a) to analyze the current state of fire safety for higher educational institutions, b) on the basis of experiments conducted on the model to obtain the values of individual fire risk, graphs and maps of the distribution of fire hazards, time values and the number of evacuated people, as well as information about clusters, c) to conduct analyze the results of the obtained data and develop recommendations and measures to reduce fire risk. Using the *Fenix2+* software product, a 3D model of the building of a higher educational institution was implemented, on which various experiments were carried out. Based on the analysis of the learned results, the authors of the article formulated proposals to improve the safety of the building.

**Keywords:** risk assessment, evacuation, fire, analysis and assessment, life safety management, risk modeling, modeling, technosphere safety, fenix+.

**Для цитирования:** Авдеева М.О. Применение метода имитационного моделирования для расчета и оценки пожарного риска здания / М.О. Авдеева, О.Л. Узун, А.С. Доронин, К.И. Загладимов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 3(59). – С. 170-175. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0026.

**Введение.** Обеспечение пожарной безопасности считается одной из функций государства, достижение которой способствует нормативное правовое регулирование и осуществление государственных мер в области пожарной безопасности, создание пожарной охраны и организация её деятельности, разработка и осуществление мер пожарной безопасности, реализация прав, обязанностей и ответственности в области пожарной безопасности.

На сегодняшний день, чтобы определить необходимые мероприятия по повышению уровня пожарной безопасности проводится оценка пожарного риска на объектах. Оценка пожарного риска – это расчет, выполняемый в соответствии с установленными государством методиками. В результате расчета получается значение индивидуального пожарного риска. Далее происходит сравнение полученного результата с нормативным значением. На основании полученного сравнения делаются выводы об уровне пожарной безопасности в здании.

Множество научных работ, посвящены совершенствованию материалов для повышения огнестойкости зданий. Предлагается использование новых типов бетонных конструкций для повышения прочности зданий и повышению его огнестойкости [1,2]. Рыбаков В., Жувак О., Хоффманн А., Сергеева Ф., Вериги П. в своей работе анализируют поведение армирующих швов при воздействии пожарной нагрузки. В ходе исследования выяснилось, что муфтовые и сварные соединения придают дополнительную жесткость образцам без ухудшения прочностных характеристик арматурного стержня [3]. Внедрение противопожарных завес создаст временные преграды для распространения огня в открытых технологических проемах, проемах зданий и сооружений, а огнезащитный сухой штукатурный состав повысит огнестойкость стен и снизит скорость распространения пожар [4,5]. Никита Левашов,

Марина Акулова и Юлия Соколова для повышения огнестойкости и прочности стен при строительстве предлагают использовать штукатурный раствор с силикатными добавками, когда Татьяна Еремина и Корольченко Дмитрий отдадут предпочтение ортофосфорной кислоте, в качестве модифицирующей добавки, на огнезащитных свойствах краски [6,7].

Одним из перспективных направлений в области пожарной безопасности является внедрение системы мониторинга, прогнозирования и моделирования пожаров. Авторы нескольких научных статей уделяют внимание внедрению программного обеспечения *Fenix+* для оценки и прогнозирования пожарного риска [8,9].

Бочка А.А. рассматривает актуальность применения средств контроля и мониторинга пожарных рисков на основе пожарных извещателей, а Сергей Дубов, Игорь Бабилов, Михаил Васильев и Леонид Танклевский разработали метод оперативной диагностики пожарных извещателей, входящих в контур пожарной сигнализации [10,11]. Авторы уделяют внимание разработке нейронных сетей для прогнозирования разрушения здания во время пожаров. [12,13].

В 2020 г. на территории Российской Федерации зарегистрировано 439 394 пожара, из которых 152 127 пожаров произошли в зданиях и сооружениях [14]. Это говорит о том, что имеется необходимость внедрения новых способов оценки пожарного риска или применения новых материалов для снижения шансов возгорания чем и занимаются на сегодняшний день ученые всех стран мира.

Данная работа направлена на проведение оценки пожарного здания высшего учебного заведения. По результатам оценки будут сформированы выводы об уровне пожарной безопасности этажа и предложены решения по повышению безопасности здания.

**Методология.** Оценка пожарного риска на

объектах проводится с целью определения частоты и меры тяжести воздействия опасных факторов пожара на здоровье человека и имущество, чтобы в последствии определить необходимые мероприятия по повышению уровня пожарной безопасности.

Для оценки пожарного риска в качестве программы по оценке рисков будет использоваться “Fenix+”.

“Fenix +” – комплекс программ, разработанный компанией MST инженерное программное обеспечение. Основной целью данного комплекса является расчет пожарного риска зданий и сооружений [15].

Программа имеет графический редактор, позволяет смоделировать структуру и масштаб объекта, а также построить 3D модель здания по заданным чертежам, что позволяет более наглядно наблюдать за результатами моделирования.

Вместе с этим в программу встроены расчетные формулы, позволяющие промоделировать пожароопасную ситуацию и получить результаты темпов распространения пожара и значения опасных

факторы пожара такие как: температура, видимость, задымленность, тепловой поток, содержание опасных для вдыхания продуктов горения в воздухе. Так же “Fenix +” позволяет провести моделирование эвакуации людей беря за основу поведение человека, который во время пожара ищет ближайший выход.

В качестве объекта исследования был выбран 4 этаж высшего учебного заведения. Этаж имеет форму двух перпендикулярно связанных прямоугольников, имеет один основной эвакуационный и один вспомогательный выходы. Планировка коридорного типа с двухсторонним и на некоторых участках односторонним расположением помещений. Освещение достигается в основном за счет множество оконных проемов в наружных стенах, а так же люминисцентных ламп. Согласно плану, высота потолков составляет 3 метра. В каждом кабинете и в коридорах имеется система охранно пожарной сигнализации, однако при этом отсутствует система автоматического пожаротушения (рис. 1).

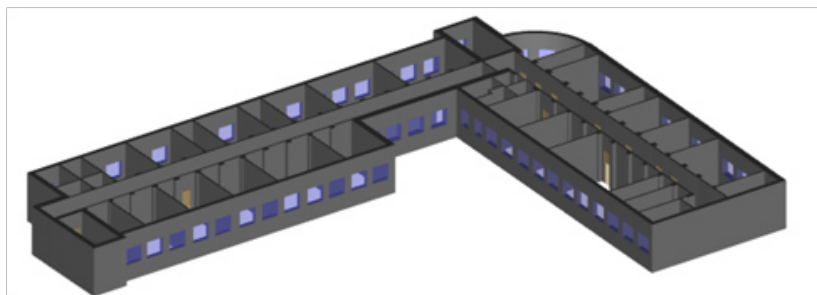


Рисунок 1 – Трехмерная модель этажа

**Результаты.** В соответствии с приказом МЧС от 30.06.2009 № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» частота реализации пожароопасных ситуаций для высших учебных учреждений равна  $4,2 \cdot 10^{-2}$  по статистическим данным в течение года [16].

Следующий шаг в оценке риска будет выбор сценария развития пожара.

Сценарий развития пожара – это событие, при котором происходит пожар на основании заданных условий и параметров пожара.

В процессе моделирования здания был рассмотрен

следующий сценарий:

Сценарий №1 предполагает возгорание в компьютерном классе (рис. 2). Причиной возгорания может послужить короткое замыкание в одном из системных блоков или одной из розеток, либо перегрев с воспламенением изоляции участка проводов внутри одного из системных блоков. Для сценария обозначим расчетную область и расставим регистраторы, контрольные точки, в которых будут фиксироваться показатели динамики развития пожара, также укажем эвакуационные выходы.

Проведя моделирование данных сценариев в программном продукте *Fenix 2+*, получим графические распределения опасных факторов пожара (рис. 3).



Рисунок 2 – Сценарий №1

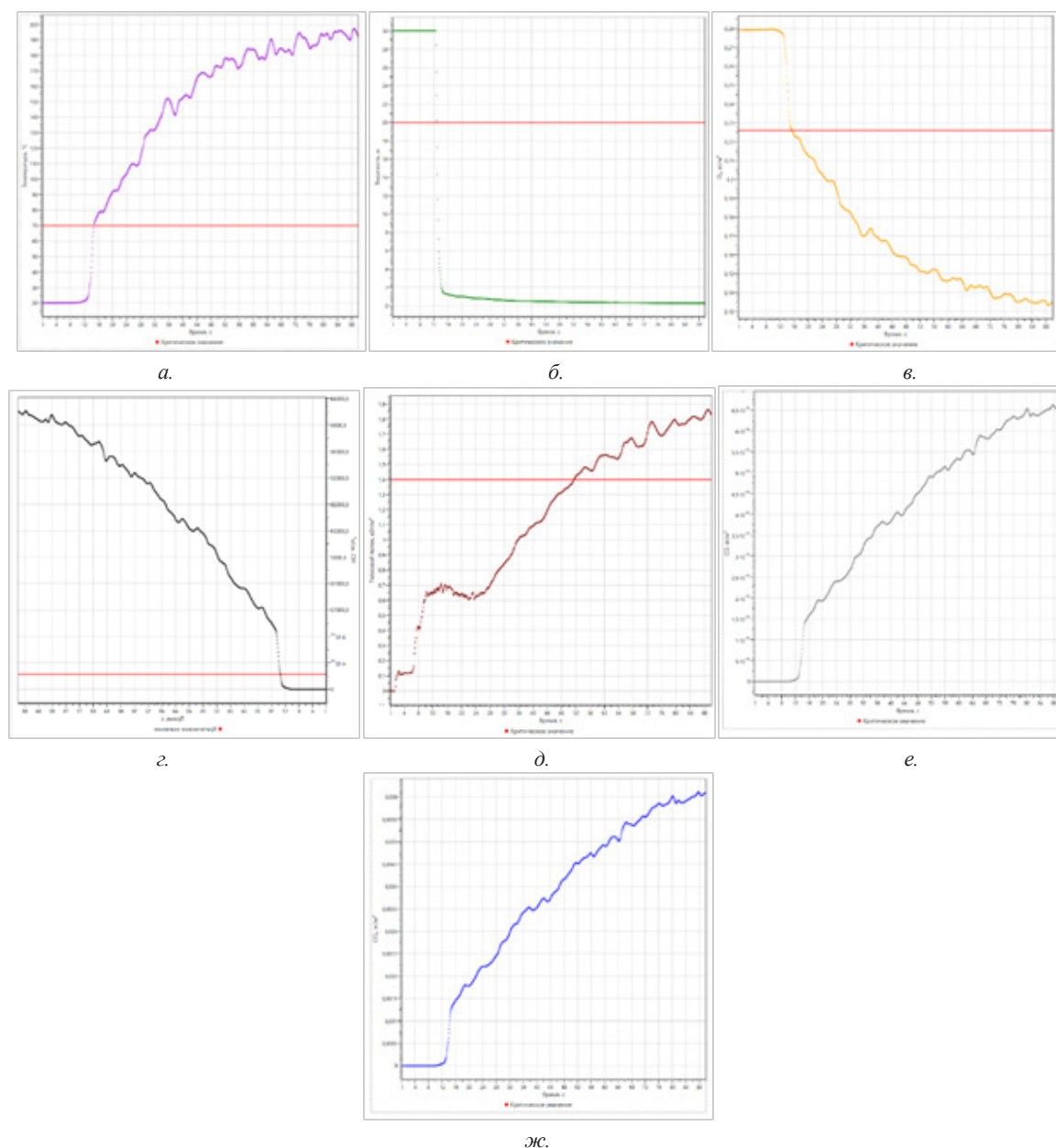


Рисунок 3 – Графические показатели опасных факторов пожара для сценария №1  
а.-график изменения температуры; б.- график изменения содержания хлороводорода;  
в.- график изменения видимости; г.- график изменения содержания кислорода;  
д.- график изменения теплового потока; е. – график изменения монооксид углерода;  
ж. – график изменения диоксида углерода

**Обсуждение.** Красной полосой на графиках отображен показатель критического значения для опасного фактора пожара. При достижении критического значения одним из опасных факторов пожара происходит блокирование эвакуационного выхода. Под блокированием эвакуационных выходов понимается интервал времени, когда опасные факторы пожара создадут преграду у эвакуационных выходов и люди не смогут покинуть здание. Критическое время каждого опасного фактора пожара определяют, как время достижения этим фактором предельно допустимого значения на путях эвакуации на высоте 1,7 м от пола [17]. Данная высота была взята из расчета на то, что средний рост человека составляет

170 сантиметров.

Критические показатели для каждого опасного фактора пожара приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Критические показатели опасных факторов пожара\*

Опасный фактор	Предельный параметр	Размерность.
1	2	3
Тепловой поток	1400	Вт/м <sup>2</sup>
Температура	70	°
Предельная видимость в дыму	20	м
HCL	$23 \cdot 10^{-6}$	кг/м <sup>3</sup>
O <sub>2</sub>	0,226	кг/м <sup>3</sup>
CO	$1,16 \cdot 10^{-3}$	кг/м <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub>	0,11	кг/м <sup>3</sup>



Так же, программное обеспечение позволяет получить карту температур и видимости по всей площади помещения. Используя шкалу, можно определить температуру и уровень видимости в каждой точке области в каждый момент времени (рис. 4, 5).

По карте температуры на рисунке 4 можно уви-

деть, что источник пожара не мешает на пути эвакуации и тем самым не блокирует пожарные выходы.

Однако вместе с тем по карте видимости (рис. 5) можно увидеть, что задымление мешает на пути эвакуации и тем самым затрудняет выход из помещения, что в последствии может привести к человеческим потерям.

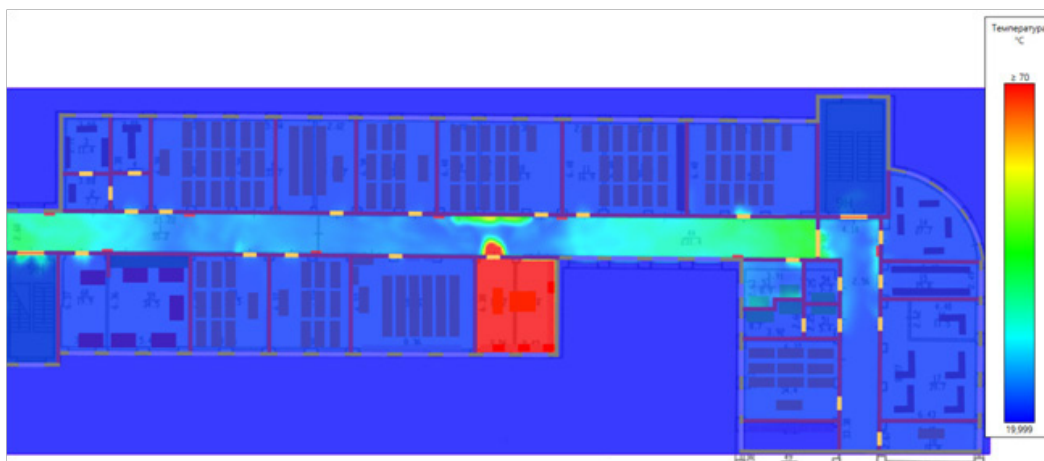


Рисунок 4 – Температурная карта сценария №1

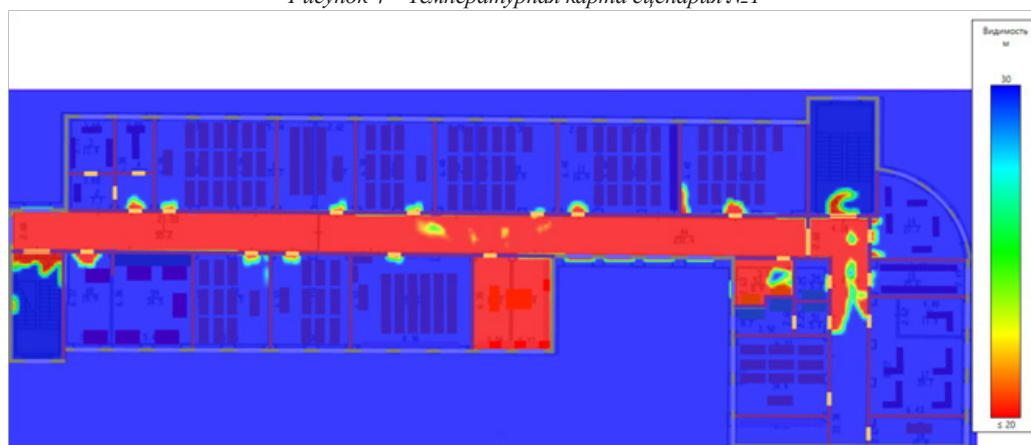


Рисунок 5 – Карта видимости сценария №1

Следующим шагом алгоритма – моделирование эвакуации. Действия, которые совершает человек, приводят к ситуациям, когда шансы на успешную эвакуацию резко уменьшаются. Паника – одна из крайне опасных ситуаций для человека и окружающих его людей, поскольку паника распространяется не хуже пожара. Паникующие начинают себя вести крайне неадекватно, часто опасно для окружающих, и попутно нагнетают обстановку вокруг. Из-за этого появляется опасность возникновения давки, убийств

по неосторожности, несчастных случаев.

В результате моделирования мы получили данные по общему времени эвакуации, времени начала эвакуации, количеству эвакуировавшихся, схеме эвакуации и данные по наиболее используемым путях эвакуации. Данные по эвакуации приведены в таблице 2.

На основании проведенных моделирований получаем значение индивидуального пожарного риска (табл. 3).

Таблица 2 – Результаты эвакуации сценария №1

Сценарий	Время начала эвакуации, с	Время эвакуации, с	Время существования скоплений, с	Общее кол-во людей	Кол-во эвакуировавшихся людей
Сценарий 1	0.0	41.4	0,2	80	80

Таблица 3 – Расчет индивидуального риска

Сценарий	Частота возникновения пожара	Коэффициент соответствия АУП	Вероятность присутствия людей	Вероятность эвакуации людей	Коэффициент соответствия системы противопожарной защиты	Индивидуальный риск
Сценарий 1	$4 \cdot 10^{-2}$	0	0,5	$9,99 \cdot 10^{-1}$	0,640	$7,2 \cdot 10^{-6}$

Согласно приказу МЧС № 382, индивидуальный пожарный риск отвечает требованию, если в (1) [16]:

$$Q_g \leq Q_g^H, \quad (1)$$

где  $Q_g^H$  – Нормативное значение индивидуального пожарного риска  $Q_g^H = 10^{-6}$  в год;

$Q_g$  – Расчетная величина индивидуального пожарного риска.

**Выводы.** Данное исследование показало, что у выбранного сценария индивидуальный риск превышает нормативное значение, а, следовательно, необходимо рассмотреть мероприятия по повышению пожарной безопасности в здании.

Основываясь на показателях опасных факторов пожара и результатах эвакуации людей, для повышения пожарной безопасности предлагается установка противодымной вентиляционной системы. Противодымная вентиляционная система предназначена для быстрого и эффективного удаления дыма из сооружения [18]. Кроме того, противодымная вентиляция и дымоудаление, способствует защите людей от последствий задымленности на путях эвакуации во время развития или тушения пожара.

Основные назначения этой системы:

- предотвращает распространение дыма от источника пожара;
- создает условия для эвакуации людей в случае задымления помещений;
- обеспечивает микроклимат для работы МЧС и людей, занятых в борьбе с возгоранием;
- обеспечивает защиту жизни людей и сохранность имущества от возможных повреждений в случае пожара.

Также, согласно технике безопасности, при эвакуации необходимо отключить все электроприборы. Однако паника во время пожара создает вероятность того, что человек не обесточит электроэнергию, а это дополнительный источник возгорания. Для решения данной проблемы предлагается применение пожарной автоматики защитного отключения электроустановок. Пожарная автоматика обеспечивает автоматическое отключение электропитания в случае появления признаков пожара или аварии [19].

За счёт отключения в зависимости от ситуации, автоматика исключает образование источника зажигания, ограничивает распространение пожара, защищает людей от поражения электрическим током, а также предотвращает повторное возгорание от электрического источника. Применение автоматики в помещениях с большим количеством электрооборудования, позволит не тратить время на их отключения, а сконцентрироваться на эвакуации из здания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Mhamoud H. A. M., & Yanmin, J. Effect of different additives on high temperatures of concrete // Journal of Structural Fire Engineering. – 2018. – 9(2). – P. 161-170.
2. Mhamoud H. A. M., & Yanmin, J. The ability of high performance concrete to resist high temperature // Journal of Structural Fire Engineering. – 2017. – 8(4). – P. 392-401.

3. Rybakov V., Zhuvak, O., Hoffmann, A., Sergeeva, F., & Verigo, P. The influence of reinforcing joints on the fire resistance of reinforced concrete structures // Magazine of Civil Engineering. – 2020. – 100(8).

4. Gravit M. V., Nedryshkin, O. V., & Ogidan, O. T. Transformable fire barriers in buildings and structures // Magazine of Civil Engineering. – 2018. – 77(1). – P. 38-46.

5. Gravit M. V., Golub, E. V., & Antonov, S. P. Fire protective dry plaster composition for structures in hydrocarbon fire // Magazine of Civil Engineering. – 2018. – 79(3). – P. 86-94.

6. Levashov N., Akulov, M., & Sokolova Y. Modifying composition of plastering mortar for the purpose of enhancing fire resistance of building structures by means of silicate additives // Paper presented at the E3S Web of Conferences. – 2019. – P. 97.

7. Eremina, T., & Korolchenko, D. Fire protection of building constructions with the use of fire-retardant intumescent compositions // Buildings. 2020. – 10(10). – P. 1-14.

8. Avdeeva M., Byzov A., Smyshlyaeva K., & Leonova N. Assessment of the fire situation of a certain building using fenix+ // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2021. – 1259 AISC. – P. 391-400.

9. Avdeeva M., Uzun O., Borodkina Y. Simulation of the evacuation process at various economic facilities using the Anylogic software product // 13th international scientific and practical conference on state and prospects for the development of agribusiness, interagromash 2020, – T. 175.

10. Бочка А.А. Актуальность применения средств контроля и мониторинга пожарных рисков / Научные исследования в современном мире: опыт, проблемы и перспективы развития сборник научных статей по материалам III международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 63-67.

11. Dubov, S., Babikov, I., Vasilyev, M., & Tanklevsky, L. Methods of instrument testing of smoke detectors performance // Paper presented at the MATEC Web of Conferences, 2018. – 245.

12. McKinney, J., & Ali, F. Artificial neural networks for the spalling classification & failure prediction times of high strength concrete columns // Journal of Structural Fire Engineering. – 2014. – 5(3). – P. 203-214.

13. Daryan, A. S., & Yahyai, M. Predicting the behavior of welded angle connections in fire using artificial neural network // Journal of Structural Fire Engineering. – 2018. – 9(1). – P. 28-52.

14. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 году» / Электронный ресурс. URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/5304> (Дата обращения 02.10.2021).

15. Fenix+/Fenix+ 2 Program for determination of size of individual fire risk, version x.1.74 Methodical management / Руководство пользователя. 2018. 363 с. / Электронный ресурс. URL: <https://www.mst.ru> (Дата обращения 02.10.2021).

16. Приказ МЧС РФ от 30 июня 2009 г. N 382 "Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности" / Электронный ресурс. URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/12169057/paragraph/1/doclist/57729/> (Дата обращения 20.03.2021).

17. Степанов В.П. Теоретические основы распространения опасных факторов пожара // Молодой ученый. – 2021. – № 40 (382). – С. 217-222.

18. Противодымная вентиляция и дымоудаление: назначение и особенности / Электронный ресурс. URL: <http://ventilationpro.ru/vytyazhnaya-ventilyatsiya/protivodymnaya-ventilyatsiya-i-dymoudalenie-naznachenie-i-osobennosti.html> (Дата обращения 20.11.2021).

19. Мельников В. С. Пожарная автоматика защитного отключения электроустановок / Электронный ресурс. URL: <http://izd-mn.com/PDF/08MNNPM19.pdf> (Дата обращения 20.11.2021).

Статья поступила в редакцию 30.05.2022

Статья принята к публикации 16.09.2022