

УДК 614.8.084

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ЗДАНИЯ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Юлтыев Шамиль Рамильевич

Академия гражданской защиты МЧС России, г. Химки, Россия

АННОТАЦИЯ

Проведение всестороннего анализа состояния пожарной безопасности объектов защиты является трудоемким мероприятием. Поэтому не удивительно, что в настоящее время используются разные методы и способы. Характерным примером является применение гибкого подхода в обеспечении пожарной безопасности, реализуемого посредством компьютерного моделирования на базе специального программного обеспечения. В этом случае консолидируются различные математические методы (зональный, полевой, интегральный), которые описывают термодинамические процессы неконтролируемого горения. В настоящей работе проведен автоматизированный расчет времени эвакуации людей при пожаре, времени воздействия опасных факторов пожара и других параметров на примере объекта исследования – типовой общеобразовательной школы. Выбор такого объекта обоснован целым комплексом психофизиологических особенностей у детей разной возрастной группы, а также типовыми объемно-планировочными решениями, характерными для архитектуры 1950-х -- 1990х гг., не соответствующими современным требованиям. По результатам компьютерного моделирования было установлено несколько закономерностей, осложняющих решение проблемы по безопасной эвакуации людей, проведена всесторонняя оценка проблем, получена целостная картина. Автором отмечено, что применяемые современные методы не являются идеальными или уникальными, но использование их в совокупности, в том числе с соблюдением режимных мероприятий, позволит минимизировать или вовсе исключить человеческие жертвы.

Ключевые слова: пожарная безопасность, моделирование, эвакуация, угроза жизни, пожар

RESEARCH OF PROBLEMS OF ENSURING SAFE EVACUATION FROM THE BUILDING OF A GENERAL EDUCATIONAL ORGANIZATION

Shamil R. Yul'tyev

Academy of Civil Protection EMERCOM of Russia, Khimki, Russian Federation

ABSTRACT

Carrying out a comprehensive analysis of the state of fire safety of protected objects is a laborious undertaking. Therefore, it is not surprising that different methods and methods are currently used. A typical example is the use of a flexible approach to fire safety,

implemented through computer simulation based on special software. In this case, various mathematical methods (zonal, field, integral) are consolidated, which describe the thermodynamic processes of uncontrolled combustion. In this paper, an automated calculation of the time of evacuation of people in case of fire, the time of exposure to dangerous fire factors and other parameters is carried out using the example of the object of study - a typical secondary school. The choice of such an object is justified by a whole complex of psychophysiological characteristics in children of different age groups, as well as by typical space-planning solutions typical for the architecture of the 1950s - 1991, which do not meet modern requirements. Based on the results of computer simulation, several patterns were established that complicate the solution of the problem of safe evacuation of people, a comprehensive assessment of the problems was carried out, and a complete picture was obtained. The author noted that the modern methods used are not ideal or unique, but their use in combination, including compliance with security measures, will minimize or completely eliminate human casualties.

Keywords: fire safety, modeling, evacuation, life threat, fire

Введение

Применение целого комплекса современных систем обеспечения пожарной безопасности на объекте считается высоким показателем степени защиты [1]. Однако, существующие требования могут противоречить друг другу, а зачастую избыточное количество мероприятий дублирует некоторые функции, оказывая негативное влияние на финансовую составляющую вопросов безопасности [2]. Поэтому гибкий подход применения компьютерного моделирования является приоритетным направлением [3].

Общий перечень проблемных вопросов при эвакуации широко известен [4-7]. Эвакуация в школах осложняется психофизиологическими особенностями детей и имеет ряд особенностей:

- неоднородность эвакуирующегося людского потока, обусловленного различным возрастом учеников [8];
- эмоциональная незрелость детей, не способность самостоятельно принимать взвешенные решения [9];
- высокая вероятность получения травм во время давки смешанных возрастных групп учениками младших классов [10];

– организационные правила проведения эвакуации, установленные в школах, замедляющие процесс выхода из здания [11].

Отметим, что общеобразовательные организации являются объектами повышенной социальной ориентированности, поэтому пожарная безопасность должна обеспечиваться на самом высоком уровне [12]. Для этого разрабатываются и применяются современные нормы проектирования [13], предусматривается увеличенное количество эвакуационных выходов, размер ширины коридоров, лестничных маршей и дверей. Предусмотрены правилами и отрабатываются раз в полугодие действия по отработке эвакуации в случае пожара, среди персонала и учеников.

Особенностью является то, что эксплуатирующийся фонд школьных зданий в большей степени относится к архитектурному периоду 1950–1990-х гг. Многие из указанных зданий не подвергались техническому перевооружению и не соответствуют действующим нормам в области противодымной защиты, пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты [14]. В исследовании

предложено использовать математическое моделирование для всесторонней оценки проблем при эвакуации на примере рассматриваемой типовой школы [15, 16].

Для получения целостной картины условий эвакуации произведено моделирование опасных факторов пожара (ОФП) [17]. Соотнесение результатов времени эвакуации и блокирования позволяет комплексно оценить безопасность эвакуации [18].

Таким образом, для проверки условий безопасности, всесторонней оценки проблем при эвакуации и получения целостной картины проведем математическое моделирование, реализуемое специальным программным обеспечением Fogard [20, 21]. Объектом исследования будет являться образовательное учреждение, а предметом исследования – моделирование эвакуации людей при пожаре.

Результаты и их обсуждение

Местом возникновения горения принимается помещение кабинета труда, ниже представлены основные параметры расчета: начальная температура воздуха в помещении – 21 °С; начальное давление воздуха в помещении – 101325 Па; температура наружного воздуха – 38 °С; масса горючей нагрузки, приходящаяся на единицу площади поверхности горения – 200 кг/м²;

Параметры горючей нагрузки: низшая теплота сгорания деревянных изделий – 14 МДж/кг; линейная скорость распространения пламени – 0,0045 м/с; удельная массовая скорость выгорания – 0,0137 кг/(м²·с.); дымообразующая способность – 47,7 Нп·м²/кг; количество СО, выделяющегося при сгорании 1 кг вещества, – 0,03 кг/кг; количество СО₂ выделяющегося при сгорании 1 кг вещества, –

1,478 кг/кг; количество HCl, выделяющегося при сгорании 1 кг вещества, – 0,0058 кг/кг; количество O₂, поглощающегося при сгорании 1 кг вещества, – 1,369 кг/кг; среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени – 40 кВт/м².

Расчетное время эвакуации людей из здания устанавливается по времени выхода из него последнего человека [22]. Перед началом моделирования процесса эвакуации задается схема эвакуационных путей в здании [23]. Все эвакуационные пути подразделяются на эвакуационные участки длиной a и шириной b . Длина и ширина каждого участка пути эвакуации для проектируемых зданий принимаются по проекту, а для построенных – по фактическому положению. Длина пути по лестничным маршам измеряется по длине марша. Длина пути в дверном проеме принимается равной нулю. Эвакуационные участки могут быть горизонтальные и наклонные (лестница вниз, лестница вверх и пандус). За габариты человека в плане принимается эллипс с размерами осей 0,5 м (ширина человека в плечах) и 0,25 м (толщина человека). Основные этапы моделирования представлены на рис. 1. Результаты моделирования представлены в таблице и на рис. 2, 3.

На рис. 1 показано образование и распространение одного из опасных факторов пожара – дыма, максимально затрудняющего успешную эвакуацию детей при возникновении неконтролируемого горения в здании школы. Можно наблюдать, как формируются зоны задымления с максимальной концентрацией (показано красным) на первом этаже и стремительным переходом задымления на вышележащий этаж (показано желтым, концентрация дыма не критична).

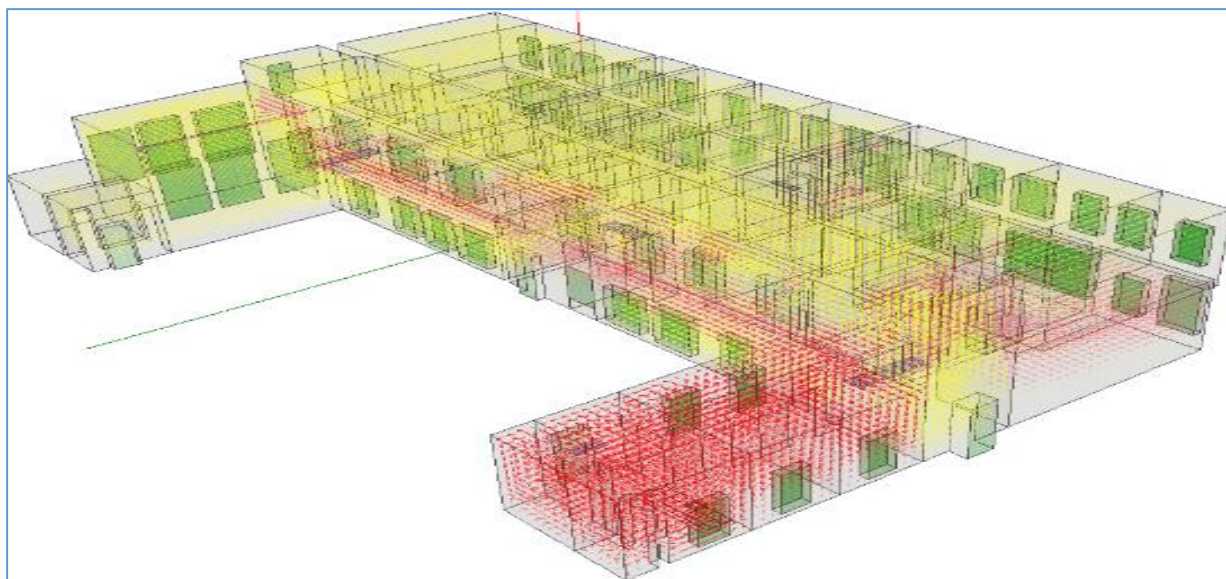


Рис. 1. Моделирование эвакуации людей при пожаре из здания школы

Fig.1. Modeling the evacuation of people in case of fire from a school building

Это связано с тем, что зона задымления представляет собой аэрозоль (смесь воздуха и газообразных продуктов горения), который легко вовлекается в движение любыми конвективными потоками и разносится на разные расстояния. В результате складывающейся обстановки продукты горения уменьшают видимость, способствуют увеличению времени эвакуации людей и вызывают у них отравление.

На рис. 2 показан график стремительного распространения дыма по отношению к другим опасным факторам пожара (повышенной температуры, пониженному содержанию кислорода, распространению углекислого и угарного газов

и т. д.). Отметим, что зона задымления, формирующаяся на начальном этапе в геометрической прогрессии, достигает предельных концентраций продуктов горения. Происходит линейное заполнение объема помещений уже на 630 секунде, при этом понижается содержание кислорода, и вдыхаемых горючих газов становится все больше. В условиях затрудненного дыхания и потери видимости организованное движение групп детей нарушается, становится хаотичным, время эвакуации увеличивается.

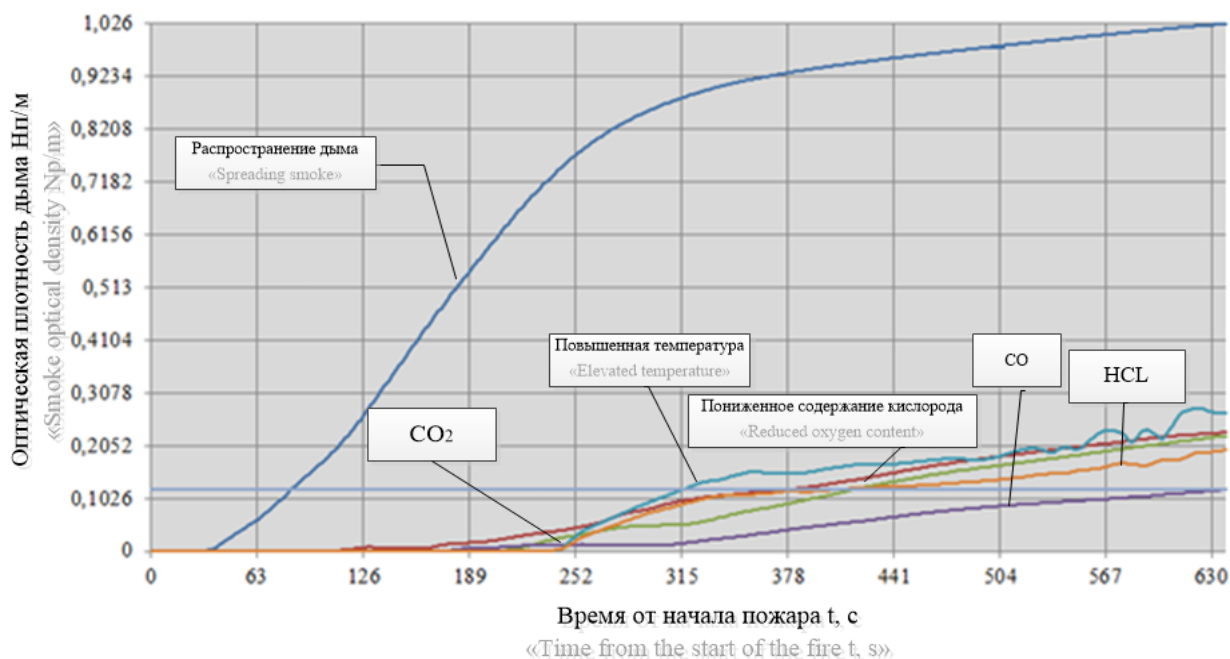


Рис. 2. График воздействия опасного фактора пожара

Fig.2. Fire hazard exposure graph

На рис. 3 представлена объективная схема эвакуации людей при пожаре, формируемая специальным программным комплексом в автоматическом режиме. В соответствии с методикой расчета пожарного риска, моделирование позволило выбрать одну из трех возрастных групп: младшая до 9 лет, средняя 10-13 лет, старшая 14-16 лет,

В упрощенной аналитической модели эвакуации ученики на участках после первого идут сплошным потоком, не детализируя место каждого обучающегося, при этом исходными данными для каждого человека является площадь горизонтальной проекции.

Например, для ребенка младшей группы в школьной форме она составляет 0,04 м²/чел. Следовательно, можно рассчитать, что в местах наибольшей интенсивности на 1 м² эвакуационного прохода будет приходиться 25 детей. Данный пример вызывает опасения за корректность

методики и безопасность эвакуации из здания. Однако, процесс пожара и процесс эвакуации – это сложные явления, описываемые математически с рядом допущений.

Поэтому при моделировании был введен коэффициент безопасности для увеличения времени начала эвакуации, позволивший компенсировать допущения методики и увеличить степень защиты обучающихся.

Анализируя результаты, представленные в таблице, автор отмечает, что задымление является первым опасным фактором пожара, влияющим на успешную эвакуацию людей. Это связано с тем, что на 59 секунде с момента начала распространения дыма, начинается воздействие на людей, а на 68 секунде концентрация продуктов горения повышается до значений, не совместимых с человеческой жизнью.

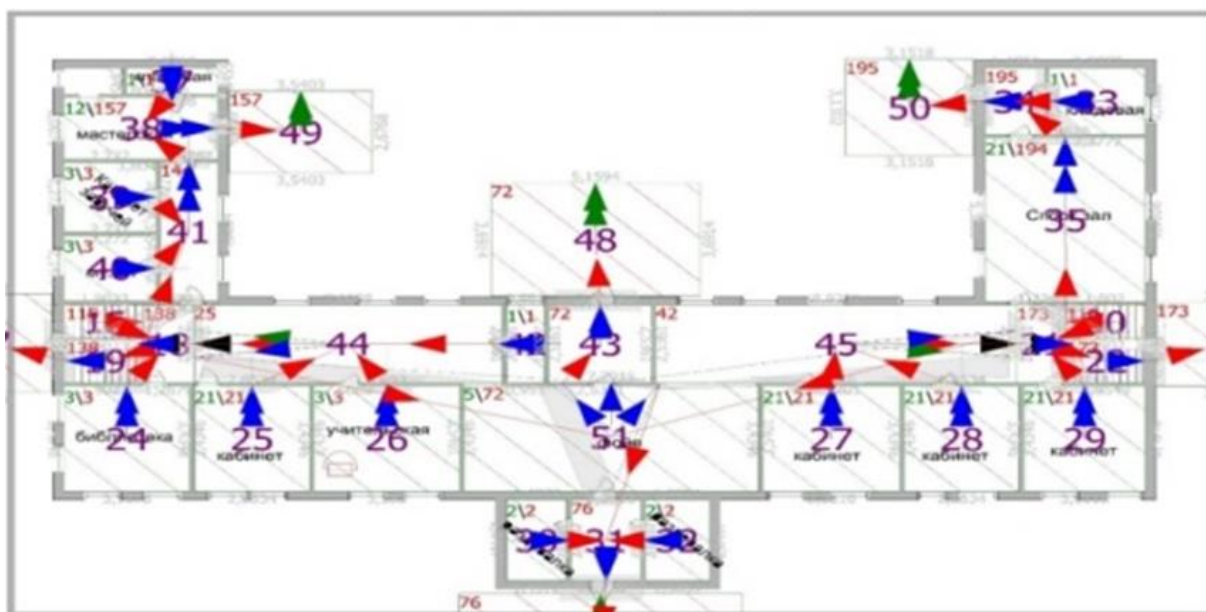


Рис. 3. Схема эвакуации людей при пожаре

Fig.3. Scheme of evacuation of people in case of fire

Таблица. Результаты расчетов необходимого времени эвакуации
Table. The results of calculations of the required evacuation time

Помещение Room	Время достижения предельно-допустимых значений по ОФП с учётом коэффициента безопасности = 0,8, с. The time to reach the maximum permissible values for the OFP, taking into account the safety factor of 0.8, s							Время начала блокировки Blocking start time	№ участка № site	Время эвакуации Evacuation time
	T, °C	O ₂	Плотность дыма Smoke density	HCl	CO ₂	CO	Тепловой поток Heat flow			
Кабинет труда Cabinet of Labor	87,2	100,0	67,2	510,4	510,4	510,4	58,4	58,4	17	50,3
Главный выход Main exit	510,4	510,4	302,4	510,4	510,4	510,4	510,4	302,4	23	199,0
Лестница 2 Staircase 2	510,4	510,4	333,6	510,4	510,4	510,4	510,4	333,6	47	310,7
Спортзал Gym	510,4	510,4	510,4	510,4	510,4	510,4	510,4	510,4	48	312,2
Лестница 1 Staircase 1	510,4	510,4	252,8	510,4	510,4	510,4	510,4	252,8	49	223,5
Раздевалка Locker room	510,4	510,4	324,0	510,4	510,4	510,4	510,4	324,0	50	313,6

Также по результатам моделирования процесса эвакуации людей при

пожаре из общеобразовательного учреждения были сформулированы некоторые особенности эвакуации:

– анализ результатов эвакуации из общеобразовательного учреждения [24] показал не однородность психической реакции на пожар у школьников. Преимущественно у средних и старших классов проявляется радость и эмоциональное перевозбуждение от известия о пожаре. Систематически выявляются случаи, когда ученики убегают на разведку в зону предполагаемого очага пожара. Кроме того, при подтверждении информации о загорании и наличия следов задымления на путях эвакуации, общая масса учеников склонна к паническим неконструктивным действиям, а численное моделирование не позволяет проверить весь спектр эмоциональных реакций и предугадать действия учеников;

– поэтому в целях предотвращения травм во время эвакуации в требованиях пожарной безопасности ученики младших классов располагаются на нижних этажах или в отдельных частях здания, имеющих выделенный эвакуационный выход;

– в рассматриваемом объекте защиты младшие классы выходят непосредственно наружу через лестничную клетку. Таким образом, инструменты математического моделирования позволяют определить пути эвакуации и разработать решения, предотвращающие слияние потоков значительно отличающихся по возрасту детей;

– важным элементом является действия учителей по организованному выводу детей из школы в составе класса. Отметим, что нормы пожарной безопасности предписывают скорейшее покидание объекта защиты после объявления эвакуации, при этом формирование школьников в группу требует от учителя дополнительных временных затрат, но позволяет избежать проблем, описанных выше. Такой

подход формально противоречит расчетным принципам, заложенным в методике оценки пожарного риска. Поскольку численные методы моделирования, представленные в правилах расчета, не позволяют производить эвакуацию в составе класса. Полученный результат ставит под сомнение корреляцию численного моделирования и данных фактического времени эвакуации из школы;

– характерной проблемой являются случаи с закрытыми дверьми эвакуационных выходов на ключ, навесной замок и утепление их ковром, тогда разработанная в проекте система распределения эвакуационных потоков будет разрушена, а это приведет к слиянию людских масс, панике, давке и человеческим жертвам.

Рассматриваемая методика цифрового моделирования не является идеальной, но позволяет определить параметры эвакуации обеспечивающей безопасность людей находящихся в здании, а в совокупности с соблюдением режимных мероприятий обеспечивается эффективная защита от пожара.

Выводы

В расчёте эвакуации принимали участие группы людей разной возрастной категории. С учетом применения современных систем обеспечения пожарной безопасности (пожарной автоматики и т. д.) люди успевают эвакуироваться до момента воздействия на них опасных факторов пожара. Кроме того, применение автоматизированного способа расчета времени эвакуации, времени начала блокировки и др. повышает оперативную работу, минимизирует возникновение вероятности гибели людей, а также обеспечивает гибкий подход в разработке мероприятий пожарной безопасности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кончаков С. А., Королев Д. С. Оценка влияния цифровых технологий на пожарную безопасность нефтегазовых объектов // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2022. № 1. С. 95–105.
2. Gilbert, S.W. Estimating Smoke Alarm Effectiveness in Homes. *Fire Technol* 57, 1497–1516 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01072-z>.
3. Kountouris, Y. An Assessment of the Relationship Between Daylight Saving Time, Disruptions in Sleep Patterns and Dwelling Fires. *Fire Technol* 57, 123–144 (2021). – DOI 10.1007/s10694-020-00983-1.
4. Тимофеев В. Д. Актуальность исследований уровня осведомленности студентов, проживающих в общежитии, о пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность. 2020. Т. 29. № 1. С. 69–77.
5. Панов А. А., Журавлев С. Ю., Журавлев Ю. Ю. Независимая оценка риска и исходные данные для расчета пожарного риска в общественных зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. 2019. Т. 28. № 5. С. 9–18.
6. Новые средства обеспечения эвакуации в общественных зданиях с массовым пребыванием людей / В. Д. Захматов, С. А. Турсенев, М. В. Чернышов и др. // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 5. С. 61–69.
7. Вытовтов А. В., Королев Д. С., Федоров А. В. Математическое моделирование процесса спасения маломобильных групп населения при пожаре // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». 2020. № 4. С. 126–131.
8. Bode, N.W.F., Codling, E.A. Exploring Determinants of Pre-movement Delays in a Virtual Crowd Evacuation Experiment. *Fire Technol* 55, 595–615 (2019).
9. Ramli, N., Ghani, N.A., Ahmad, N. et al. Psychological Response in Fire: A Fuzzy Bayesian Network Approach Using Expert Judgment. *Fire Technol* 57, 2305–2338 (2021). – DOI 10.1007/s10694-021-01106-0
10. Kholshchevnikov V. V. Study of children evacuation from pre-school education institutions / V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin, A. P. Parfyonenko, I. P. Belosokhov // *Fire and Materials*. – 2012. – Vol. 36. – No 5-6. – P. 349-366
11. Zhiming, F., Wei, L., Xiaolian, L. et al. A Multi-Grid Evacuation Model Considering the Threat of Fire to Human Life and its Application to Building Fire Risk Assessment. *Fire Technol* 55, 2005–2026 (2019). – DOI 10.1007/s10694-019-00840-w.
12. Исследование особенностей процесса эвакуации для объектов культурного наследия / Т. Ю. Еремина и др. // Пожаровзрывобезопасность. 2019. Т. 28. № 1. С. 54–66.
13. Минкин Д. Ю., Мироньчев А. В., Кондрашин А. В. Перспективы развития технического регулирования противодымной защиты зданий // Проблемы управления рисками в техносфере. 2015. № 3 (35). С. 23–28.
14. Лоскутов Н. В., Мироньчев А. В., Чижков А. Г. Осуществление государственного контроля за системами пожарной сигнализации в условиях применения механизма «регуляторной гильотины» // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 1 (57). С. 59–68.
15. Vytovtov A.V., Korolev D.S., Barankevich R.V., Sitnikov I.V., Russkikh D.V. Mathematical model for an identifying flaming combustions and accidents by an unmanned aerial vehicle at oil and gas industry facilities/ В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, – 2020. – 52032
16. Korolev D.S., Vytovtov A.V., Kargashilov D.V., Odnolko A.A., Denisov M.S. Mathematical simulation of the forecasting process of the fire hazard properties of substances / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, – 2020. – 52025.
17. Вытовтов А. В., Сушко Е. А., Королев Д. С. Анализ возможных рисков пожарной опасности на действующем объекте защиты нефтегазовой отрасли // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2021. № 2. С. 44–51.
18. Шмырева М. Б., Русских Е. А., Королев Д. С. Методика оценки материального ущерба в случае возникновения и развития чрезвычайной ситуации на объекте нефтегазовой отрасли // Техносферная безопасность. 2021. № 3 (32). С. 67–76.
19. Deere S. et al. An evacuation model validation data-set for high-rise construction sites // *Fire Safety Journal*. – 2021. – Т. 120. – С. 103118.
20. Gubanova O.A. Monitoring of technogenic destructions of oil and gas facilities using 3D laser scanning. / Gubanova O.A., Lovchikov V.A., Mironchev A.V., Cheshko I.D., Krutolapov A.S. // *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*. – 2018. – Т. 7. № 4. – С. 210-212.

21. Ronchi E. Developing and validating evacuation models for fire safety engineering // Fire Safety Journal. – 2021. – Т. 120. – С. 103020. – DOI 10.1016/j.firesaf.2020.103020.
22. Kodur, V.K.R., Venkatachari, S. & Naser, M.Z. Egress Parameters Influencing Emergency Evacuation in High-Rise Buildings. Fire Technol 56, 2035–2057 (2020). – DOI 10.1007/s10694-020-00965-3.
23. Chu, M.L., Law, K.H. Incorporating Individual Behavior, Knowledge, and Roles in Simulating Evacuation. Fire Technol 55, 437–464 (2019).
24. Hamilton, G.N., Lennon, P.F. & O’Raw, J. Toward Fire Safe Schools: Analysis of Modelling Speed and Specific Flow of Children During Evacuation Drills. Fire Technol 56, 605–638 (2020). – DOI 10.1007/s10694-019-00893-x.

References

1. Konchakov S.A., Korolev D.S. Assessment of the impact of digital technologies on the fire safety of oil and gas facilities / Scientific and analytical journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia". 2022; 1: 95–105. (rus).
2. Gilbert S.W. Estimating Smoke Alarm Effectiveness in Homes. Fire Technol. 2021; 57: 1497–1516. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01072-z>.
3. Kountouris, Y. An Assessment of the Relationship Between Daylight Saving Time, Disruptions in Sleep Patterns and Dwelling Fires. Fire Technol. 2021; 57: 123–144. DOI 10.1007/s10694-020-00983-1.
4. Timofeev V. D. The relevance of research on the level of awareness of students living in a hostel about fire safety. Fire and Explosion Safety. 2020; 1: 69– 77. (rus).
5. Panov A. A., Panov A. A., S. Yu. Zhuravlev, Yu. Yu. Zhuravlev. Fire and explosion safety. 2019; 5: 9-18. DOI 10.18322/PVB.2019.28.05.9-18. (rus).
6. Zakhmatov V. D., Tursenev S. A., Chernyshov M. V., Adaev A. A., Bekasov A.V. New means of ensuring evacuation in public buildings with mass stay of people. Fire and explosion safety. 2018; 27(5): 61– 69. DOI 10.18322/PVB.2018.27.05.61-69. (rus).
7. Vytovtov A.V., Korolev D.S., Fedorov A.V. Mathematical modeling of the process of rescuing people with limited mobility in case of fire. Scientific and analytical journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia". 2020; 4: 126– 131. (rus).
8. Bode, N.W.F., Codling, E.A. Exploring Determinants of Pre-movement Delays in a Virtual Crowd Evacuation Experiment. Fire Technol. 2019. No 55. Pp. 595–615.
9. Ramli N., Ghani N.A., Ahmad N. et al. Psychological Response in Fire: A Fuzzy Bayesian Network Approach Using Expert Judgment. Fire Technol. 2021; 57: 2305–2338. DOI 10.1007/s10694-021-01106-0
10. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin, A. P. Parfyonenko, I. P. Belosokhov Study of children evacuation from pre-school education institutions. Fire and Materials. 2012; 36 (5– 6): 349-366.
11. Zhiming F., Wei L., Xiaolian L. et al. A Multi-Grid Evacuation Model Considering the Threat of Fire to Human Life and its Application to Building Fire Risk Assessment. Fire Technol. 2019; 55: 2005–2026. DOI 10.1007/s10694-019-00840-w.
12. Eremina T. Yu., Bogdanov A. V., Sushkova O. V., Yug A. Study of the features of the evacuation process for cultural heritage objects. Fire and Explosion Safety. 2019; 28 (1): 54–66. DOI 10.18322/PVB.2019.28.01.54-66. (rus).
13. Minkin D.Yu., Mironchev A.V., Kondrashin A.V. Prospects for the development of technical regulation of smoke protection of buildings. Problems of risk management in the technosphere. 2015; 3 (35): 23–28. (rus).
14. Loskutov N.V., Mironchev A.V., Chizhkov A.G. Implementation of state control over fire alarm systems in the conditions of using the "regulatory guillotine" mechanism. Problems of risk management in the technosphere. 2021; 1 (57): 59–68. (rus).
15. Vytovtov A.V., Korolev D.S., Barankevich R.V., Sitnikov I.V., Russkikh D.V. Mathematical model for an identifying flaming combustions and accidents by an unmanned aerial vehicle at oil and gas industry facilities. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. P. 52032 (rus).
16. Korolev D.S., Vytovtov A.V., Kargashilov D.V., Odnolko A.A., Denisov M.S. Mathematical simulation of the forecasting process of the fire hazard properties of substances. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. P. 52025. (rus).
17. Vytovtov A.V., Sushko E.A. Korolev D.S. Analysis of possible fire hazard risks at the existing oil and gas industry protection facility. Scientific and analytical journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia". 2021; 2: 44–51. (rus).

18. Shmyreva M.B., Russkikh E.A. Korolev D.S. Methodology for assessing material damage in the event of the occurrence and development of an emergency at an oil and gas industry facility. Technospheric safety. 2021; 3 (32): 67–76. (rus).
19. Deere S. et al. An evacuation model validation data-set for high-rise construction sites. Fire Safety Journal. 2021; 120: 103118.
20. Gubanova O.A., Lovchikov V.A., Mironchev A.V., Cheshko I.D., Krutolapov A.S. Monitoring of technogenic destructions of oil and gas facilities using 3D laser scanning. International Journal of Engineering and Technology(UAE). 2018; 4: 210–212. (rus).
21. Ronchi E. Developing and validating evacuation models for fire safety engineering. Fire Safety Journal. 2021; 120: 103020. DOI 10.1016/j.firesaf.2020.103020.
22. Kodur V.K.R., Venkatachari S. & Naser M.Z. Egress Parameters Influencing Emergency Evacuation in High-Rise Buildings. Fire Technol. 2020; 56: 2035–2057. DOI 10.1007/s10694-020-00965-3. (rus).
23. Chu M.L., Law K.H. Incorporating Individual Behavior, Knowledge, and Roles in Simulating Evacuation. Fire Technol. 2019; 55: 437–464.
24. Hamilton G.N., Lennon P.F. & O'Raw J. Toward Fire Safe Schools: Analysis of Modeling Speed and Specific Flow of Children During Evacuation Drills. Fire Technol. 2020; 56: 605–638. DOI 10.1007/s10694-019-00893-x.

Информация об авторе

Юлтыев Шамиль Рамильевич, старший преподаватель, Академия гражданской защиты МЧС России, Россия, 141435, Московская область, г. Химки, ул. Соколовская, стр. 1А; РИНЦ ID 858388;
e-mail: shyultyev@yandex.ru

Information about the authors

Shamil R. Yultyev, Senior Lecturer, Academy of Civil Protection EMERCOM of Russia Sokolovskaya st., building 1A, Khimki, 141435, Moscow region; ID RISC 858388;
e-mail: shyultyev@yandex.ru