

УДК 614.841.45

**ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ РАСЧЕТА
И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ
ПРИ ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОГО РИСКА**

**THREE-DIMENSIONAL SIMULATION FOR CALCULATION
PROBLEMS AND VISUALIZATION OF PEOPLE EVACUATION IN
THE FIRE RISK ASSESSMENT**

Л.Р. Аминова, Р.А. Валиуллина, А.А. Шарафутдинов

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация**

Liliya R. Amineva, Regina A. Valiullina, Azat A. Sharafutdinov

**Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russian Federation**

e-mail: aminevalr99@mail.ru

Аннотация. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» установил, что приемлемый индивидуальный риск гибели при пожарах не должен превышать 10^{-6} в год – этот показатель означает, что риски должны быть минимизированы до такого уровня, что в год на пожарах может погибнуть не более 1 человека на 1 млн жителей.

Эвакуацией является процесс организованного самостоятельного движения людей непосредственно наружу или в безопасную зону из помещений.

Рассматриваются три модели эвакуации людей из здания при пожаре:

- упрощенная аналитическая модель;
- имитационно-стохастическая модель;

– математическая модель индивидуально-поточного движения.

Наиболее распространенной и часто используемой является упрощенная аналитическая модель, поскольку она учитывает все наихудшие ситуации, которые могут возникнуть в процессе эвакуации.

В целях оптимизации расчета пожарного риска предложено производить его на основе 3D моделирования процесса эвакуации.

Трёхмерная модель помещения позволяет более качественно и наглядно произвести расчет времени эвакуации людей из помещения при пожаре, проанализировать пространственную взаимосвязь между всеми элементами системы объекта в совокупности с данными. Преимуществами трехмерного моделирования являются наглядный контроль и мониторинг подконтрольных объектов, более точное представление различных вариантов эвакуации людей.

Достоинствами трехмерного моделирования являются наглядность, информативность и точность. При его применении расчет пожарного риска облегчается за счет наглядного представления эвакуации.

С помощью расчета суммарного времени движения людского потока на участках пути эвакуации с учетом скорости движения на различных участках, плотности потока и интенсивности движения определяется расчетное время эвакуации. При этом весьма актуальным является вопрос визуализации скопления людей на различных участках. На основании полученных данных производится расчет величины индивидуального пожарного риска и сравнение с нормативным значением.

Применение трехмерного моделирования в задачах расчета и визуализации эвакуации при оценке пожарных рисков является эффективным, поскольку при высокой точности моделирования развития пожара и процесса эвакуации людей обеспечивается их качественная и своевременная защита.

Abstract. Federal Law No. 123-FZ dd. July 22, 2008 «Technical Regulations on Fire Safety Requirements» established that the acceptable individual risk of death in fires should not exceed 10^{-6} per year – this indicator means that the risks should be minimized to such a level that in a year no more than 1 person per 1 million inhabitants can die in fires.

Evacuation is the process of organized independent movement of people directly outside or into a safe area from the premises.

Three models of evacuation of people from a building in case of fire are considered:

- simplified analytical model;
- simulation-stochastic model;
- mathematical model of individual flow movement.

The most common and frequently used is the simplified analytical model, as it takes into account all the worst situations that may arise during the evacuation process.

In order to optimize the calculation of fire risk, it is proposed to make it based on 3D modeling of the evacuation process.

The three-dimensional model of the room allows for a better and more visual calculation of the time of evacuation of people from the room in case of a fire, to analyze the spatial relationship between all elements of the object's system in conjunction with the data. The advantage of three-dimensional modeling is visual control and monitoring of controlled objects, a more accurate representation of various options for evacuating people.

The advantages of three-dimensional modeling are clarity, information content and accuracy. When applied, the calculation of fire risk is facilitated by a visual representation of the evacuation.

By calculating the total time of movement of the flow of people along the sections of the evacuation route, taking into account the speed of movement in different sections, the density of the flow and the intensity of traffic, the estimated time of evacuation is determined. At the same time, the issue of visualizing crowds

of people in different areas is very relevant. Based on the data obtained, the value of the individual fire risk is calculated and compared with the standard value.

The use of three-dimensional modeling in the tasks of calculating and visualizing evacuation when assessing fire risks is effective, since with high accuracy of modeling the development of a fire and the process of evacuation of people, their high-quality and timely protection is provided.

Ключевые слова: пожарный риск; трехмерное моделирование; эвакуация; 3D модель; модели эвакуации

Keywords: fire risk; 3D modeling; evacuation; 3D model; evacuation models

Риск – вероятность возникновения неблагоприятной ситуации или нежелательных последствий какой-либо деятельности [1].

Пожарный риск является мерой возможности осуществления пожарной опасности объекта защиты и её последствий для общества и материальных благ.

Расчет пожарного риска необходим для оценки влияния на людей поражающих факторов пожара, и проведенных мероприятий, приводящих к нулю опасность возникновения пожара, и последствий.

Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» установил приемлемый индивидуальный риск гибели при пожарах, равный одной миллионной в год. Этот показатель означает, что риски должны быть минимизированы до такого уровня, что в год на пожарах может погибнуть не более одного человека на один миллион жителей [2].

На территории Российской Федерации общеобязательным является проведение оценки пожарных рисков. Действия по расчету рисков охватывают абсолютно все объекты, при этом время начала эксплуатации не берется в расчет [3].

Первоочередным параметром для оценки пожарного риска является динамика степени неприкосновенности объекта. Поэтому при расчете рисков, в первую очередь, нужно определить как выполнение предписаний прошедших проверок, так и намечаемое развитие пожарного риска, а именно рост или убывание данной функции.

Результаты расчета при оценке пожарного риска применяются для принятия мероприятий о вспомогательных мерах по снижению пожарной опасности объекта, а также при разработке проектной документации [3].

Для расчета пожарного риска необходимо произвести расчет времени эвакуации людей из здания.

Эвакуацией является процесс организованного самостоятельного движения людей непосредственно наружу или в безопасную зону из помещений [4].

Время эвакуации определяется как время, в течение которого осуществляется вывод людей из объекта возникновения возгорания, не подвергая их влиянию факторов, способных оказывать негативное воздействие на здоровье.

Расчет времени, требуемого для эвакуации людей, производится с учетом пожарного плана эвакуации, наличие которого обязательно на каждом объекте [5–7].

Осуществляется расчет средней скорости движения людей, пропускной способности коридоров, лестниц, дверных проемов, тамбуров, преодоление которых возможно во время движения эвакуационного людского потока.

С применением необходимых формул, указанных в нормативных документах, рассчитываются нормы времени, требуемые для безопасного и эффективного вывода людей с места возгорания до воздействия на них опасных факторов пожара, оказывающих негативное воздействие на организм человека.

С помощью расчета суммарного времени движения людского потока на участках пути эвакуации с учетом скорости движения на различных участках,

плотности потока и интенсивности движения определяется расчетное время эвакуации. При этом весьма актуальным является вопрос визуализации скопления людей на различных участках. На основании полученных данных производится расчет величины индивидуального пожарного риска и сравнение с нормативным значением, установленным Техническим Регламентом [8].

В последнее время набирает популярность трехмерное моделирование в процессе проектирования эвакуации, расширяя тем самым границы обеспечения безопасной деятельности объектов [9].

В целях оптимизации расчета пожарного риска предлагаем производить его на основе трехмерного моделирования процесса эвакуации.

Активное использование трехмерного моделирования обусловлено реальным воплощением 3D модели, увеличением скорости проектирования и снижением количества ошибок [9].

Трёхмерная модель помещения позволяет более качественно, точно и наглядно смоделировать процесс эвакуации, произвести расчет времени эвакуации людей из помещения при пожаре, проанализировать пространственную взаимосвязь между всеми элементами системы объекта в совокупности с данными [10, 11]. Трёхмерная модель эвакуации представлена на рисунке 1.

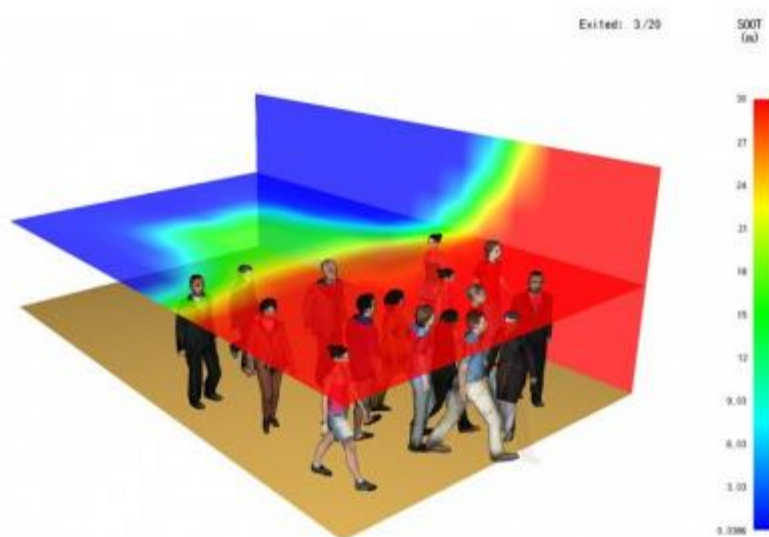


Рисунок 1. Трёхмерная модель эвакуации из помещения

Достоинствами трехмерного моделирования организованного самостоятельного движения людей являются наглядность, информативность и точность.

В настоящее время активно продолжаются исследования и разработки по моделированию движения людей. Методы математического моделирования, реализованные в виде программных продуктов, являются достаточно востребованными и активно используются на практике.

Для обеспечения пожарной безопасности на территории нашей страны, в соответствии с концепцией приемлемого риска, установлен приемлемый индивидуальный риск гибели на пожаре.

Со вступлением в силу Технического регламента «О требованиях пожарной безопасности» Правительством утверждена методика расчета пожарного риска [8].

Существуют две методики для определения расчетных величин пожарного риска. Первая методика предназначена для расчета пожарного риска зданий и сооружений различных классов функциональной пожарной опасности. Вторая предназначена для расчета пожарного риска производственных объектов. Данные методики утверждены приказом МЧС России [12, 13]. Расчеты по оценке пожарного риска основаны на сравнении расчетных величин пожарного риска с нормативным значением, установленным Техническим Регламентом.

Приказом МЧС России № 382 определена методика расчета пожарных рисков в зданиях и сооружениях различных классов функциональной пожарной опасности. Перечень классов представлен в пункте 1 Приказа. По классу выбирается формула для расчета рисков, определяются показатели анализа [12].

В представленной методике рассматривается расчет индивидуального пожарного риска (ИПР) для лиц, находящихся в здании.

В данной методике [12] учитывается, что на показатель ИПР влияют вероятность эффективной работы системы противопожарной защиты,

направленной на обеспечение своевременной и безопасной эвакуации людей в случае возникновения неконтролируемого горения, и вероятность эвакуации людей из объекта места возгорания. Верное нахождение перечисленных величин является неотъемлемой частью процедуры оценки риска, поскольку оказывает влияние на эффективную и безопасную эвакуацию людей.

От правильности и точности расчета пожарных рисков в полном объеме зависит безопасность людей и материальных ценностей. Во время выполнения расчетов возможно возникновение некоторых трудностей:

- необычная и замысловатая архитектура и планировка объекта, при помощи которых возрастает количество опасных факторов, время эвакуации, возможные сценарии развития пожара;
- трата большого количества времени на подготовку расчетов для объекта защиты с многочисленным присутствием в нем людей;
- потребность в подборе строительных материалов с требуемыми классами горючести, сертификатами пожарной безопасности для отделки путей эвакуации, помещений общего пользования.

Определенные затруднения также могут возникать вследствие отсутствия действующих нормативных документов для проектируемого здания. В такой ситуации расчет пожарных рисков производится совместно с разработкой специальных технических условий.

При расчете рассматриваются такие сценарии пожара, при которых реализуются нежелательные обстоятельства и последствия для обеспечения безопасности людей. Примером сценариев с наихудшими условиями пожара служат сценарии, характеризующиеся наиболее затрудненными условиями эвакуации людей (п. 7 [12]) [2].

При выборе сценариев пожара не берется в расчет наступление неблагоприятных последствий при пожаре – причинение вреда жизни и здоровью человека. В результате этого, несмотря на обеспечение своевременной эвакуации людей до наступления критических значений

опасных факторов пожара – отсутствие последствий при пожаре, производится расчет пожарного риска, но при этом угрозы нет.

Рассмотрена частота возникновения пожара, которая часто не рассчитывается, а принимается равной $4 \cdot 10^{-2}$, не учитывая специфику здания и статистические данные. Коэффициент вероятности нахождения людей в здании указан только для лиц, временно пребывающих в здании, не учитывает персонал, который находится в здании круглосуточно. Недостатком также является отсутствие особенностей расчета в ночное время суток.

Допустимый уровень пожарного риска равен 10^{-6} , но по статистическим данным, приведенным на официальном сайте МЧС, это значение намного больше, чем допустимый уровень, указанный в Техническом регламенте [8]. Соответственно, существующий метод расчета пожарного риска не учитывает все аспекты пожаробезопасности объекта.

Обращая внимание на статистические данные за 2015 г. одной из основных причин высокой смертности на пожарах является ночное время суток, состояние сонливости и недостаточная освещенность. В методике расчета пожарного риска рассматривается самый жаркий период года, обращая внимание на статистику, видно, что в зимнее время количество пожаров выше. Таким образом, в методике недостаточно показателей для эффективной и точной оценки пожарного риска, таких как: время и температурный передел разрушения в помещении пожара остекления, стадии самозатухания пожара или снижение концентрации кислорода до прекращения горения [14]. Помимо этого, в методике не отражен перечень исходных данных: верхней одежды, начальной температуры в помещении, наличие деревянных завес и конструкций, наружного водоснабжения, средств индивидуальной защиты, средств спасения и самоспасения и т.д. [15].

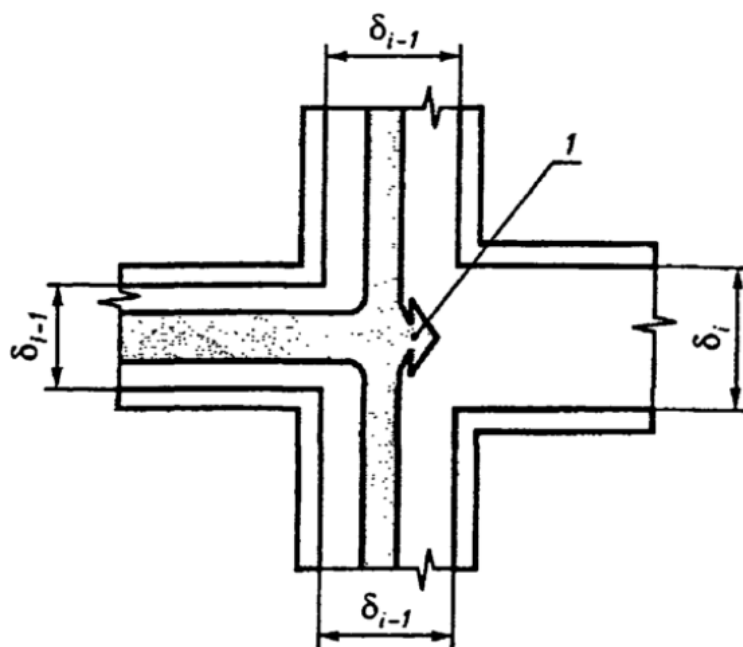
В ходе изучения методики расчета пожарного риска для зданий и сооружений различных классов функциональной пожарной опасности и

вышеперечисленной литературы выявлены некоторые недостатки существующей методики расчета, которые не помогают снизить уровень пожарной опасности.

В соответствии с методикой расчета пожарного риска по Приказу МЧС от 30.06.2009 № 382 утверждено три модели эвакуации людей из здания при пожаре [12]:

- упрощенная аналитическая модель [16];
- имитационно-стохастическая модель [17];
- математическая модель индивидуально-поточного движения [18, 19].

Объектом моделирования в упрощенной и имитационной моделях является поток людей, а в индивидуально-поточной – человек [20]. На рисунках 2–4 представлены слияние людских потоков, изменения состояний людского потока в последовательные моменты времени, координатная схема размещения людей на путях эвакуации.



1 — начало участка i

Рисунок 2. Слияние людских потоков

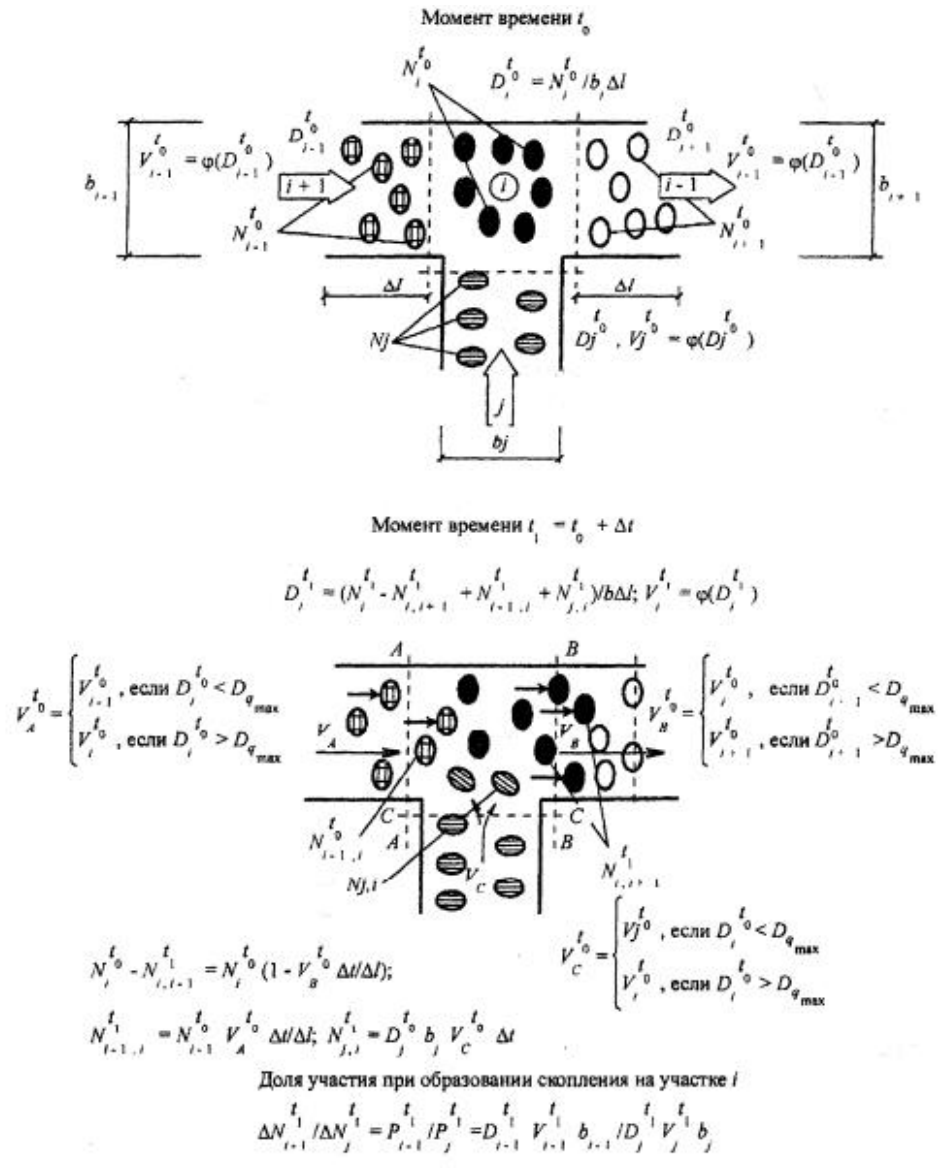


Рисунок 3. Изменения состояний людского потока в последовательные моменты времени

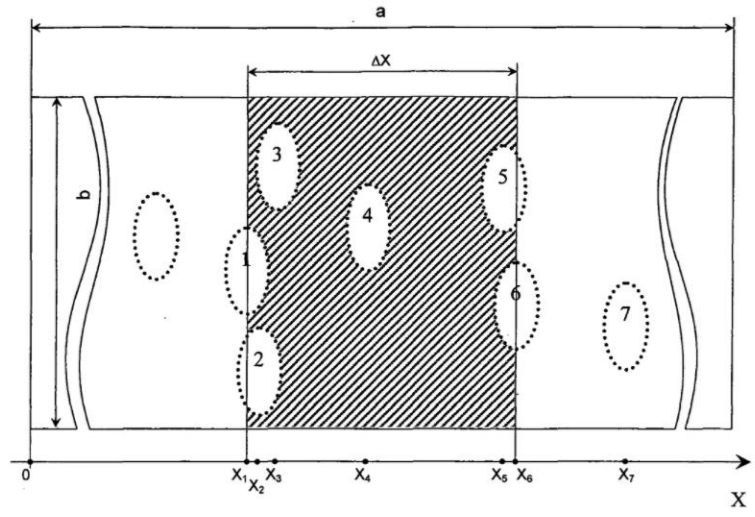


Рисунок 4. Координатная схема размещения людей на путях эвакуации

Все три модели движения людского потока успешно применяются на практике, но наиболее распространенной и часто используемой является упрощенная аналитическая модель, поскольку она учитывает все наихудшие ситуации, которые могут возникнуть в процессе эвакуации и является более простой в применении [21].

Одной из основных задач любых объектов является осуществление безопасного рабочего процесса, своевременной эвакуации.

Не составляет исключения и образовательное учреждение, в котором основой являются обеспечение безопасных условий для осуществления учебного процесса и защита обучающихся и работников.

Безопасность в образовательных учреждениях зависит от многих факторов, в том числе и от степени износа основных фондов, и от сложных процессов в самой системе образования [5].

Особую опасность для обучающихся и персонала образовательных учреждений представляют чрезвычайные ситуации с быстроразвивающимися поражающими факторами, такие как пожары.

Основными причинами возникновения пожаров являются нарушение правил монтажа и эксплуатации электрооборудования, их неудовлетворительное состояние, а также строительно-монтажные работы, поджоги, неосторожное обращение с огнем.

Особое значение для образовательного учреждения имеет внедрение эффективного противопожарного режима, т.е. правил поведения людей, порядок организации учебного процесса и содержание классов (помещений) [5].

Изучая статистику количества пожаров в Российской Федерации за период 2015–2019 гг., можно обнаружить, что динамики возникновения пожаров, количество погибших и раненных имеют положительную тенденцию, а именно снижаются, но ущерб при этом увеличивается. Из статистики, представленной пожарными частями и на официальном сайте МЧС, можно сделать вывод, что несмотря на сокращение количества

пожаров уровень гибели людей вследствие возникновения возгорания остается недопустимо высоким [15].

Статистика пожаров позволяет оценить влияние различных условий, приводящих к гибели людей в результате пожара. Эти жертвы можно предотвратить с помощью профилактики пожаров и противопожарной пропаганды.

Следовательно, можно сделать вывод, что установленный Техническим Регламентом уровень пожарного риска, равный 10^{-6} в год, достигается только при теоретических расчетах по утвержденной методике. Но если принять во внимание статистические данные, предоставленные пожарными частями и МЧС, оказывается, что уровень пожарного риска на несколько порядков выше, что позволяет сделать вывод о наличии недостатков выбранного способа расчета пожарных рисков.

Наиболее эффективную защиту людей обеспечивает грамотная информированность о правилах поведения при пожаре и организованность при эвакуации. Расчет пожарного риска должен полностью обеспечивать пожарную безопасность людей, имущества и объектов [22].

Преимуществом применения трехмерного моделирования являются наглядный контроль и мониторинг подконтрольных объектов, более точное представление различных вариантов эвакуации людей, приведенных на рисунках 5, 6.

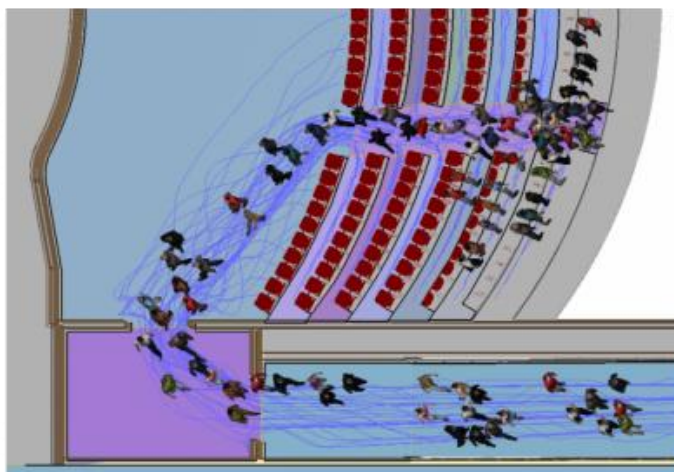


Рисунок 5. Моделирование эвакуации из общественного здания

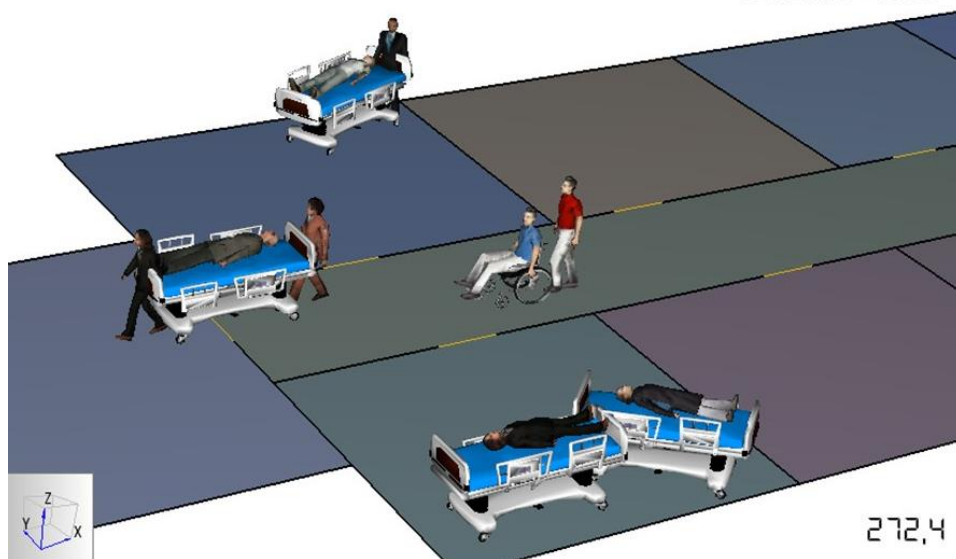


Рисунок 6. Моделирование эвакуации из лечебного учреждения

Применение трехмерного моделирования в задачах расчета и визуализации эвакуации при оценке пожарных рисков является эффективным, поскольку при высокой точности моделирования развития пожара и процесса эвакуации людей обеспечивается их качественная и своевременная защита.

Выводы

Определенными трудностями, с которыми можно столкнуться при применении трехмерного моделирования, являются возможные денежные затраты на программное обеспечение, недостаточная квалификация сотрудников, затраты времени на освоение определенных программ.

Однако данный способ расчета пожарного риска является актуальным, эффективным и точным, позволяющим производить необходимые расчеты оперативно, а представление процесса эвакуации является наиболее наглядным, что позволяет своевременно ее осуществлять.

Список используемых источников

1. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (с посл. изм. и доп. от 30.04.2021 г.) // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: <https://base.garant.ru/12161584/> (дата обращения: 10.05.2021).

2. Приказ Росстандарта от 14.07.2020 № 1190 «Об утверждении перечня документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // Кодификация РФ. URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rosstandarta-ot-14.07.2020-N-1190/> (дата обращения: 10.05.2021).

3. Приказ МЧС РФ от 30.06.2009 № 382. «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» (с посл. изм. и доп. от 02.12.2015 г.) // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: <https://base.garant.ru/12169057/> (дата обращения: 11.05.2021).

4. Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (с посл. изм. и доп. от 14.12.2010 г.) // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: <https://base.garant.ru/196118/> (дата обращения: 11.05.2021).

5. Программы для ЭВМ 2018610396 РФ. Программа для расчета параметров пожаров и аварийных разливов нефти / Р.А. Исмаков, Ф.Ш. Хафизов, И.Ф. Хафизов, А.А. Шарафутдинов, Р.Р. Курбанаев, Р.Р. Каримов. 2017661649, Заявлено 14.11.2017; Оpubл. 10.01.2018.

6. Программы для ЭВМ 2018610351 РФ. Программа моделирования и расчета водопенных коммуникаций пожарных автоцистерн / Р.Н. Бахтизин, О.А. Баулин, Ф.Ш. Хафизов, И.Ф. Хафизов, А.А. Шарафутдинов, А.Т. Шайдуллин. 2017661738, Заявлено 14.11.2017; Опубл. 10.01.2018.

7. Программы для ЭВМ 2021610493 РФ. Программа для визуализации и получения аналитического решения многокритериальных задач / Р.Р. Валиев, О.А. Баулин, Ф.Ш. Хафизов, И.Ф. Хафизов, А.А. Альмухаметов, А.А. Шарафутдинов, А.А. Шарафутдинов. 2020667704, Заявлено 25.12.2020; Опубл. 14.01.2021.

8. Gazizov A.M., Kuznetsova O.V., Sharafutdinov A.A., Shaimuhametova K.M. Improvement of Fire Retardant Properties of Wood Materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 919. Article Number 062014. DOI: 10.1088/1757-899X/919/6/062014.

9. Sharafutdinov A.A., Khafizov F.S., Khafizov I.F., Krasnov A.V., Akhmethafizov A.V., Zakirova V.I., Khafizova A.N. Development of a Method for Calculating Fire and Oil Spills Parameters // AIP Conference Proceedings. 2020. Vol. 2216. Issue 1. Article Number 070004. DOI: 10.1063/5.0003843.

10. Sharafutdinov A.A., Timasheva A.Y. Structural and Intelligent Scheme of Navigation System of a Ground-Based Mobile Robot for Forming a Traffic Route // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 860. Article Number 012019. DOI: 10.1088/1757-899X/860/1/012019.

11. Khafizov F.S., Gazizov A.M., Khafizov I.F., Sharafutdinov A.A. Evaluation of the Mobile Simulator for Fire Protection Training // Computer Systems, Applications and Software Engineering (CSASE 2018): Proceedings of the Annual Scientific International Conference. Nizhniy Tagil, Russia. 2018.

12. Устюжанина А.Ю., Ганиева А.А., Шарафутдинов А.А. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на предприятиях нефтехимии с применением геоинформационных технологий // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2016: сб. тр. междунаро. науч.-технич. конф. посвященной 60-летию филиала. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. С. 442-447.

13. Хафизов И.Ф., Кудрявцев А.А., Шевченко Д.И., Шарафутдинов А.А. Проектирование технических средств обучения для специалистов нефтегазового комплекса на основе оптимального множества тренигов // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2016: сб. тр. международ. науч.-технич. конф. посвященной 60-летию филиала. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. С. 366-369.

14. Шарафутдинов А.А., Пономарева Е.А., Егорова Е.С. Особенности применения информационно-ситуационных технологий в области обеспечения комплексной безопасности объектов // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2016. № 1-2 (5). С. 194-196.

15. Абашкин А.А., Карпов А.В., Ушаков Д.В. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». М.: ВНИИПО, 2014. 226 с.

16. Акимов В.А., Быков А.А., Востоков В.Ю., Долгин Н.Н., Кондратьев-Фирсов В.М., Макиев Ю.Д., Малышев В.П. Методики оценки рисков чрезвычайных ситуаций и нормативы приемлемого риска чрезвычайных ситуаций (Руководство по оценке рисков чрезвычайных ситуаций техногенного характера, в том числе при эксплуатации критически важных объектов Российской Федерации) // Проблемы анализа риска. 2007. Т. 4. № 4. С. 368-377.

17. Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М., Пучков В.А., Томаков В.И., Фалеев М.И. Надежность технических систем и техногенный риск. М.: Деловой экспресс, 2002. 367 с.

18. Брушлинский Н.Н. Пожарные риски. Вып. 1. Основные понятия. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2004. 57 с.

19. Капустин В.М., Рудин М.Г., Кудинов А.М. Основы проектирования нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий. М.: Химия, 2012. 437 с.

20. Ягодка Е.А. О проблеме расчета величины индивидуального пожарного риска в зданиях общественного назначения // Системы безопасности: матер. междунаод. науч.-технич. конф. М.: Академия государственной противопожарной службы, 2018. № 27. С. 48-51.

21. Холщевников В.В., Парфёненко А.П. О моделировании эвакуации людей и динамики опасных факторов пожара в целях нормирования эвакуационных путей // Технологии техносферной безопасности. 2014. № 1 (53). URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-1/30-01-14.ttb.pdf> (дата обращения: 12.05.2021).

22. Якуш С.Е., Эсманский Р.К. Анализ пожарных рисков. Часть I: Подходы и методы // Проблемы анализа риска. 2009. Т. 6. № 3. С. 8-27.

References

1. *Federal'nyi zakon ot 22.07.2008 № 123-FZ «Tekhnicheskii reglament o trebovaniyakh pozharnoi bezopasnosti» (s posl. izm. i dop. ot 30.04.2021 g.)* [Federal Law dd. July 22, 2008 No. 123-FZ «Technical Regulations on Fire Safety Requirements» (with the Additions and Amendments of April 30, 2021)]. Informatsionno-pravovoe obespechenie «Garant». Available at: <https://base.garant.ru/12161584/> (accessed 10.05.2021). [in Russian].

2. *Prikaz Rosstandarta ot 14.07.2020 № 1190 «Ob utverzhdenii perechnya dokumentov v oblasti standartizatsii, v rezul'tate primeneniya kotorykh na dobrovol'noi osnove obespechivaetsya soblyudenie trebovanii Federal'nogo zakona ot 22.07.2008 № 123-FZ «Tekhnicheskii reglament o trebovaniyakh pozharnoi bezopasnosti»* [Rosstandart Order dd. July 14, 2020 No. 1190 «On Approval of the List of Documents in the Field of Standardization, as a Result of Which, on a Voluntary Basis, Compliance with the Requirements of Federal Law of July 22, 2008 No. 123-FZ «Technical Regulations on Fire Safety Requirements» is Ensured]. Kodifikatsiya RF. Available at: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rosstandarta-ot-14.07.2020-N-1190/> (accessed 10.05.2021). [in Russian].

3. *Prikaz MChS RF ot 30.06.2009 № 382. «Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska v zdaniyakh, sooruzheniyakh i stroeniyakh razlichnykh klassov funktsional'noi pozharnoi opasnosti» (s posl. izm. i dop. ot 02.12.2015 g.)* [Order of the EMERCOM of the Russian Federation dd. June 30, 2009 No. 382. «On Approval of the Methodology for Determining the Calculated Values of Fire Risk in Buildings, Structures and Structures of Various Classes of Functional Fire Hazard» (with the Additions and Amendments of December 02, 2015)]. Informatsionno-pravovoe obespechenie «Garant». Available at: <https://base.garant.ru/12169057/> (accessed 11.05.2021). [in Russian].

4. *Prikaz MChS RF ot 10.07.2009 № 404 «Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh ob"ektakh» (s posl. izm. i dop. ot 14.12.2010 g.)* [Order of the EMERCOM of the Russian Federation dd. July 10, 2009 No. 404 «On Approval of the Methodology for Determining the Calculated Values of Fire Risk at Production Facilities» (with the Additions and Amendments of December 14, 2010)]. Informatsionno-pravovoe obespechenie «Garant». Available at: <https://base.garant.ru/196118/> (accessed 11.05.2021). [in Russian].

5. Ismakov R.A., Khafizov F.Sh., Khafizov I.F., Sharafutdinov A.A., Kurbanov R.R., Karimov R.R. *Programma dlya rascheta parametrov pozharov i avariinykh rozlivov nefti* [Program for Calculating the Parameters of Fires and Emergency Oil Spills]. Computer Program RF, No. 2018610396, 2018. [in Russian].

6. Bakhtizin R.N., Baulin O.A., Khafizov F.Sh., Khafizov I.F., Sharafutdinov A.A., Shaidullin A.T. *Programma modelirovaniya i rascheta vodopennykh kommunikatsii pozharnykh avtotsistern* [Program for Modeling and Calculating Water-Foam Communications for Fire-Fighting Tankers]. Computer Program RF, No. 2018610351, 2018. [in Russian].

7. Valiev R.R., Baulin O.A., Khafizov F.Sh., Khafizov I.F., Almukhametov A.A., Sharafutdinov A.A., Sharafutdinov A.A. *Programma dlya vizualizatsii i polucheniya analiticheskogo resheniya mnogokriterial'nykh zadach* [A Program for Visualization and Obtaining Analytical Solutions for Multicriteria Problems]. Computer Program RF, No. 2021610493, 2021. [in Russian].

8. Gazizov A.M., Kuznetsova O.V., Sharafutdinov A.A., Shaimuhametova K.M. Improvement of Fire Retardant Properties of Wood Materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Vol. 919, Article Number 062014. DOI: 10.1088/1757-899X/919/6/062014.

9. Sharafutdinov A.A., Khafizov F.S., Khafizov I.F., Krasnov A.V., Akhmethafizov A.V., Zakirova V.I., Khafizova A.N. Development of a Method for Calculating Fire and Oil Spills Parameters. *AIP Conference Proceedings*, 2020, Vol. 2216, Issue 1, Article Number 070004. DOI: 10.1063/5.0003843.

10. Sharafutdinov A.A., Timasheva A.Y. Structural and Intelligent Scheme of Navigation System of a Ground-Based Mobile Robot for Forming a Traffic Route. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Vol. 860, Article Number 012019. DOI: 10.1088/1757-899X/860/1/012019.

11. Khafizov F.S., Gazizov A.M., Khafizov I.F., Sharafutdinov A.A. Evaluation of the Mobile Simulator for Fire Protection Training. *Proceedings of the Annual Scientific International Conference «Computer Systems, Applications and Software Engineering (CSASE 2018)»*. Nizhniy Tagil, Russia. 2018.

12. Ustyuzhanina A.Yu., Ganieva A.A., Sharafutdinov A.A. Prognozirovaniye chrezvychaynykh situatsii na predpriyatiyakh neftekhimii s primeneniem geoinformatsionnykh tekhnologii [Prediction of Emergency for Petrochemical Plants Using Information Technology]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii posvyashchennoi 60-letiyu filiala «Sovremennye tekhnologii v neftegazovom dele – 2016»* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference Dedicated to the 60th Anniversary of the Branch «Modern Technologies in Oil and Gas Business – 2016»]. Ufa, UGNTU Publ., 2016, pp. 442-447. [in Russian].

13. Khafizov I.F., Kudryavtsev A.A., Shevchenko D.I., Sharafutdinov A.A. Proektirovanie tekhnicheskikh sredstv obucheniya dlya spetsialistov neftegazovogo kompleksa na osnove optimal'nogo mnozhestva trenigov [Designing Technical Training for Specialists of Oil and Gas Complex on the Basis of the Optimal Number of Trainings]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii posvyashchennoi 60-letiyu filiala «Sovremennye tekhnologii v neftegazovom dele – 2016»* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference Dedicated to the 60th Anniversary of the Branch «Modern Technologies in Oil and Gas Business – 2016»]. Ufa, UGNTU Publ., 2016, pp. 366-369. [in Russian].

14. Sharafutdinov A.A., Ponomareva E.A., Egorova E.S. Osobennosti primeneniya informatsionno-situatsionnykh tekhnologii v oblasti obespecheniya kompleksnoi bezopasnosti ob"ektov [Features of the Use of Information and Situational Technologies in the Field of Ensuring the Integrated Security of Facilities]. *Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidatsii posledstviy chrezvychainykh situatsii – Safety Issues in Disaster Management*, 2016, No. 1-2 (5), pp. 194-196. [in Russian].

15. Abashkin A.A., Karpov A.V., Ushakov D.V. *Posobie po primeneniyu «Metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska v zdaniyakh, sooruzheniyakh i stroeniyakh razlichnykh klassov funktsional'noi pozharnoi opasnosti»* [Manual for the Application of «Methods for Determining the Calculated Values of Fire Risk in Buildings, Structures and Structures of Various Classes of Functional Fire Hazard»]. Moscow, VNIPO Publ., 2014. 226 p. [in Russian].

16. Akimov V.A., Bykov A.A., Vostokov V.Yu., Dolgin N.N., Kondratev-Firsov V.M., Makiev Yu.D., Malyshev V.P. Metodiki otsenki riskov chrezvychainykh situatsii i normativy priemlegomogo riska chrezvychainykh situatsii (Rukovodstvo po otsenke riskov chrezvychainykh situatsii tekhnogennogo kharaktera, v tom chisle pri ekspluatatsii kriticheski vazhnykh ob"ektov Rossiiskoi Federatsii) [Emergency Risk Assessment Methods and Risk Standards for Emergency Situations (Manual for the Assessment of Risks of Technological Emergencies Including Those Associated with the Operation of Critical Infrastructures in the Russian Federation)]. *Problemy analiza riska – Issues of Risk Analysis*, 2007, Vol. 4, No. 4, pp. 368-377. [in Russian].

17. Akimov V.A., Lapin V.L., Popov V.M., Puchkov V.A., Tomakov V.I., Faleev M.I. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyi risk* [Reliability of Technical Systems and Technogenic Risk]. Moscow, Delovoi ekspres Publ., 2002. 367 p. [in Russian].

18. Brushlinskii N.N. *Pozharnye riski. Vyp. 1. Osnovnye ponyatiya* [Fire Risks. Issue 1. Basic Concepts]. Moscow, FGU VNIPO MChS Rossii Publ., 2004. 57 p. [in Russian].

19. Kapustin V.M., Rudin M.G., Kudinov A.M. *Osnovy proektirovaniya neftepererabatyvayushchikh i neftekhimicheskikh predpriyatii* [Fundamentals of the Design of Oil Refineries and Petrochemical Plants]. Moscow, Khimiya Publ., 2012. 437 p. [in Russian].

20. Yagodka E.A. O probleme rascheta velichiny individual'nogo pozharnogo riska v zdaniyakh obshchestvennogo naznacheniya [About the Problem of Calculation of Individual Fire Risk in Public Buildings]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Sistemy bezopasnosti»* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference «Safety Systems»]. Moscow, Akademiya gosudarstvennoi protivopozharnoi sluzhby Publ., 2018, No. 27, pp. 48-51. [in Russian].

21. Kholshchevnikov V.V., Parfenenko A.P. O modelirovanii evakuatsii lyudei i dinamiki opasnykh faktorov pozhara v tselyakh normirovaniya evakuatsionnykh putei [About Modeling of Evacuation of People and Dynamics of Fire Hazards in Purpose of Normalization Evacuation Routes]. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti – Technology of Technosphere Safety*, 2014, No. 1 (53). URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-1/30-01-14.ttb.pdf> (accessed 12.05.2021). [in Russian].

22. Yakush S.E., Esmanskii R.K. Analiz pozharnykh riskov. Chast' I: Podkhody i metody [Analysis of Fire Risks. Part I: Approaches and Methods]. *Problemy analiza riska – Issues of Risk Analysis*, 2009, Vol. 6, No. 3, pp. 8-27. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Аmineва Лилия Рустамовна, студент кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Lilya R. Amineva, Student of Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: aminevalr99@mail.ru

Валиуллина Регина Азаматовна, студент кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Regina A. Valiullina, Student of Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: valiregaz03@gmail.com

Шарафутдинов Азат Амирзагитович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Azat A. Sharafutdinov, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: azat_sharaf@mail.ru