

DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-8-28-37

<sup>1,\*</sup>Глуханов А.С., <sup>2</sup>Семейкин А.Ю.<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет<sup>2</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

\*E-mail: promo19\_78@mail.ru

## РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЖАРНОГО РИСКА ДЛЯ КРУПНЫХ СКЛАДСКИХ КОМПЛЕКСОВ

**Аннотация.** Целью исследования является оценка соответствия крупного складского комплекса требованиям пожарной безопасности, проведения анализа уровня пожарной опасности. Определение пожарного риска основано на вычислении значений, отражающих пожарную опасность для рассматриваемого объекта. Полученные в результате расчетов данные сопоставляются с предельными значениями, определенными в нормативных документах. Вычисленные параметры пожарного риска представляют собой количественное выражение вероятности возникновения пожара на объекте, показывают возможные последствия для людей, находящихся в здании, и сохранности материальных ресурсов. В статье представлен метод для вычисления количественных индикаторов, характеризующих уровень пожарной опасности для больших складских зданий. Используемый подход предназначен для предоставления возможности достоверной оценки вероятной угрозы появления и развития пожара в пределах крупного складского комплекса. Детально разбираются параметры, оказывающие влияние на образование пожарной опасности, такие как архитектурно-планировочные особенности, пожарная нагрузка, средства пожарной безопасности и прочие факторы. Отдельное значение придается учету индивидуальных характеристик складских сооружений, включая широкий ассортимент складываемых товаров, частоту грузовых операций и присутствие участков с увеличенной пожарной уязвимостью. Итоги, полученные в результате анализа пожарного риска, могут применяться для создания и реализации действенных мероприятий по предотвращению возгораний, гарантированию безопасности персонала и сохранности материальных ресурсов на складских объектах. Предлагаемый подход дает возможность усовершенствовать расходы на пожарную безопасность объекта за счет выбора наиболее целесообразных и аргументированных решений. Автором предложены дополнительные противопожарные мероприятия для обеспечения противопожарных мероприятий в складском комплексе.

**Ключевые слова:** оценка пожарного риска, крупный складской комплекс, пожарная безопасность, индивидуальный пожарный риск, опасные факторы пожара, обеспечение противопожарной безопасности.

**Введение.** Значительный складской комплекс является собой логистический хаб, спроектированный для управления большими объемами товарного движения. Эти постройки, занимающие площадь более 5000 квадратных метров, представляют собой сложную систему специализированных зон. Обширные пожары, аналогичные тем, что произошли на складах компаний Ozon в Московском регионе и Wildberries в Санкт-Петербурге, влекут за собой серьезные материальные убытки, наносят ущерб экологии и вызывают широкий общественный отклик.

Оценка индивидуального пожарного риска на крупных складских комплексах представляет собой многогранный процесс, направленный на выявление, анализ и минимизацию потенциальных угроз возникновения и распространения пожара. Этот процесс включает в себя детальное обследование объекта, изучение его конструктивных особенностей, планировки, внутренней отделки, а также анализ используемого оборудования и технологических процессов. Особое внимание уделяется наличию и состоянию систем

противопожарной защиты, таких как автоматические пожарные сигнализации, системы дымоудаления, пожаротушения и внутреннего противопожарного водопровода [1, 2].

Ключевым этапом в оценке пожарного риска является идентификация и анализ источников возможных возгораний. Анализируются сценарии развития пожара, его потенциальное распространение по территории комплекса, скорость образования опасных факторов (температуры, дыма, токсичных продуктов горения) [3, 4]. Проводится оценка степени возможного материального ущерба, угрозы для жизни и здоровья людей, а также воздействия на окружающую среду. Использование специализированного программного обеспечения и моделирования позволяет более точно спрогнозировать развитие пожарной ситуации [3, 4].

На основании полученных данных разрабатываются конкретные мероприятия по снижению пожарного риска [5, 6]. Это может включать в себя разработку и внедрение дополнительных

мер противопожарной безопасности, совершенствование системы обучения персонала правилам пожарной безопасности, оптимизацию процессов хранения и транспортировки грузов, а также мероприятия по улучшению огнестойкости строительных конструкций. Регулярное проведение аудитов и пересмотр оценки рисков обеспечивает поддержание высокого уровня пожарной безопасности объекта в долгосрочной перспективе.

**Постановка задачи.** Используемый метод для вычисления количественных показателей, характеризующих уровень пожарной опасности больших складских зданий, основывается на комплексном анализе множества факторов, влияющих на возникновение и распространение пожара. Результатом применения используемый метода является получение количественных оценок уровня пожарной опасности для каждого конкретного складского здания. Эти оценки могут быть использованы для разработки и реализации эффективных мер по предотвращению пожаров и минимизации их последствий, служить основой для принятия управленческих решений, направленных на повышение уровня пожарной безопасности складских помещений.

**Метод исследования.** Для изучения прогрессирования пожара использовалась полевая модель, реализованная в программном обеспечении FDS (Fire Dynamic Simulator) [7]. Процесс эвакуации смоделирован с применением индивидуально-поточной модели перемещения людей, реализованной в программном комплексе Fenix+ (Подтверждено заключением Академии ГПС МЧС РФ №34/25-2013 от 01.04.2013).

Для определения степени вероятности наступления пожароопасной ситуации используется индикатор риска летального исхода, обусловленного воздействием опасных факторов пожара [8]. Этот индикатор включает в себя:

- возможность гибели сотрудников, присутствующих на территории производственного объекта;
- возможность гибели лиц, временно находящихся на объекте;

$$P_{\Sigma, \Pi ij} = \begin{cases} \frac{0,8 \cdot \tau_{\text{бл} ij} - t_{\Pi ij}}{\tau_{\text{н.э.}}}, & \text{если } t_{\Pi ij} < 0,8 \cdot \tau_{\text{бл} ij} < t_{\Pi ij} + \tau_{\text{н.э.} ij} \\ 0,999, & \text{если } t_{\Pi ij} + \tau_{\text{н.э.} ij} \leq 0,8 \cdot \tau_{\text{бл} ij} \\ 0,001, & \text{если } t_{\Pi ij} \geq 0,8 \cdot \tau_{\text{бл} ij} \end{cases} \quad (4)$$

где  $\tau_{\text{бл} ij}$  – интервал, измеряемый с момента инициации  $j$  сценария пожара до момента, когда эвакуационные маршруты становятся недоступны, мин;

$t_{\Pi ij}$  – временной интервал для осуществления полной эвакуации персонала из  $i$  участка при возникновении пожара в соответствии с  $j$  сценарием

– возможность гибели населения, проживающего в окрестностях объекта.

Оценка вероятного риска  $P_i$  ( $\text{год}^{-1}$ ) для конкретного помещения склада определяется с использованием следующего выражения (1) [8]:

$$P(a) = \sum_{j=1}^J Q_{dj}(a) (Q_j) \quad (1)$$

где  $J$  – число вероятных вариантов развития пожара в пределах помещения склада;

$Q_j$  – частоту возникновения определенного сценария развития пожара,  $\text{год}^{-1}$ ;

$Q_{dj}(a)$  – вероятность причинения вреда здоровью человека, находящегося в пространстве  $i$ , при реализации пожарной ситуации  $j$ .

Условная вероятность нанесения ущерба здоровью человека под воздействием опасных факторов пожара рассчитывается на основе следующих критериев (2):

$$Q_{dj}(a) = 1 - \prod_{k=1}^h (1 - Q_k \cdot Q_{dk}(a)) \quad (2)$$

где  $h$  – количество анализируемых опасных происшествий;

$Q_k$  – вероятность возникновения опасного происшествия;

$Q_{dk}(a)$  – вероятность нанесения ущерба здоровью человека опасным происшествием.

Оценка возможности благополучной эвакуации определяется выражением (3):

$$P_{\Sigma ij} = 1 - (1 - P_{\Sigma \Pi ij}) \cdot (1 - P_{\Sigma \text{В} ij}) \quad (3)$$

где  $P_{\Sigma \Pi ij}$  – возможность успешной эвакуации сотрудника из  $i$  помещения здания, использующих пути эвакуации;

$P_{\Sigma \text{В} ij}$  – возможность покинуть сотрудником  $i$  пространство посредством путей эвакуации.

Оценка возможности осуществления эвакуации по заданным эвакуационным путям производится с использованием следующей методологии расчета [9, 10]:

развития событий, мин;

$\tau_{\text{н.э.} ij}$  – временной отрезок, охватывающий период от момента начала пожара, соответствующего  $j$  сценарию, до начала активной фазы эвакуации людей из  $i$  участка, мин.

Вероятность  $Dij$  успешной работы противопожарных систем в  $i$  помещении при развитии

пожара по  $j$  варианту развития событий определяется с использованием следующего математического выражения:

$$D_{dj} = 1 - \sum_{k=1}^K (1 - D_{ijk}) \quad (5)$$

где  $K$  – количество имеющихся технических средств, предназначенных для защиты от пожара;

$D_{ijk}$  – вероятность успешного функционирования  $k$  технического средства при реализации  $j$  сценария пожара в  $i$  помещении здания.

Индивидуальный риск  $R_m$  (год<sup>-1</sup>) для сотрудника  $m$ , находящегося в здании, который обусловлен пожарной опасностью, рассчитывается по следующей формуле:

$$R_m = \sum_{i=1}^N P_i \cdot q_{im} \quad (6)$$

где  $P_i$  – уровень потенциальной опасности, измеренный для  $i$  пространства в пределах здания, год<sup>-1</sup>

$q_{im}$  – вероятность присутствия сотрудника в пространстве;

$N$  – общее число помещений в здании.

Расчетное время эвакуации людей из здания устанавливается по времени выхода из него последнего человека.

Перед началом моделирования процесса эвакуации задается схема эвакуационных путей в здании. Все эвакуационные пути подразделяются на эвакуационные участки длиной  $a$  и шириной  $b$ . Эвакуационные участки могут быть горизонтальные и наклонные (лестница вниз, лестница вверх и пандус).

Координата каждого человека в момент времени  $t$  представлена на рис. 1 и определяется по формуле (7):

$$x_i(t) = x_i(t - \Delta t) - V_i(t) \cdot \Delta t, \text{ м}, \quad (7)$$

где  $x_i(t - \Delta t)$  – координата  $i$ -го человека в предыдущий момент времени, м;

$V_i(t)$  – скорость  $i$ -го человека в момент времени  $t$ , м/с;

$\Delta t$  – промежуток времени, с.

Скорость перемещения сотрудника склада  $i$  в момент времени  $t$ , обозначаемая как  $V_i(t)$ , рассчитывается, исходя из данных, представленных в [8]. Указанная скорость является зависимой величиной, определяемой двумя существенными факторами: концентрацией людского потока в непосредственной близости от индивидуума,  $Di(t)$ , а также параметрами выбранного им маршрута эвакуации.

Объем людского потока, покидающего один эвакуационный участок и направляющегося на

другой за единицу времени, определяется пропускной способностью выхода с конкретного участка, обозначаемой как  $Q_j(t)$ . Данная пропускная способность рассчитывается по следующей формуле [8, 11]:

$$Q_j(t) = q_j(t) \cdot c_j \cdot dt / (f \cdot 60) \text{ чел.}, \quad (8)$$

где  $q_j(t)$  – интенсивность перемещения людского потока, покидающего  $j$  эвакуационный сектор, м/мин;

$c_j$  – ширина эвакуационного проема в рассматриваемой части здания, м;

$dt$  – временной интервал, с;

$f$  – величина поверхности, на которую проецируется силуэт человека в горизонтальной плоскости, м<sup>2</sup>.

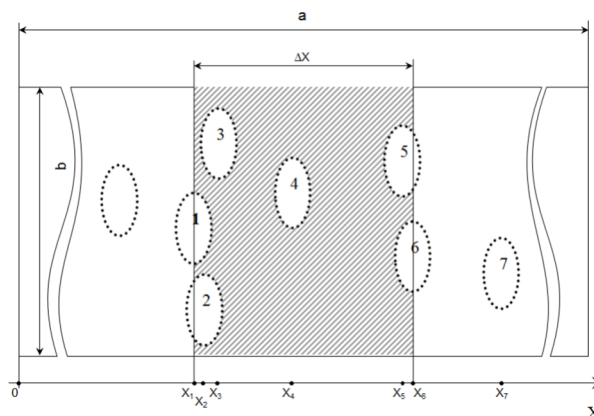


Рис. 1. Координатная схема размещения людей на путях эвакуации

### Исходные данные для проведения расчета по оценке пожарного риска

Для проведения анализа пожарной безопасности в качестве примера выбран универсальный склад, предназначенный для хранения продовольственных и непродовольственных товаров (рис. 2).

Объект отличается следующим набором функциональных возможностей:

- обработка входящих поставок, размещение и содержание разнообразного ассортимента продовольственных товаров в изначальной таре, а также потребительских
- распределение прибывающих партий продукции по категориям;
- формирование заказов в соответствии с запросами клиентов;
- предоставление офисных площадей для осуществления управленческих и административных функций логистического складского комплекса.

Проектируемый объект состоит из 5 блоков разной площади. Степень огнестойкости здания – II. Класс конструктивной пожарной опасности здания – С0. Категория здания по взрывопожарной и пожарной опасности – В. Максимальная отметка высоты здания – не более 24 метров. Пло-

щадь застройки здания – не более 90 000 м<sup>2</sup>. Строительный объем здания – не более 1 500 000 м<sup>3</sup>. Всего людей на объекте – 1534 человек.

Здание разделено на пять пожарных отсеков (ПО) противопожарными стенами 1-го типа. Оценку величины пожарного риска рассмотрим на примере ПО №1 (Блок 5, АБЧ 5).

Показатели ПО №1 (Блок 5, АБЧ 5) - склад с зоной сортировки товаров народного потребления с устройством мезонина с четырехэтажной административно бытовой встройкой:

- класс функциональной пожарной опасности ПО №1 - Ф 5.2;
- класс функциональной пожарной опасности административно-бытовой встройки – Ф4.3;
- административно-бытовой блок состоит из 4 этажей;
- количество ярусов мезонина - не более 5.
- площадь этажа в пределах пожарного отсека 10400 м<sup>2</sup>.
- количество людей на объекте – 310 человек.

*Сценарий пожара* (пожарный отсек № 1) – пожар возникает в помещении сортировочного центра, в непосредственной близости к эвакуационному выходу. Максимальная фактическая площадь горения не менее 366,38 м<sup>2</sup>.

При расчете приняты следующие условия [11, 12, 13]:

- для обеспечения безопасности объекта необходимо предусмотреть автоматизированные системы пожаротушения и сигнализации, систему оповещения и управления эвакуацией людей при возникновении пожара не ниже второго типа, а также системы вентиляции для удаления дыма;
- контрольные точки, в которых будут фиксироваться значения опасных факторов пожара и расчетное время эвакуации, расположены непосредственно на путях эвакуации людей;
- моделирование сценариев пожара проведено с помощью дифференциальной модели.

В таблице 1 представлены параметры, характеризующие пожарную нагрузку.

Таблица 1

Параметры, характеризующие пожарную нагрузку

| Параметр                                      | Единица измерения       | Значение |
|-----------------------------------------------|-------------------------|----------|
| Низшая теплота сгорания                       | кДж/кг                  | 14000    |
| Линейная скорость распространения пламени     | м/с                     | 0,042    |
| Удельная массовая скорость выгорания          | кг/(м <sup>2</sup> • с) | 0,0129   |
| Коэффициент полноты сгорания                  | —                       | 0,93     |
| Удельная мощность                             | кВт/м <sup>2</sup>      | 167,958  |
| Дымообразующая способность                    | Нп • м <sup>2</sup> /кг | 53       |
| Потребление кислорода (O <sub>2</sub> )       | кг/кг                   | 1,161    |
| Выделение углекислого газа (CO <sub>2</sub> ) | кг/кг                   | 0,642    |
| Выделение угарного газа (CO)                  | кг/кг                   | 0,0317   |
| Выделение хлористого водорода (HCl)           | кг/кг                   | 0        |

Критическое время по каждому из опасных факторов пожара определяется как время достижения этим фактором предельно допустимого значения на путях эвакуации на высоте 1,7 м от пола.

Критически допустимые показатели, определяющие опасные факторы пожара, установлены на следующих уровнях [14]:

- предел высокой температуры окружающей среды – 70 °С;
- интенсивность теплового излучения не должна превышать 1400 Вт/м<sup>2</sup>;
- минимальная дистанция видимости в задымленной среде – 20 м;
- концентрация кислорода в воздухе не должна опускаться ниже – 0,226 кг/м<sup>3</sup>;
- предельно допустимая концентрация токсичных газообразных веществ при горении: CO<sub>2</sub> – 0,11 кг/м<sup>3</sup>; CO – 1,16 · 10<sup>-3</sup> кг/м<sup>3</sup>; HCl – 23 · 10<sup>-6</sup> кг/м<sup>3</sup>.

**Результаты научного исследования.** При выполнении расчета проводилось моделирование динамики развития пожара в течение 590 с в пределах блока 5 (пожарного отсека №1) в различные моменты времени от начала возникновения пожара. Зона активного горения представлена на рис. 3.

На рисунке 4 продемонстрирована динамика распространения дыма в пределах блока 5 (пожарный отсек №1) в различные моменты времени от начала возникновения пожара. На 4 минуте пожара происходит значительное увеличение плотности дыма, что существенно затрудняет видимость и ориентирование в пространстве. Дым заполняет пространство блока 5, достигая соседние помещения. Температура в эпицентре пожара резко возрастает, что приводит к ускорению процесса пиролиза и усилению дымообразования. К шестой минуте после начала по-



жара задымление охватывает весь ПО №1, ограничивая возможность безопасной эвакуации.

Концентрация токсичных веществ в дыме достигает опасных для жизни значений.

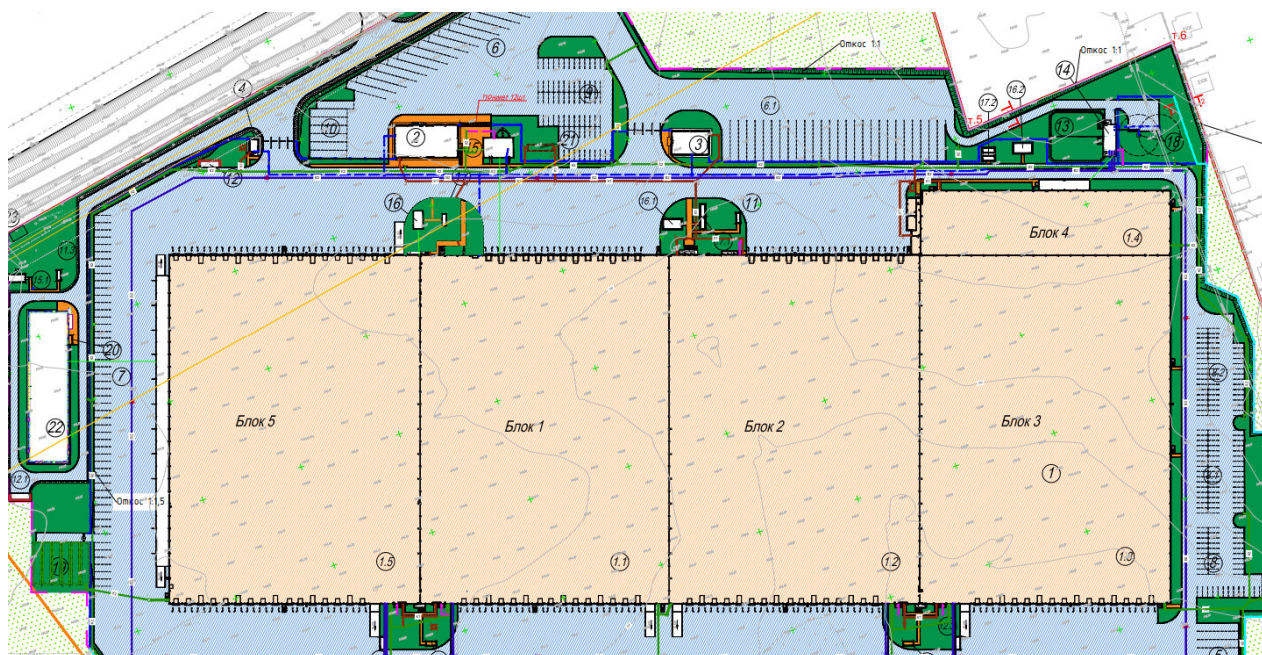


Рис. 2. План универсального склада продовольственных и непродовольственных товаров

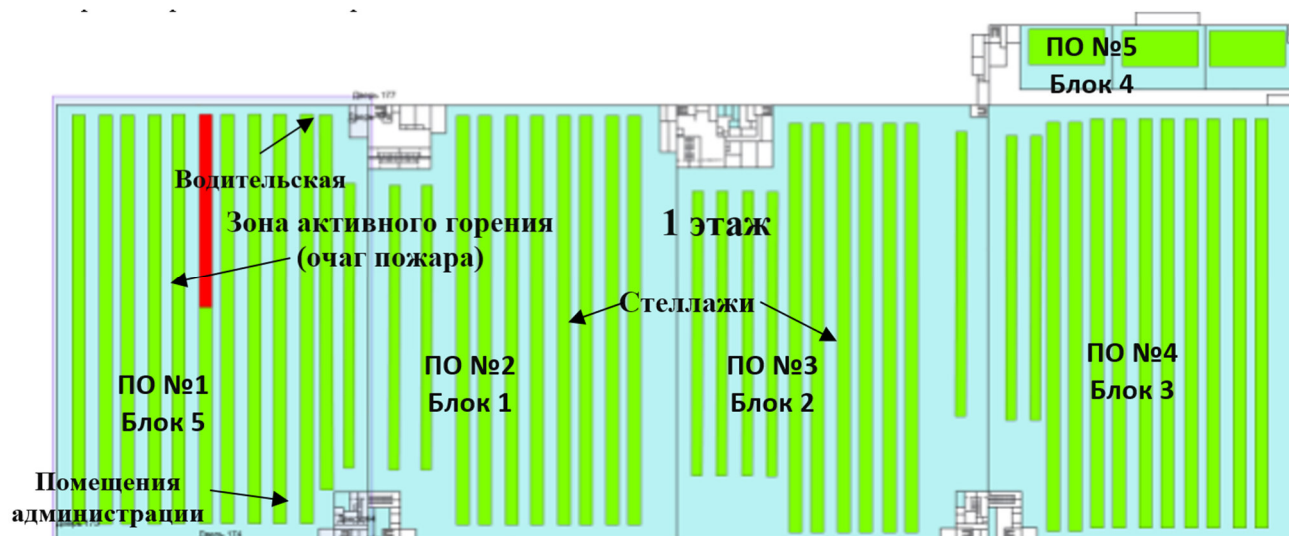


Рис. 3. Пожарная модель

Скорость повышения температуры, а также достигаемые максимальные значения, напрямую зависят от ряда факторов, в частности, от характеристик горючего материала, интенсивности притока кислорода и геометрии замкнутого пространства, в котором происходит возгорание [15]. Повышение температуры газов на разных промежутках времени с момента возникновения возгорания представлено на рис. 5. Анализ представленных данных позволяет установить закономерности, характеризующие динамику нарастания температурных показателей на различных

этапах развития пожара.

Видимость на разных промежутках времени представлена на рисунке 6. В первые минуты после возникновения возгорания в блоке 5 (ПО №1) видимость снижается. Это обусловлено интенсивным выделением дыма, образующегося в результате термического разложения различных материалов, присутствующих в помещении. Дым быстро заполняет пространство, рассеивая свет и значительно снижая дальность видимости.

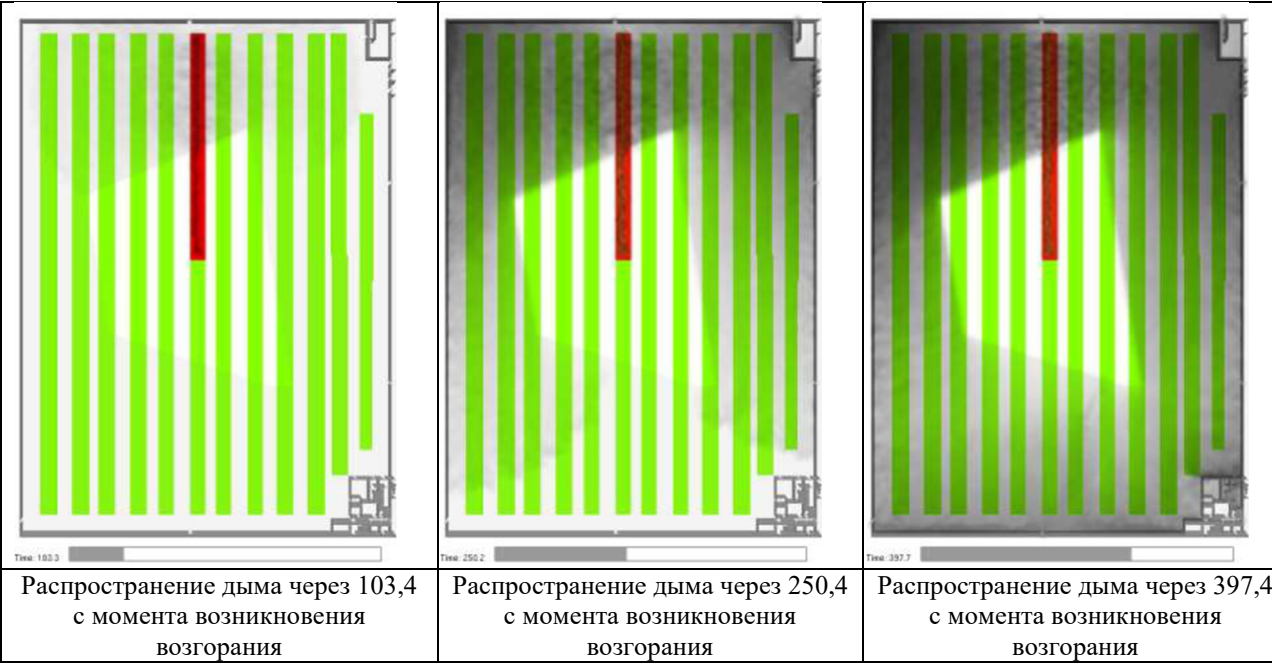


Рис. 4. Распространение дыма в блоке 5 (ПО №1) на разных промежутках времени

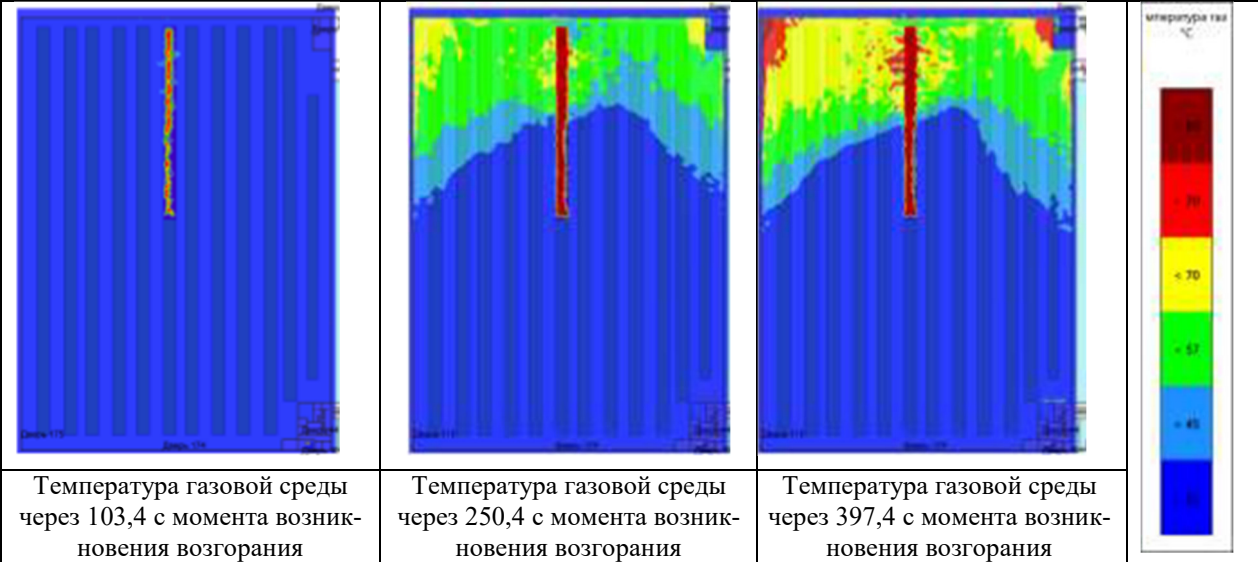


Рис. 5. Повышение температуры газов в блоке 5 (ПО №1) на разных промежутках времени

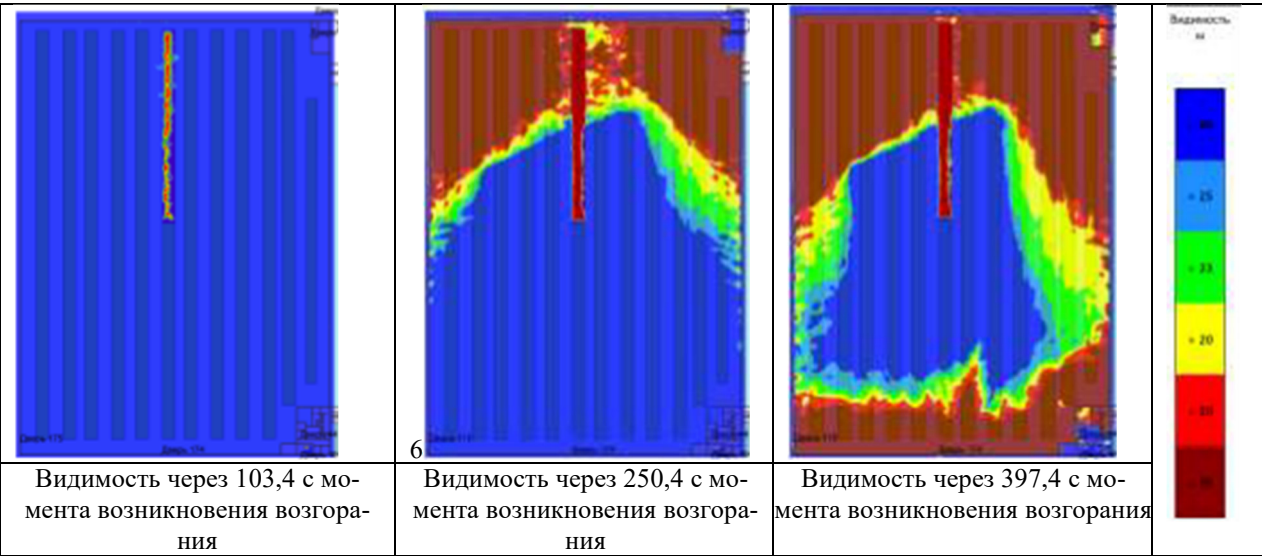


Рис. 6. Видимость в блоке 5 (ПО №1) на разных промежутках времени с момента возникновения возгорания



В таблице 2 показано через какое время после начала пожара в блоке 5 (ПО №1) достига-

ются предельно допустимые значения по каждому из опасных факторов пожара.

Таблица 2

### Время достижения критических параметров опасных факторов пожара в зоне 5 (ПО №1)

| Помещение               | Температура газов (70 °C) | Видимость | O <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | CO  | HCl | Тепловой поток |
|-------------------------|---------------------------|-----------|----------------|-----------------|-----|-----|----------------|
| Водительская            | 557                       | 348,7     | 487            | 493             | 501 | 515 | 549            |
| Сортировочный центр     | >590                      | 252,9     | 459            | 465             | 476 | 496 | >590           |
| Помещение администрации | >590                      | 367,8     | 502            | 518             | 526 | 535 | >590           |

Анализ этих данных позволяет установить критические временные интервалы для активации систем противопожарной защиты и эвакуации персонала. Временная задержка до достижения предельных значений по температуре и концентрации токсичных продуктов горения дает определенный запас для принятия мер по локализации пожара и минимизации ущерба. Однако, следует учитывать, что развитие пожара является динамическим процессом, и скорость нарастания опасных факторов может значительно увеличиваться при определенных условиях, таких как наличие легковоспламеняющихся материалов или нарушение работы систем вентиляции.

Временная задержка до достижения предельных значений по температуре и концентрации токсичных продуктов горения дает определенный запас для принятия мер по локализации

пожара и минимизации ущерба. Однако, следует учитывать, что развитие пожара является динамическим процессом, и скорость нарастания опасных факторов может значительно увеличиваться при определенных условиях, таких как наличие легковоспламеняющихся материалов или нарушение работы систем вентиляции [15–17].

Результаты определения вероятности эвакуации по эвакуационным путям представлены в таблице 3. Анализ данных позволяет установить, что ключевым фактором, влияющим на успех эвакуации, является соответствие пропускной способности маршрутов потенциальному потоку эвакуируемых лиц. В случаях, когда пропускная способность значительно превышает ожидаемый поток, вероятность успешной эвакуации оценивается как высокая, что отражается в значениях, приближающихся к единице.

Таблица 3

### Значения вероятности эвакуации сотрудников

| Помещение               | Время блокирования, тбл, с | Необходимое время эвакуации, 0,8 тбл, с | Время начала эвакуации, тнэ, с | Время эвакуации, тэ = тнэ + тпр, с | Вероятность эвакуации по эвакуационным путям, Рэ.п. |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Водительская            | >590                       | >472                                    | 30,0                           | 42,6                               | 0,999                                               |
| Сортировочный центр     | 272,9                      | 285,3                                   | 30,0                           | 231,4                              | 0,999                                               |
| Помещение администрации | 322,8                      | 258,2                                   | 30,0                           | 72,6                               | 0,999                                               |

На рис. 7 представлен график, отображающий численность персонала, покинувшего блок 5 (ПО №1) в динамике относительно времени. Полученное графическое отображение иллюстрирует изменение числа эвакуированных из складского блока 5 в заданный период времени. Анализ графика позволяет получить представление об эффективности принятых мер по обеспечению безопасности и оперативной эвакуации персонала.

По результатам расчета получено значение индивидуального риска ( $R_m$ ) для сотрудника в блоке 5 (ПО №1) –  $5,522 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>. Вероятность присутствия сотрудника ( $q_{im}$ ) составила –

$22,82 \cdot 10^{-3}$ .

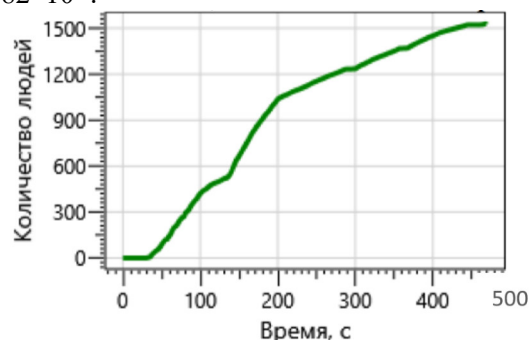


Рис. 7. График отображающий численность персонала, покинувшего блок 5 (ПО №1) с момента возникновения возгорания

**Выводы и рекомендации.** Анализ расчетных данных продемонстрировал, что величина индивидуального пожарного риска остается в пределах допустимого нормативного значения при условии внедрения дополнительных мероприятий, направленных на повышение уровня противопожарной защиты, так как выполняется следующее условие:

$$Rm^{max} = 0,5522 \cdot 10^{-6} \leq Rm^n = 10^{-6}$$

Оценка риска смертельного исхода в результате воздействия опасных факторов пожара проведена с учетом работоспособности систем противопожарной защиты, установленных на рассматриваемом объекте.

Для обеспечения противопожарных мероприятий на складском комплексе необходимо выполнить дополнительные противопожарные мероприятия:

1. Произвести разделение здания складского комплекса на пять отдельных пожарных отсеков посредством установки противопожарных стен первого типа.

2. При определении этажности здания учесть ярусы мезонина, площадь которых на любой отметке превышает 40 % площади этажа здания. Мезонин организовать не более чем в 5 ярусов. Хранение на каждом уровне мезонина не предусматривать высокостеллажным более 5,5 метра.

3. Пожарный отсек разделить на пожарные секции площадью не более 10 400 м<sup>2</sup> одним из следующих способов или их комбинацией: противопожарными перегородками 1-го типа с повышенным пределом огнестойкости не менее EI 90 с противопожарным заполнением проемов.

4. Каждый ярус (уровень) мезонина оборудовать автоматическими установками пожаротушения и сигнализации, внутренним противопожарным водопроводом.

5. Подачу товаров и материалов на уровень хранения допускается предусматривать вертикальными подъемниками с ограждением из негорючих материалов с ненормируемым пределом огнестойкости (например, сетчатое ограждение), в том числе без шахт. Перемещение людей на данных подъемниках исключается.

6. В местах пересечения конвейерными линиями противопожарных стен (противопожарных перегородок), разделяющих пожарные отсеки (секции), проемы следует защищать одним из следующих способов: дренчерной завесой с оросителями, выполненной в одну нитку с каждой из сторон проема; противопожарными шторами с пределом огнестойкости не ниже EI60 с любой из сторон проема.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вагин А.В., Гамаюнов Р.В. Моделирование опасных факторов пожара на объекте складского назначения // Вестник науки №12 (81). 2024. Т. 4. С. 1990–1995. EDN: RWGLDG
2. Беляков Г. И. Пожарная безопасность: учебник для вузов. М.: Издательство Юрайт, 2025. 282 с.
3. Широков Ю.А. Пожарная безопасность на предприятии: учебное пособие для вузов. М.: Лань, 2025. 364 с.
4. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 г. №123-ФЗ.
5. ГОСТ 12.1.004-91. «Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования». М.: Стандартиформ, 2006. 68 С.
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 22 июля 2020 г. №1084 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска».
7. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: методические рекомендации. М.: ВНИИПО, 2003. 35 С.
8. Приказ МЧС России № 533 от 26.06.2024 «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».
9. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учебное пособие. М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.
10. СП 505.1311500.2021 «Расчет пожарного риска. Требования к оформлению».
11. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». М.: ВНИИПО, 2014. 226 с.
12. Глуханов А.С., Цаплин В.В. Расчетные величины пожарного риска при авариях на наружных газопроводах // Промышленное и гражданское строительство. 2022. Вып. 5. С. 50–54. EDN: ARLNKF DOI: 10.33622/0869-7019.2022.05.50-54
13. Беляков Г.И. Пожарная безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях и оказание первой помощи: учебник для вузов. М.: Издательство Юрайт, 2025. 530 с.
14. Собурь С.В. Пожарная безопасность предприятия: курс пожарно-технического минимума: учебно-справочное пособие. М.: Издательство ПожКнига, 2021. 201 с.
15. Горев В.А. Теория горения и взрыва: учебное пособие. М.: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2010. 201 с.



16. Латкин М.А., Степанова М.Н., Бондаренко М.А. Системы противопожарной защиты объекта. Белгород, 2025. 77 с. EDN: XKGCUU

17. Стрельников А.П., Семейкин А.Ю., Лезанко В.А. Разработка информационной системы по учету, анализу и прогнозированию

опасных ситуаций // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2022. № 1 (11). С. 314–319. EDN: RSGMFY

#### Информация об авторах

**Глуханов Александр Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности. E-mail: promo19\_78@mail.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4

**Семейкин Александр Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности. E-mail: semeikin.ay@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 11.12.2025 г.

© Глуханов А.С., Семейкин А.Ю., 2026

<sup>1,\*</sup>*Glukhanov A.S., <sup>2</sup>Semeykin A.Y.*

<sup>1</sup>*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*

<sup>2</sup>*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova*

*\*E-mail: promo19\_78@mail.ru*

## METHOD FOR CALCULATING INDIVIDUAL FIRE RISK FOR LARGE WAREHOUSE COMPLEXES

**Abstract.** *The purpose of the study is to assess the compliance of a large warehouse complex with fire safety requirements and to analyze the level of fire hazard. The determination of fire risk is based on the calculation of values that reflect the fire hazard for the object under consideration. The calculated data is compared with the limit values specified in regulatory documents. The calculated fire risk parameters provide a quantitative assessment of the likelihood of a fire occurring at the facility and its potential consequences for the safety of people and property. Method. The article presents a method for calculating quantitative indicators that characterize the level of fire hazard for large warehouse buildings. The developed method is intended to provide an opportunity for a reliable assessment of the potential threat of fire occurrence and development within a large warehouse complex. The parameters that affect the formation of fire hazards, such as architectural and planning features, fire load, fire safety measures, and other factors, are analyzed in detail. Special attention is given to the individual characteristics of warehouse facilities, including the wide range of stored goods, the frequency of cargo operations, and the presence of areas with increased fire vulnerability. Conclusion. The results of the fire risk analysis can be used to create and implement effective measures to prevent fires, ensure the safety of personnel, and protect the material resources of warehouse facilities. The proposed approach makes it possible to improve the costs of fire safety at the facility by choosing the most appropriate and well-reasoned solutions. The authors have proposed additional fire safety measures to ensure fire safety at the warehouse complex.*

**Keywords:** *fire risk assessment, large warehouse complex, fire safety, individual fire risk, fire hazards, fire safety measures.*

## REFERENCES

1. Vagin A.V., Gamayunov R.V. Modeling of dangerous factors fire at warehouse facility [Modelirovanie opasnykh faktorov pozhara na ob"ekte skladsogo naznacheniya]. Science bulletin. No 12 (81). Vol. 4, 2024. P. 1990–1995. EDN: RWGLDG (rus)

2. Belyakov G.I. Fire safety [Pozharnaya bezopasnost': uchebnik dlya vuzov]. M.: Izdatel'stvo Yurait, 2025. 282 p. (rus)

3. Shirokov Yu.A. Fire safety at enterprises [Pozharnaya bezopasnost' na predpriyatii: uchebnoe posobie dlya vuzov]. M.: Lan', 2025. 364 p. (rus)

4. Federal Law "Technical Regulations on Fire Safety Requirements" [Federal'nyi zakon «Tekhnicheskii reglament o trebovaniyakh pozharnoi bezopasnosti»] dated July 22, 2008, No. 123-FZ. (rus)

5. GOST 12.1.004-91. Occupational safety standards system. Fire safety. [General requirements «Mezhgosudarstvennyi standart. Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharnaya bezopasnost'. Obshchie trebovaniya»]. M.: Standartinform, 2006. 68 p.

6. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1084 dated July 22, 2020, "On the Procedure for Conducting Fire Risk Assessment Calculations" [Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 22 iyulya 2020 g. №1084 «O poryadke provedeniya raschetov po otsenke pozharnogo riska»].(rus)

7. Application of the Field Method of Mathematical Modeling of Indoor Fires: Guidelines [Primenenie polevogo metoda matematicheskogo modelirovaniya pozharov v pomeshcheniyakh: metodicheskie rekomendatsii]. M.: VNIPO, 2003. 35 p. (rus)

8. Order No. 533 of the Russian Ministry of Emergency Situations dated June 26, 2024, "Methodology for Determining Estimated Fire Risk Values at Industrial Facilities" [Prikaz MCHS Rossii № 533 ot 26.06.2024 «Metodika opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh ob"ektakh»]. (rus)

9. Koshmarov Yu.A. Predicting Dangerous Fire Factors in Indoor Environments: A Study Guide [Prognozirovanie opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii: uchebnoe posobie]. M.: Akademiya GPS MVD Rossii, 2000. 118 p. (rus)

10. SP 505.1311500.2021 Fire risk assessment. Requirements for documentation [«Расчет пожарного риска. Требования к оформлению»].(rus)

11. Guidelines for Applying the Methodology for Determining Fire Risk Estimates in Buildings, Structures, and Constructions of Various Functional Fire Hazard Classes [Posobie po primeneniyu «Metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska v zdaniyakh, sooruzheniyakh i stroeniyakh razlichnykh klassov funktsional'noi pozharnoi opasnosti»]. M.: VNIPO, 2014. 226 p. (rus)

12. Glukhanov A.S., Tsaplin V.V. Calculated values of fire risk in case of accidents on external gas pipelines [Расчетные величины пожарного риска при авариях на наружных газопроводах]. Industrial and Civil Engineering [Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo]. 2022. Vol. 5. Pp. 50–54. EDN: ARLNKF DOI: 10.33622/0869-7019.2022.05.50-54 (rus)

13. Belyakov G.I. Fire Safety, Emergency Safety, and First Aid: A Textbook for Universities [Pozharnaya bezopasnost', bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh i okazanie pervoi pomoshchi: uchebnik dlya vuzov]. M.: Izdatel'stvo Yurait, 2025. 530 p. (rus)

14. Sobur' S.V. Enterprise Fire Safety: Fire and Technical Minimum Course: Educational and Reference Guide [Pozharnaya bezopasnost' predpriyatiya: kurs pozharno-tekhnicheskogo minimuma: uchebno-spravochnoe posobie]. M.: Izdatel'stvo PoZHKniga, 2021. 201 p. (rus)

15. Gorev V.A. The theory of combustion and explosion [Teoriya goreniya i vzryva: uchebnoe posobie]. M.: Moskovskii gosudarstvennyi stroitel'nyi universitet, EBS ASV, 2010. 201 p. (rus)

16. Latkin M.A., Stepanova M.N., Bondarenko M.A. Fire protection systems of the facility [Sistemy protivopozharnoi zashchity ob"ekta]. Belgorod, 2025. 77 s. EDN: XKGCUU (rus)

17. Strel'nikov A.P., Semeikin A.YU., Lezhanko V.A. Development of an information system for accounting, analysis and forecasting of hazardous situations [Razrabotka informatsionnoi sistemy po uchetu, analizu i prognozirovaniyu opasnykh situatsii]. Pozharnaya i tekhnosfernaya bezopasnost': problemy i puti sovershenstvovaniya. 2022. No 1 (11). Pp. 314–319. EDN: RSGMFY (rus)

#### *Information about the author*

**Glukhanov Alexander S.**, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Technosphere Safety. E-mail: promo19\_78@mail.ru. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. 4, 2-ya Krasnoarmeyskaya St., Saint Petersburg, 190005, Russia.

**Semeikin, Alexander Yu.**, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Life Safety. E-mail: semeikin.ay@bstu.ru. V.G. Shukhov Belgorod State Technological University. 46, Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia.

*Received 11.12.2025*

#### **Для цитирования:**

Глуханов А.С., Семейкин А.Ю. Разработка имитационных моделей оценки индивидуального пожарного риска для крупных складских комплексов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2026. № 8. С. 28–37. DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-8-28-37

#### **For citation:**

Glukhanov A.S., Semeikin A.Y. Method for calculating individual fire risk for large warehouse complexes. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2026. No. 8. Pp. 28–37. DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-8-28-37