

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Курганский государственный университет»

Кафедра «Экология и безопасность жизнедеятельности»

## **ОЦЕНКА ПОЖАРНЫХ РИСКОВ**

Методические указания

к выполнению практических занятий для магистрантов

направления 20.04.01 «Техносферная безопасность»

Курган 2019

Кафедра: «Экология и безопасность жизнедеятельности»

Дисциплина: «Пожарная безопасность организации», (направление 20.04.01 «Техносферная безопасность», направленность «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»).

Составил: канд. техн. наук, доц. С. К. Белякин.

Утверждены на заседании кафедры «22» ноября 2018 г.

Рекомендованы методическим советом университета «14» марта 2019 г.

## Перечень сокращений

ОФП – опасные факторы пожара;

$Q_{п,i}$  – частота возникновения пожара в здании в течение года;

$K_{ап,i}$  – коэффициент, учитывающий соответствие АУП требованиям нормативных документов;

$P_{пр,i}$  – вероятность присутствия людей в здании;

$P_{э,i}$  – вероятность эвакуации людей;

$K_{п.з,i}$  – коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$K_{обн,i}$  – коэффициент, учитывающий соответствие системы пожарной сигнализации требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$K_{соуэ,i}$  – коэффициент, учитывающий соответствие системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$K_{пдз,i}$  – коэффициент, учитывающий соответствие системы противодымной защиты требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$t_{нэ}$  – время начала эвакуации;

$t_{бл}$  – время блокирования путей эвакуации;

$t_{кр}^{н.в.}$  – критическое время при потере видимости;

$t_{кр}^T$  – критическое время при повышенной температуре;

$t_{кр}^{т.г.}$  – критическое время при превышении концентрации токсичных газов;

$t_{кр}^{O_2}$  – критическое время при пониженном содержании кислорода;

$t_{кр}^{т.п.}$  – критическое время при превышении теплового потока;

$t_{ск}$  – время существования скоплений людей на участках пути;

$t_p$  – расчетное время эвакуации людей;

$t_3$  – время задержки движения людей на участке.

## Содержание

Перечень сокращений .....	3
Введение .....	5
1 Методика расчета .....	5
1.1 Общие положения .....	5
1.2 Основные расчетные величины индивидуального пожарного риска.....	6
1.3 Порядок проведения расчета индивидуального пожарного риска .....	11
1.3.1 Анализ пожарной опасности здания .....	11
1.3.2 Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций.....	11
1.3.3 Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития .....	11
1.3.4 Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития.....	12
1.3.5 Учет наличия систем обеспечения пожарной безопасности здания.....	12
2 Порядок разработки дополнительных противопожарных мероприятий при определении расчетной величины индивидуального пожарного риска .....	13
3 Формулировка математической модели и моделирование динамики развития пожара.....	16
4 Формулировка математической модели и моделирование эвакуации людей из здания при пожаре.....	17
5 Практическая часть расчетов по оценке пожарного риска .....	20
Библиографический список.....	23

## **Введение**

Оценка пожарного риска проводится в целях определения соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности в порядке, установленном Федеральным законом от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и нормативными правовыми актами Российской Федерации.

Оценка пожарного риска проводится путем определения расчетных величин пожарного риска на объекте защиты и сопоставления их с соответствующими нормативными значениями пожарных рисков, установленными Федеральным законом от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Расчетные величины пожарного риска являются количественной мерой возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей. Расчет пожарного риска производится в соответствии с «Методикой определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности», утвержденной приказом МЧС России № 382 от 30.06.2009 г., с учетом изменений в соответствии с приказами № 749 от 12.12.2011 г. и № 632 от 02.12.2015 г.

## **1 Методика расчета**

### **1.1 Общие положения**

Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности (далее – Методика) устанавливает порядок определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках (далее – здание).

Расчеты по оценке пожарного риска проводятся путем сопоставления расчетных величин пожарного риска с нормативным значением пожарного риска, установленным Федеральным законом от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее – Технический регламент).

Определение расчетных величин пожарного риска осуществляется на основании:

- а) анализа пожарной опасности зданий;
- б) определения частоты реализации пожароопасных ситуаций;

в) построения полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;

г) оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития;

д) наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий.

Определение расчетных величин пожарного риска заключается в расчете индивидуального пожарного риска для людей, находящихся в здании. Численным выражением индивидуального пожарного риска является частота воздействия опасных факторов пожара (далее – ОФП) на человека, находящегося в здании. Перечень ОФП установлен статьей 9 Технического регламента. Результаты и выводы, полученные при определении пожарного риска, используются для обоснования параметров и характеристик зданий, сооружений и пожарных отсеков, которые учитываются в настоящей Методике.

Частота воздействия ОФП определяется для пожароопасной ситуации, которая характеризуется наибольшей опасностью для жизни и здоровья людей, находящихся в здании.

## 1.2 Основные расчетные величины индивидуального пожарного риска

Индивидуальный пожарный риск отвечает требуемому, если

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

где  $Q_B^H$  – нормативное значение индивидуального пожарного риска,  
 $Q_B^H = 10^{-6}$  год;

$Q_B$  – расчетная величина индивидуального пожарного риска.

Расчетная величина пожарного риска в здании, сооружении или пожарном отсеке определяется как максимальное значение пожарного риска из рассмотренных сценариев пожара:

$$Q_B = \max \{Q_{B,1}, \dots, Q_{B,i}, \dots, Q_{B,N}\}, \quad (2)$$

где  $Q_{B,i}$  – расчетная величина пожарного риска для  $i$ -го сценария пожара,  
 $N$  – количество рассмотренных сценариев пожара.

Сценарий пожара представляет собой вариант развития пожара с учетом принятого места возникновения и характера его развития. Сценарий пожара определяется на основе данных об объемно – планировочных решениях, о размещении горючей нагрузки и людей на объекте. При расчете рассматриваются сценарии пожара, при которых реализуются наихудшие условия для обеспечения безопасности людей. В качестве сценариев с наихудшими условиями пожара следует рассматривать сценарии, характеризующиеся наиболее затрудненными

условиями эвакуации людей и (или) наиболее высокой динамикой нарастания ОФП, а именно пожары:

\* в помещениях, рассчитанных на одновременное присутствие 50 и более человек;

\* в системах помещений, в которых из-за распространения ОФП возможно быстрое блокирование путей эвакуации (коридоров, эвакуационных выходов и т. д.). При этом очаг пожара выбирается в помещении малого объема вблизи от одного из эвакуационных выходов либо в помещении с большим количеством горючей нагрузки, характеризующейся высокой скоростью распространения пламени;

\* в помещениях и системах помещений атриумного типа;

\* в системах помещений, в которых из-за недостаточной пропускной способности путей эвакуации возможно возникновение продолжительных скоплений людских потоков.

В случаях, когда перечисленные типы сценариев не отражают всех особенностей объекта возможно рассмотрение иных сценариев пожара.

В помещении, имеющем два и более эвакуационных выхода, очаг пожара следует размещать вблизи выхода, имеющего наибольшую пропускную способность. При этом данный выход считается заблокированным с первых секунд пожара, и при определении расчетного времени эвакуации не учитывается.

В помещении с одним эвакуационным выходом время блокирования выхода определяется расчетом.

Сценарии пожара, не реализуемые при нормальном режиме эксплуатации объекта (теракты, поджоги, хранение горючей нагрузки, не предусмотренной назначением объекта и т. д.), не рассматриваются.

Расчетная величина индивидуального пожарного риска для  $i$ -го сценария пожара  $Q_{B,i}$  в зданиях, указанных в пункте 1 (за исключением классов функциональной пожарной опасности Ф1.1, Ф1.3, Ф1.4), рассчитывается по формуле:

$$Q_{B,i} = Q_{n,i} \cdot (1 - K_{an,i}) \cdot P_{np,i} \cdot (1 - P_{э,i}) \cdot (1 - K_{n.з,i}), \quad (3)$$

где  $Q_{n,i}$  – частота возникновения пожара в здании в течение года, определяемая на основании статистических данных. При отсутствии статистической информации допускается принимать  $Q_{n,i} = 4 \cdot 10^{-2}$  для каждого здания;

$K_{ап,i}$  – коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения (далее – АУП) требованиям нормативных документов по пожарной безопасности. Значение параметра  $K_{ап,i}$  принимается равным  $K_{ап,i} = 0,9$ , если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

\* здание оборудовано системой АУП, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

\* оборудование здания системой АУП не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях  $K_{ап,i}$  принимается равной нулю;

$P_{пр,i}$  – вероятность присутствия людей в здании, определяемая из соотношения  $P_{пр,i} = t_{функц,i} / 24$ , где  $t_{функц,i}$  – время нахождения людей в здании в часах;

$P_{э,i}$  – вероятность эвакуации людей;

$K_{п.з,i}$  – коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Вероятность эвакуации  $P_{э,i}$  из зданий, указанных в пункте 1 (за исключением зданий классов функциональной пожарной опасности Ф1.1, Ф1.3, Ф1.4), рассчитывают по формуле:

$$P_{э,i} = \begin{cases} 0,999 \cdot \frac{0,8 \cdot t_{бл} - t_p}{t_{нэ}}, & \text{если } t_p < 0,8 \cdot t_{бл} < t_p + t_{нэ} \text{ и } t_{ск} \leq 6 \text{ мин} \\ 0,999, & \text{если } t_p + t_{нэ} \leq 0,8 \cdot t_{бл} \text{ и } t_{ск} \leq 6 \text{ мин} \\ 0,000, & \text{если } t_p \geq 0,8 \cdot t_{бл} \text{ или } t_{ск} > 6 \text{ мин,} \end{cases} \quad (4)$$

где  $t_p$  – расчетное время эвакуации людей, мин;

$t_{нэ}$  – время начала эвакуации (интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей), мин;

$t_{бл}$  – время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования путей эвакуации), мин;

$t_{ск}$  – время существования скоплений людей на участках пути (плотность людского потока на путях эвакуации превышает значение  $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$ ).

Расчетное время эвакуации людей  $t_p$  из помещений и зданий определяется на основе моделирования движения людей до выхода наружу одним из следующих способов:

\* по упрощенной аналитической модели движения людского потока;

\* по математической модели индивидуально–поточного движения людей из здания;

\* по имитационно-стохастической модели движения людских потоков.

Выбор способа определения расчетного времени эвакуации производится с учетом специфических особенностей объемно-планировочных решений здания,



а также особенностей контингента (его однородности) людей, находящихся в нем.

При определении расчетного времени эвакуации учитываются принципы составления расчетной схемы эвакуации людей, параметры движения людей различных групп мобильности, а также значения площадей горизонтальных проекций различных контингентов людей.

Время блокирования путей эвакуации  $t_{\text{бл}}$  вычисляется путем расчета времени достижения ОФП предельно допустимых значений на эвакуационных путях в различные моменты времени.

Коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности,  $K_{\text{п.з.},i}$  рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{п.з.},i} = 1 - (1 - K_{\text{обн.},i} \cdot K_{\text{соуэ},i}) \cdot (1 - K_{\text{обн.},i} \cdot K_{\text{пдз},i}), \quad (5)$$

где  $K_{\text{обн.},i}$  – коэффициент, учитывающий соответствие системы пожарной сигнализации требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$K_{\text{соуэ},i}$  – коэффициент, учитывающий соответствие системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$K_{\text{пдз},i}$  – коэффициент, учитывающий соответствие системы противодымной защиты требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Расчетная величина индивидуального пожарного риска  $Q_{\text{в},i}$  для  $i$ -го сценария пожара в зданиях класса функциональной пожарной опасности Ф1.1, Ф1.3, Ф1.4 рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{в},i} = Q_{\text{п},i} [1 - (P_{\text{э},i} + (1 - P_{\text{э},i}) P_{\text{сп},i})], \quad (6)$$

где  $Q_{\text{п},i}$  – частота возникновения пожара в здании в течение года определяется на основании статистических данных;

$P_{\text{э},i}$  – вероятность эвакуации людей;

$P_{\text{сп},i}$  – вероятность спасения людей.

Вероятность эвакуации  $P_{\text{э},i}$  из зданий класса функциональной пожарной опасности Ф1.1, Ф1.3, Ф1.4 рассчитывают по формуле:

$$P_{\text{э},i} = \frac{N_{\Sigma,i} - N_{\text{неэв},i}}{N_{\Sigma,i}} \cdot 0,999, \quad (7)$$

где  $N_{\Sigma,i}$  – общее количество людей, эвакуирующихся в рассматриваемом сценарии;

$N_{неизв,i}$  – количество не эвакуировавшихся людей. Определяется путем суммирования по всем участкам путей эвакуации людей, не успевших покинуть указанный участок до его блокирования опасными факторами пожара (для которых  $t_p + t_{нэ} > 0,8 t_{бл}$ ), и людей, попавших в скопление продолжительностью более 6 мин ( $t_{ск} > 6$  мин);

$t_p$  – расчетное время эвакуации людей, мин;

$t_{нэ}$  – время начала эвакуации (интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей), мин;

$t_{бл}$  – время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования путей эвакуации), мин;

$t_{ск}$  – время существования скоплений людей на участках пути (плотность людского потока на путях эвакуации превышает значение  $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$ ).

Вероятность спасения  $P_{сп,i}$  определяется по формуле:

$$P_{сп,i} = 1 - (1 - K_{п.з,i})(1 - K_{ФПС,i})(1 - K_{ф,i})(1 - K_{эв,i}), \quad (8)$$

где  $K_{п.з,i}$  – коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, определяется по формуле (5);

$K_{ФПС,i}$  – коэффициент, учитывающий дислокацию подразделений пожарной охраны на территории поселений и городских округов, принимается равным  $K_{ФПС,i} = 0,95$  в случае соответствия ее требованиям Технического регламента и нормативных документов по пожарной безопасности. При этом время  $t_{бл,i}$  принимается для данного сценария развития пожара. В остальных случаях  $K_{ФПС,i}$  принимается равной нулю.

$K_{ф,i}$  – коэффициент, учитывающий класс функциональной пожарной опасности здания. Значение параметра  $K_{ф,i}$  принимается равным  $K_{ф,i} = 0,75$  в следующих случаях:

\* для зданий класса Ф1.1 в случае соблюдения требований нормативных документов по пожарной безопасности к оснащению первичными средствами пожаротушения;

\* для зданий класса Ф1.3 в случае соблюдения требований нормативных документов по пожарной безопасности к устройству аварийных выходов;

\* для зданий класса Ф1.4 – во всех случаях.

В остальных случаях для зданий классов Ф1.1. Ф1.3  $K_{ф,i}$  принимается равной нулю;

$K_{эв,i}$  – коэффициент, учитывающий соответствие путей эвакуации требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Значение параметра  $K_{эв,i}$  принимается равным  $K_{эв,i} = 0,8$  в случае соблюдения требований нормативных документов по пожарной безопасности к путям эвакуации.

В остальных случаях  $K_{эв,i}$  принимается равной нулю.

### **1.3 Порядок проведения расчета индивидуального пожарного риска**

#### **1.3.1 Анализ пожарной опасности здания**

Для проведения анализа пожарной опасности осуществляется сбор данных о здании, который включает:

- объемно-планировочные решения;
- теплофизические характеристики ограждающих конструкций и размещенного оборудования;
- вид, количество и размещение горючих веществ и материалов;
- количество и места вероятного размещения людей;
- системы пожарной сигнализации и пожаротушения, противодымной защиты, оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей.

На основании полученных данных производится анализ пожарной опасности здания, при этом учитывается:

- \* возможная динамика развития пожара;
- \* состав и характеристики системы противопожарной защиты;
- \* возможные последствия воздействия пожара на людей и конструкции здания.

#### **1.3.2 Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций**

Частота реализации пожароопасных ситуаций определяется частотой возникновения пожара в здании в течение года.

#### **1.3.3 Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития**

Для построения полей опасных факторов пожара проводится экспертный выбор сценария или сценариев пожара, при которых ожидаются наихудшие последствия для находящихся в здании людей.

Формулировка сценария развития пожара включает в себя следующие этапы:

выбор места нахождения первоначального очага пожара и закономерностей его развития;

задание расчетной области (выбор рассматриваемой при расчете системы помещений, определение учитываемых при расчете элементов внутренней структуры помещений, состояния проемов);

задание параметров окружающей среды и начальных значений параметров внутри помещений.

Формулируется математическая модель развития пожара и проводится моделирование его динамики развития.

На основании результатов расчетов осуществляется построение полей опасных факторов пожара и определяется значение времени блокирования путей эвакуации ОФП  $t_{\text{бл}}$ .

#### **1.3.4 Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития**

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей заключается в определении вероятности эвакуации людей из здания при пожаре.

Вероятность эвакуации людей определяется по формуле (3) на основе сопоставления значений времени эвакуации людей и времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара.

Для определения расчетного времени эвакуации людей  $t_p$  определяется модель эвакуации людей из здания, проводится построение расчетной схемы эвакуации и осуществляется моделирование эвакуации людей.

Проводится определение расчетной величины индивидуального пожарного риска  $Q_v$  и сопоставление ее с нормативным значением индивидуального пожарного риска  $Q_v^H$ .

#### **1.3.5 Учет наличия систем обеспечения пожарной безопасности здания**

Наличие систем обеспечения пожарной безопасности здания учитывается в соответствии с формулой (4). Блок-схема, иллюстрирующая порядок проведения расчета индивидуального пожарного риска, представлена на рисунке 1.

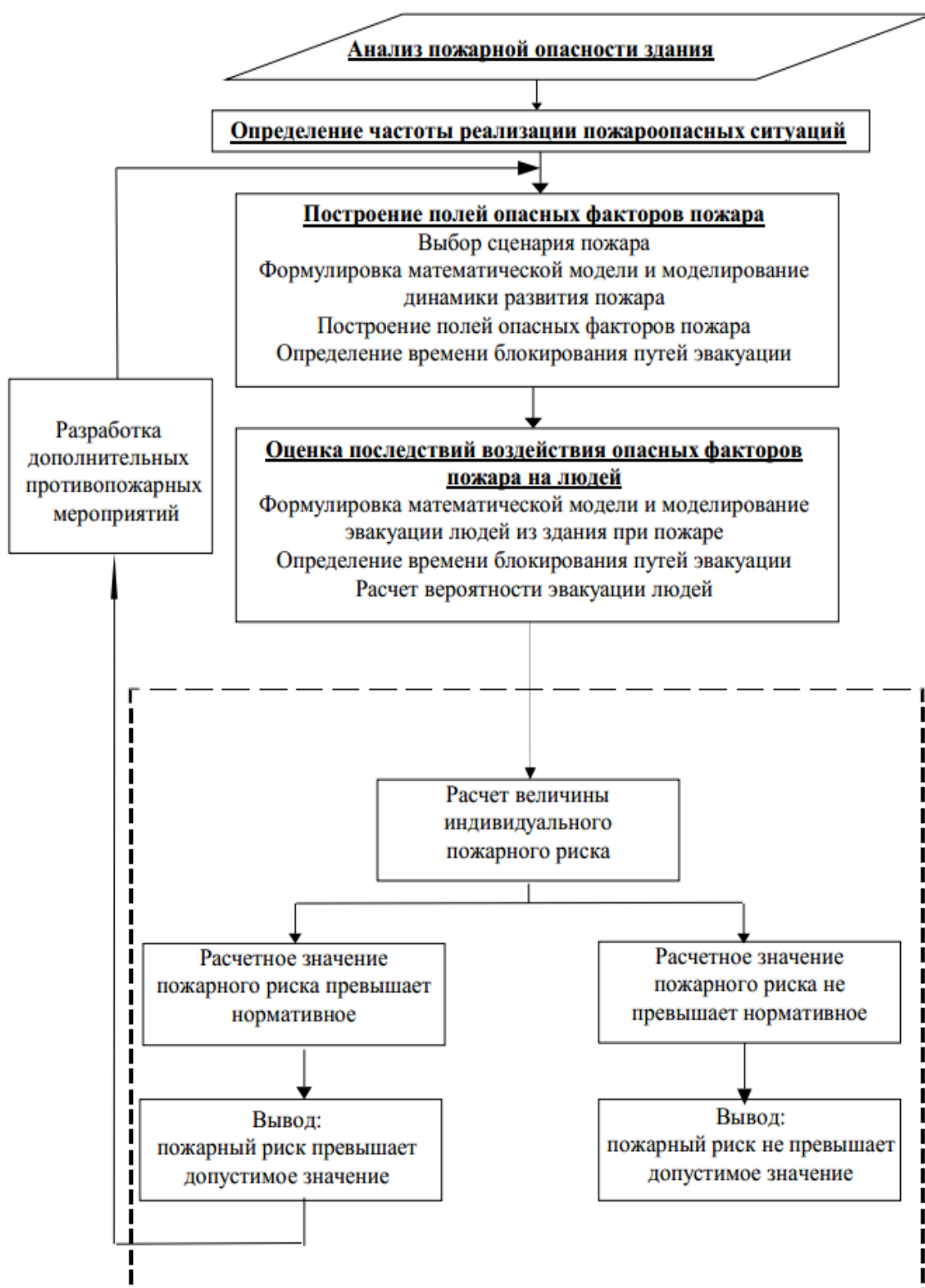


Рисунок 1 – Порядок проведения расчета индивидуального пожарного риска

## 2 Порядок разработки дополнительных противопожарных мероприятий при определении расчетной величины индивидуального пожарного риска

В случае, если расчетная величина индивидуального пожарного риска превышает нормативное значение, в здании следует предусмотреть дополни-

тельные противопожарные мероприятия, направленные на снижение величины пожарного риска.

К числу противопожарных мероприятий, направленных на снижение величины пожарного риска, относятся:

- применение дополнительных объемно–планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара;
- устройство дополнительных эвакуационных путей и выходов;
- устройство систем оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей повышенного типа;
- организация поэтапной эвакуации людей из здания;
- применение систем противодымной защиты;
- устройство систем автоматического пожаротушения;
- ограничение количества людей в здании до значений, обеспечивающих безопасность их эвакуации из здания.

Эффективность дополнительных противопожарных мероприятий должна подтверждаться повторным расчетом величины индивидуального пожарного риска.

Эффективность каждого из перечисленных выше противопожарных мероприятий определяется степенью влияния на параметры  $t_p$ ,  $t_{бл}$ ,  $t_{нэ}$ , а для системы пожарной сигнализации, противодымной защиты и системы оповещения людей при пожаре и управления эвакуацией людей также параметрами  $K_{обн}$ ,  $K_{СОУЭ}$  и  $K_{ПДЗ}$ .

Значение параметра  $K_{обн,i}$  принимается равным  $K_{обн,i} = 0,8$ , если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

\* здание оборудовано системой пожарной сигнализации, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

\* оборудование здания системой пожарной сигнализации не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях  $K_{обн,i}$  принимается равной нулю.

Применение в качестве дополнительного противопожарного мероприятия объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара, достигается обеспечением нормируемых пределов огнестойкости и пониженной пожарной опасности облицовочных строительных материалов, используемых в ограждающих конструкциях помещения, в котором находится вероятный очаг пожара.

Степень влияния данного дополнительного противопожарного мероприятия на динамику распространения пожара и, соответственно, значение парамет-

ра  $t_{\text{бл}}$  определяется путем проведения повторного расчета  $t_{\text{бл}}$  после внесения соответствующих изменений в схему объемно–планировочных решений здания.

При применении в качестве дополнительного противопожарного мероприятия устройства дополнительных эвакуационных путей и выходов следует выполнить повторный расчет по оценке параметра  $t_p$ , с учетом откорректированных объемно–планировочных решений.

При применении в качестве дополнительного противопожарного мероприятия устройства системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей повышенного типа следует выполнить повторный расчет по оценке параметра  $t_p$  с учетом перераспределения потоков эвакуирующихся и изменения схемы эвакуации в зависимости от сценариев возникновения и развития пожара и, соответственно, алгоритма функционирования системы оповещения людей о пожаре и управлением эвакуации людей.

Значение параметра  $K_{\text{СОУЭ},i}$  принимается равным  $K_{\text{СОУЭ},i} = 0,8$ , если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- \* здание оборудовано системой оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

- \* оборудование здания системой оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях  $K_{\text{СОУЭ},i}$  принимается равной нулю.

Влияние системы противодымной защиты на уровень обеспеченности безопасной эвакуации людей при пожаре оценивается посредством расчета значения  $t_{\text{бл}}$  с учетом технических характеристик применяемого вентиляционного оборудования противодымной защиты. Подбор параметров вентиляционного оборудования осуществляется в соответствии с нормативными документами по пожарной безопасности. При этом для выполнения расчетов следует применять зонную (зональную) или полевою модели.

Значение параметра  $K_{\text{ПДЗ},i}$  принимается равным  $K_{\text{ПДЗ},i} = 0,8$ , если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- \* здание оборудовано системой противодымной защиты, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

- \* оборудование здания системой противодымной защиты не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях  $K_{\text{ПДЗ},i}$  принимается равной нулю.

Ограничение количества людей в здании до значений, обеспечивающих безопасность их эвакуации из здания при пожаре, учитывается посредством повторного расчета значения параметра  $t_p$  при существующих объемно-планировочных решениях и ограниченном значении количества эвакуирующихся при пожаре.

Для получения исходных данных, необходимых для проведения расчетов, предусмотренных настоящей Методикой, следует использовать справочные источники информации и проектную документацию здания.

### 3 Формулировка математической модели и моделирование динамики развития пожара

Необходимое время эвакуации рассчитывается как произведение критической для человека продолжительности пожара на коэффициент безопасности. Предполагается, что каждый опасный фактор воздействует на человека независимо от других. Критическая продолжительность пожара для людей, находящихся на этаже очага пожара, определяется из условия достижения одним из опасных факторов пожара (ОФП) в поэтажном коридоре своего предельно допустимого значения. В качестве критерия опасности для людей, находящихся выше очага пожара, рассматривается условие достижения одним из ОФП предельно допустимого значения в лестничной клетке на уровне этажа пожара.

Основой для полевых моделей пожаров являются уравнения, выражающие законы сохранения массы, импульса, энергии и масс-компонентов в рассматриваемом малом контрольном объеме.

Уравнение сохранения массы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \cdot u_j) = 0 \quad (9)$$

Уравнение сохранения импульса:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \cdot u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \cdot u_j \cdot u_i) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho \cdot g_i. \quad (10)$$

Для ньютоновских жидкостей, подчиняющихся закону Стокса, тензор вязких напряжений определяется формулой:

$$\tau_{ij} = \mu \cdot \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \cdot \delta_{ij}. \quad (11)$$

Уравнение энергии:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \cdot h) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \cdot u_j \cdot h) = \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\lambda}{c_p} \cdot \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial q_j^R}{\partial x_j}, \quad (12)$$

$$h = h_0 + \int_0^T c_p dT + \sum_k (Y_k \cdot H_k),$$



Где – статическая энтальпия смеси;

$H_k$  – теплота образования  $k$ -го компонента;

$C_p = \sum_k Y_k \cdot C_{p,k}$  – теплоемкость смеси при постоянном давлении;

$q_j^R$  – радиационный поток энергии в направлении  $x_j$ .

Уравнение сохранения химического компонента  $k$ :

$$\frac{\delta}{\delta t} (p \cdot Y_k) + \frac{\delta}{\delta x_j} (p \cdot u_j \cdot Y_k) = \frac{\delta}{\delta x_j} \left( p \cdot D \cdot \frac{\delta Y_k}{\delta x_j} \right) + S_k \quad (13)$$

Для замыкания системы уравнений (П6.43) – (П6.47) используется уравнение состояния идеального газа. Для смеси газов оно имеет вид:

$$p = p \cdot R_0 \cdot T \cdot \sum_k \frac{Y_k}{M_k}, \quad (14)$$

где  $R_0$  – универсальная газовая постоянная;

$M_k$  – молярная масса  $k$ -го компонента.

#### 4 Формулировка математической модели и моделирование эвакуации людей из здания при пожаре

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  $b$ . 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). Задаются координаты каждого человека  $x_i$  – расстояние от центра эллипса до конца эвакуационного участка, на котором он находится (рисунок 2). Если разность координат некоторых людей, находящихся на эвакуационном участке, составляет менее 0,25 м, то принимается, что люди с этими координатами расположены рядом друг с другом – сбоку один от другого (условно: «в ряд»). При этом, исходя из габаритов человека в плане и размеров эвакуационного участка (длина и ширина), для каждого эвакуационного участка определяются: максимально возможное коли-

чество человек в одном ряду сбоку друг от друга и максимально возможное количество людей на участке.

Координаты каждого человека  $x_i$  в начальный момент времени задаются в соответствии со схемой расстановки людей в помещениях (рабочие места, места для зрителей, спальные места и т. п.). В случае отсутствия таких данных, например для магазинов, выставочных залов и другое, допускается размещать людей равномерно по всей площади помещения с учетом расстановки технологического оборудования.

Координата каждого человека в момент времени  $t$  определяется по формуле:

$$x_i(t) = x_i(t-\Delta t) - V_i(t) \cdot \Delta t, \quad (15)$$

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.

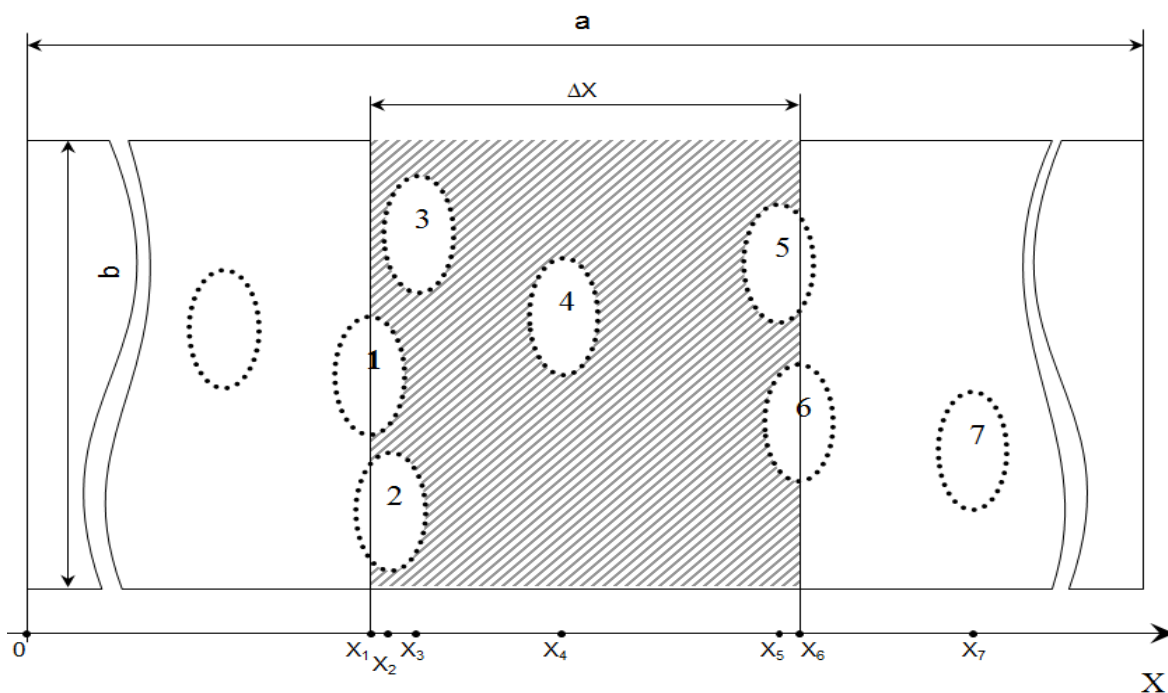


Рисунок 2 – Координатная схема размещения людей на путях эвакуации

Скорость  $i$ -го человека  $V_i(t)$  в момент времени  $t$  определяется в зависимости от локальной плотности потока, в котором он движется,  $D_i(t)$  и типа эвакуационного участка.

Локальная плотность  $D_i(t)$  вычисляется по группе, состоящей из  $n$  человек, по формуле:

$$D_i(t) = (n(t)-1) f / (b \cdot \Delta x) \text{ м}^2/\text{м}^2, \quad (16)$$

где  $n$  – количество людей в группе, человек;

$f$  – средняя площадь горизонтальной проекции человека,  $m^2/m^2$ ;

$b$  – ширина эвакуационного участка, м;

$\Delta x$  – разность координат последнего и первого человека в группе, м.

Если в момент времени  $t$  координата человека  $x_i(t)$ , определенная по формуле (ПЗ.1), станет отрицательной – это означает, что человек достиг границы текущего эвакуационного участка и должен перейти на следующий эвакуационный участок.

Координата этого человека на следующем эвакуационном участке определяется:

$$x_i(t) = [x_i(t-dt) - V_i(t) \cdot dt] + a_j - l_j, \quad (17)$$

где  $x_i(t-dt)$  – координата  $i$ -го человека в предыдущий момент времени на  $(j-1)$  эвакуационном участке, м;

$V_i(t)$  – скорость  $i$ -го человека на  $(j-1)$ -м эвакуационном участке в момент времени  $t$ , м/с;

$a_j$  – длина  $j$ -го эвакуационного участка, м;

$l_j$  – координата места слияния  $j$ -го и  $(j-1)$ -го эвакуационных участков – расстояние от начала  $j$ -го эвакуационного участка до места слияния его с  $(j-1)$ -м эвакуационным участком, м.

Количество людей, переходящих с одного эвакуационного участка на другой в единицу времени, определяется пропускной способностью выхода с участка  $Q_j(t)$ :

$$Q_j(t) = q_j(t) \cdot c_j \cdot dt / (f \cdot 60) \text{ чел.}, \quad (18)$$

где  $q_j(t)$  – интенсивность движения на выходе с  $j$ -го эвакуационного участка в момент времени  $t$ , м/мин;

$c_j$  – ширина выхода с  $j$ -го эвакуационного участка, м;

$dt$  – промежуток времени, с;

$f$  – средняя площадь горизонтальной проекции человека,  $m^2$ .

Интенсивность движения на выходе с  $j$ -го эвакуационного участка  $q_j(t)$  в момент времени  $t$  определяется в зависимости от плотности людского потока на этом участке  $Dv_j(t)$ .

Плотность людского потока на  $j$ -ом эвакуационном участке  $Dv_j(t)$  в момент времени  $t$  определяется по формуле:

$$Dv_j(t) = (N_j \cdot f \cdot dt) / (a_j \cdot b_j) \text{ м}^2/\text{м}^2, \quad (19)$$

где  $N_j$  – число людей на  $j$ -ом эвакуационном участке, чел.;

$f$  – средняя площадь горизонтальной проекции человека,  $m^2$ ;

$a_j$  – длина  $j$ -го эвакуационного участка, м;

$b_j$  – ширина  $j$ -го эвакуационного участка, м;

$dt$  – промежуток времени, с.

В момент времени  $t$  определяется количество людей  $m$  с отрицательными координатами  $x_i(t)$ , определенными по формуле (15).

Если значение  $m \leq Q_j(t)$ , то все  $m$  человек переходят на следующий эвакуационный участок и их координаты определяются в соответствии с формулой (17). Если значение  $m > Q_j(t)$ , то количество человек равное значению  $Q_j(t)$  переходят на следующий эвакуационный участок и их координаты определяются в соответствии с формулой (17), а количество человек, равное значению  $(m - Q_j(t))$ , не переходят на следующий эвакуационный участок (остаются на данном эвакуационном участке) и их координатам присваиваются значения  $x_i(t) = k \cdot 0,25 + 0,25$ ,

где  $k$  – номер ряда, в котором будут находиться люди (максимально возможное количество человек в одном ряду сбоку друг от друга для каждого эвакуационного участка определяется перед началом расчетов). Таким образом, возникает скопление людей перед выходом с эвакуационного участка.

На рисунке 3 изображена блок-схема определения расчетного времени эвакуации людей из здания.

На основании заданных начальных условий (начальных координат людей, параметров эвакуационных участков) определяются плотности людских потоков на путях эвакуации и пропускные способности выходов с эвакуационных участков. Далее, в момент времени  $t = t + dt$ , определяется наличие ОФП на путях эвакуации. В зависимости от этого выбирается направление движения каждого человека и вычисляется новая координата каждого человека. После этого снова определяются плотности людских потоков на путях эвакуации и пропускные способности выходов. Затем вновь дается приращение по времени  $dt$  и определяются новые координаты людей с учетом наличия ОФП на путях эвакуации в этот момент времени. После этого процесс повторяется. Расчеты проводятся до тех пор, пока все люди не будут эвакуированы из здания.

## **5 Практическая часть расчетов по оценке пожарного риска**

Для определения расчетных величин пожарного риска в здании рассмотреть сценарии развития пожара (по заданию преподавателя).

Моделирование динамики развития пожара и эвакуации провести по индивидуально-поточной модели движения людей с помощью программного комплекса Fenix+ 2 Academy (Сертификат соответствия № RA.RU.AB86.H01071, Заключение Академии ГПС МЧС РФ №34/25–2013 от 01.04.2013).

### **Перечень исходных данных**

Класс функциональной пожарной опасности здания: Нет информации ( $Q_p = 0,04$ )

Наличие систем автоматической пожарной сигнализации: Выполнена по нормам ( $K_{обн} = 0,8$ )

Наличие систем оповещения и управления эвакуацией: Тип 3 ( $K_{соуэ} = 0,8$ )

Наличие систем противодымной защиты: Нет информации ( $K_{пдз} = 0$ )

Дислокация подразделений пожарной охраны: Выполнена по нормам ( $K_{фпс} = 0,95$ )

Соответствие путей эвакуации: Выполнена по нормам ( $K_{эв} = 0,8$ )

Наличие систем автоматического пожаротушения: Порошковая ( $K_{ап} = 0,9$ )

Время нахождения людей в здании: 12 ч ( $R_{пр} = 0,5$ )

Порядок выполнения моделирования

**1 Определить времена блокирования путей эвакуации**

**2 Составить расчётные схемы и определить расчетное время эвакуации людей**

В соответствии с объемно–планировочными решениями здания, геометрическими размерами эвакуационных путей и выходов, а также известными особенностями поведения людей при пожарах (движение к более широким и хорошо заметным выходам, выбор более короткого пути эвакуации, использование знакомых маршрутов движения и т. п.) составить расчётные схемы эвакуации с этажей здания. Количеством и расположением людей задаться самостоятельно.

Для определения времени эвакуации были составлены поэтажные расчётные схемы эвакуации.

**3 Получить результаты моделирования движения людей**

**4 Определить вероятности эвакуации людей**

**5 Выполнить расчёт величины индивидуального пожарного риска**

По результатам расчёта сравнить значения расчетного индивидуального пожарного риска со значением, установленным Федеральным законом №123-ФЗ.

**6 Выполнить расчёт величины индивидуального пожарного риска для здания**

**7 Сделать вывод об условиях соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности**

Ознакомиться с результатами расчетов и сделать аргументированный вывод: отвечает ли Объект (имея заданное объемно-планировочное и организационно-техническое исполнение) по индивидуальному пожарному риску требуемому и нет ли превышения значения одной миллионной в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания точке.

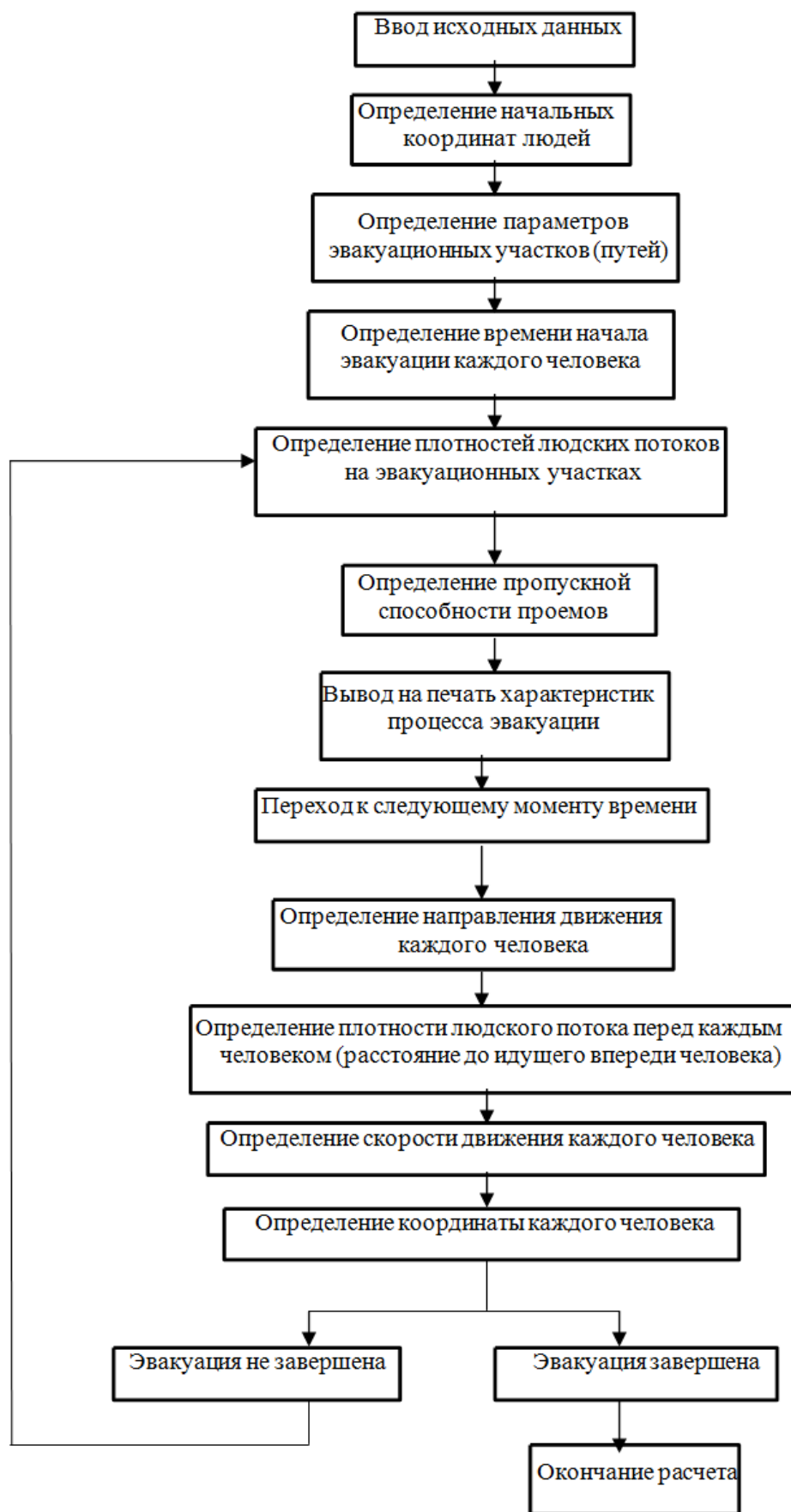


Рисунок 3 – Блок-схема определения расчетного времени эвакуации

## Библиографический список

- 1 Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (ред. от 29.07.2017).
- 2 ГОСТ 12.1.004-91 «Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования» (утв. Постановлением Госстандарта СССР от 14.06.1991 № 875) (ред. от 01.10.1993).
- 3 Постановление Правительства Российской Федерации от 31 марта 2009 г. № 272 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска».
- 4 Приложение к Приказу МЧС России № 382 от 30.06.2009 г. «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности» (ред. от 02.12.2015 г.).
- 5 Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях : методические рекомендации. – Москва : ВНИИПО, 2003. – 35 с.
- 6 Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учебное пособие. / Ю. А Кошмаров – Москва : Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
- 7 Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности А. А. Абашкин [и др.]» – 2-е изд., испр. и доп. /. – Москва : ВНИИПО, 2014. – 226 с.

Белякин Сергей Константинович

## ОЦЕНКА ПОЖАРНЫХ РИСКОВ

Методические указания

к выполнению практических занятий для магистрантов

направления 20.04.01 «Техносферная безопасность»

Редактор Л. П. Чукомина

---

Подписано в печать 22.10.19

Печать цифровая

Заказ 154

Формат 60x84 1/16

Усл. печ. л. 1,75

Тираж 25

Бумага 65 г/м<sup>2</sup>

Уч. - изд. л. 1,75

Не для продажи

---

БИЦ Курганского государственного университета

640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.

Курганский государственный университет.