

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ
ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «ВСЕРОССИЙСКИЙ ОРДЕНА “ЗНАК ПОЧЕТА”
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ОБОРОНЫ»

**ПОСОБИЕ ПО ПРИМЕНЕНИЮ
«МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ
ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА В ЗДАНИЯХ,
СООРУЖЕНИЯХ И СТРОЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ
КЛАССОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ
ОПАСНОСТИ»**

Москва 2012

Авторский коллектив: А.А. Абашикин, канд. техн. наук А.В. Карпов, Д.В. Ушаков, М.В. Фомин (ФГБУ ВНИИПО МЧС России); канд. техн. наук А.Н. Гилетич, П.М. Комков (ДНД МЧС России).

Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». М.: ВНИИПО, 2012. 83 с.

Пособие разработано в развитие «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности», утвержденной приказом МЧС от 30 июня 2009 г. № 382, с изменениями, утвержденными приказом МЧС от 12 декабря 2011 г. № 749, и предназначено для практического использования при определении расчетных величин пожарного риска на объектах общественного назначения. Представлены разъяснения по применению указанной методики и выбору свойств горючей нагрузки. Приведены примеры расчета пожарного риска.

Предназначено для сотрудников Государственной противопожарной службы, преподавателей и слушателей пожарнотехнических и других учебных заведений, специалистов ведомств, научно-исследовательских, экспертных и проектных организаций, занимающихся проведением и экспертизой расчетов по оценке пожарного риска.

© ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2012

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящее пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» (далее – Пособие) предназначено для практического использования при определении расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (далее – объектов) в соответствии с методикой [1] (далее – Методика), утвержденной приказом МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 с изменениями, утвержденными приказом МЧС России от 12 декабря 2011 г. № 749.

Методика принята в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации № 272 [2], которое устанавливает порядок проведения расчетов по оценке пожарного риска в случаях, предусмотренных Федеральным законом № 123-ФЗ [3].

1.2. Расчетные величины пожарного риска являются количественной мерой возможности реализации пожарной опасности объекта и ее последствий для людей. Расчеты по оценке пожарного риска проводятся путем сопоставления расчетных величин пожарного риска с соответствующими нормативными значениями пожарных рисков, установленными Федеральным законом № 123-ФЗ [3].

1.3. Согласно ст. 79 ФЗ № 123-ФЗ [3] величина индивидуального пожарного риска в зданиях и сооружениях не должна превышать значение одной миллионной в год (т. е. 10^{-6} год⁻¹) при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания, сооружения точке.

1.4. Результаты оценки пожарного риска используются:

- для обоснования обеспечения допустимых значений пожарного риска, установленных федеральным законодательством, в следующих случаях:

- объекты, для которых федеральными законами о технических регламентах и/или нормативными документами по пожарной безопасности не установлены требования пожарной безопасности;

- объекты, для которых не в полном объеме выполнены требования нормативных документов по пожарной безопасности;

- для принятия решений по разработке дополнительных мер по снижению пожарной опасности объекта в случае превышения одними или несколькими расчетными значениями пожарных рисков нормативных значений, установленных федеральным законодательством;

- при разработке проектной документации на объекты капитального строительства и проведении государственной экспертизы проектной документации.

Необходимость включения в проектную документацию расчетов по оценке пожарного риска регламентируется Постановлением Правительства Российской Федерации № 87 [4].

Согласно Методике 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.

Ниже на основе положений Методики описывается процедура и основные этапы проведения расчетов по оценке пожарного риска.

2. ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА В ЗДАНИЯХ, СООРУЖЕНИЯХ И СТРОЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

2.1. Анализ пожарной опасности объекта

2.1.1. В соответствии с Методикой для проведения анализа пожарной опасности осуществляется сбор данных о здании, которые включают в себя:

- 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.

2.1.2. Определяется вид, количество и размещение горючих материалов исходя из данных о функциональном назначении рассматриваемой части здания, сооружения или строения.

Свойства горючей нагрузки в помещении очага пожара следует принимать по данным экспериментальных исследований или справочной литературе. В последнем случае значения свойств (за исключением потребления кислорода) должны быть не менее приведенных в табл. 1. При отсутствии данных значения свойств допускается принимать по табл. 1.

При этом для всех помещений, кроме стоянок легковых автомобилей, рекомендуется принимать круговое распространение пожара в соответствии с формулой (Пб.1) прил. 6 Методики (за исключением узких длинных помещений и помещений с расположением горючей нагрузки в виде узкой полосы). Для стоянок легковых автомобилей принимается линейное распространение пожара, а в качестве ширины горючей нагрузки принимается ширина автомобиля.

Принимать при расчете максимальную площадь загорания менее площади помещения очага пожара не допускается. Для складов и иных помещений с высокостеллажным хранением максимальную площадь загорания следует определять с учетом площади поверхности хранимой горючей нагрузки.

2.1.3. Количество и места вероятного размещения людей следует принимать исходя из задания на проектирование, данных заказчика, иной документации на объект, но не менее чем предусмотрено нормативными документами.

2.1.4. На основании полученных в результате сбора информации данных об объекте производится анализ его пожарной опасности. Проверяется соответствие объекта нормативным требованиям по пожарной безопасности.

2.1.5. На основании проведенного анализа делается вывод о необходимости или отсутствии необходимости проведения расчета риска. При необходимости проведения расчета его результаты оформляются в виде отчета, соответствующего Постановлению [2]. При этом в разделе, содержащем описание объекта и анализ его пожарной опасности, указывается основание для проведения расчета риска. В случае если основанием является несоблюдение требований нормативных документов, приводятся формулировки данных требований. При отсутствии нормативных требований указывается, что нормативные требования для объекта отсутствуют.

Таблица 1
Значения показателей пожарной опасности типовой горючей нагрузки в помещениях

Материал	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Диаметр знаящая способность, Нг-м ² /кг	Удельная массовая скорость выгорания, кг/(м ² ·с)	Линейная скорость распространения пламени, м/с	Удельный расход хлороксида, кг/кг	Выделение токсичных продуктов горения, кг/кг		
						CO ₂	CO	HCl
Жилые помещения гостиниц, общежитий и т. д.	13,8	270	0,0145	0,0045	1,03	0,203	0,0022	0,014
Столовая, зал ресторана и т. д.	13,8	82	0,0145	0,0045	1,437	1,285	0,0022	0,006
Зал театра, кинотеатра, клуба, цирка и т. д.	13,8	270	0,0145	0,0055	1,03	0,203	0,0022	0,014
Гардеробы	16,7	61	0,009	0,007	2,56	0,88	0,063	-
Хранилища библиотек, архивы	14,5	49,5	0,011	0,006	1,154	1,1087	0,0974	0
Музеи, выставки	13,8	270	0,0145	0,0055	1,03	0,203	0,0022	0,014
Подсобные и бытовые помещения	14	53	0,0129	0,0042	1,161	0,642	0,0317	0
Административные помещения, учебные классы школ, ВУЗов, кабинеты поликлиник	14	47,7	0,0137	0,0045	1,369	1,478	0,03	0,0058

Материал	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Дымообразующая способность, Нг·м ² /кг	Удельная массовая скорость выгорания, кг/(м ² ·с)	Линейная скорость распространения пламени, м/с	Удельный расход кислорода, кг/кг	Выделение токсичных продуктов горения, кг/кг		
						CO ₂	CO	HCl
Магазины	15,8	270	0,015	0,0055	1,25	0,043	0,023	
Зал вокзала	13,8	270	0,0145	0,0055	1,03	0,0022	0,014	
Стоянки легковых автомобилей	31,7	487	0,023	0,0068	2,64	0,097	0,011	
Стоянки легковых автомобилей с двухуровневым хранением	31,7	487	0,023	0,0136	2,64	0,097	0,011	
Стадионы	26,4	78	0,014	0,004	2,09	1,8	0,127	-
Спортзалы	16,7	61	0,014	0,0045	2,56	0,88	0,063	-

2.2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций

Частота реализации пожароопасных ситуаций определяется частотой возникновения пожара в здании в течение года. Порядок определения частоты возникновения пожара в здании приведен в разд. II Методики.

2.3. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития

2.3.1. В соответствии с прил. № 6 к п. 12 Методики при построении полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития учитываются предельно допустимые значения по каждому из опасных факторов пожара, которые составляют:

по повышенной температуре – 70 °С;

по тепловому потоку – 1400 Вт/м²;

по потере видимости – 20 м (для случая, когда оба горизонтальных линейных размера помещения меньше 20 м, предельно допустимое расстояние по потере видимости следует принимать равным наибольшему горизонтальному линейному размеру);

по пониженному содержанию кислорода – 0,226 кг/м³;

по каждому из токсичных газообразных продуктов горения: CO₂ – 0,11 кг/м³; CO – 1,16·10⁻³ кг/м³; HCl – 23·10⁻⁶ кг/м³.

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.

2.3.2. Ввиду того что проведение расчетов по распространению опасных факторов пожара для всех возможных сценариев развития пожара является практически невыполнимой задачей, в рамках Методики расчет пожарного риска

производится по одному или нескольким сценариям, при которых ожидаются наихудшие последствия для находящихся в здании людей. Выбор данных сценариев осуществляется экспертным путем.

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, 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.

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

2.3.3. Для каждого сценария, в соответствии с разд. II приложения № 6 к п. 12 Методики, формулируется математическая модель и моделируется динамика развития пожара. При этом результатами моделирования будут являться:

- при использовании аналитических соотношений для определения критической продолжительности пожара – значение времени блокирования путей эвакуации;
- при использовании интегральных и зонных моделей – графики зависимости опасных факторов пожара от времени;
- при использовании полевых моделей – поля опасных факторов пожара.

Во всех случаях, за исключением расчета по аналитическим соотношениям для определения критической продолжительности пожара, результаты должны быть представлены в графической форме.

2.3.4. На основе проведенных расчетов определяются времена блокирования путей эвакуации вблизи эвакуационных выходов, а при необходимости и в других контрольных точках.

2.4. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития

2.4.1. Для каждого сценария строится расчетная схема эвакуации, формулируется математическая модель и моделируется эвакуация людей из здания при пожаре.

2.4.2. В соответствии с прил. № 2–5 Методики определяется расчетное время эвакуации людей t_p . При этом фик-

сируются также времена движения людей от мест первоначального размещения до эвакуационных выходов и других контрольных точек, а также наличие и длительность скоплений людей на путях эвакуации. Предпочтительно, с точки зрения возможности контроля правильности расчетов, динамику движения людей отобразить на графиках.

2.4.3. На основе информации, полученной при моделировании развития пожара и эвакуации людей, определяется вероятность эвакуации людей при пожаре.

2.4.4. В соответствии с разд. II Методики определяется расчетная величина индивидуального пожарного риска.

2.5. Порядок разработки дополнительных противопожарных мероприятий при определении расчетной величины индивидуального пожарного риска

В соответствии с п. 21 Методики, в случае если расчетная величина индивидуального пожарного риска превышает нормативное значение, в здании следует предусмотреть дополнительные противопожарные мероприятия, направленные на снижение величины пожарного риска.

2.6. Определение расчетных величин индивидуального пожарного риска

Согласно Методике индивидуальный пожарный риск отвечает требуемому, если

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

где Q_v^H – нормативное значение индивидуального пожарного риска, $Q_v^H = 10^{-6} \text{ год}^{-1}$; Q_v – расчетная величина индивидуального пожарного риска.

Расчетная величина индивидуального пожарного риска Q_{vi} для i -го сценария пожара рассчитывается по формуле

$$Q_{vi} = Q_{pi}(1 - K_{api})P_{pri}(1 - P_{эi})(1 - K_{п.зи}), \quad (2)$$

где Q_{pi} – частота возникновения пожара в здании в течение года, определяется на основании статистических данных, приведенных в прил. № 1 Методики. При отсутствии статистической информации допускается принимать $Q_{pi} = 4 \cdot 10^{-2}$ для каждого здания;

K_{api} – коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения (далее – АУП) требованиям нормативных документов по пожарной безопасности. Значение параметра K_{api} принимается равным $K_{api} = 0,9$, 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_{api} принимается равным нулю;

P_{pri} – вероятность присутствия людей в здании, определяемая из соотношения $P_{pri} = t_{\text{функц } i} / 24$, где $t_{\text{функц } i}$ – время нахождения людей в здании (время функционирования объекта) в часах;

$P_{эi}$ – вероятность эвакуации людей;

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

Вероятность эвакуации P_3 рассчитывают по формуле:

$$P_3 = \begin{cases} 0,999 \frac{0,8 t_{\text{бл}} - t_p}{t_{\text{нз}}}, & \text{если } t_p < 0,8 t_{\text{бл}} < t_p + t_{\text{нз}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин,} \\ 0,999, & \text{если } t_p + t_{\text{нз}} \leq 0,8 t_{\text{бл}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин,} \\ 0,000, & \text{если } t_p \geq 0,8 t_{\text{бл}} \text{ или } t_{\text{ск}} > 6 \text{ мин,} \end{cases} \quad (3)$$

где t_p – расчетное время эвакуации людей, мин; $t_{\text{нз}}$ – время начала эвакуации (интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей), мин; $t_{\text{бл}}$ – 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; $t_{\text{ск}}$ – время существования скоплений людей на участках пути (плотность людского потока на путях эвакуации превышает значение 0,5).

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, приведенной в прил. № 2 к Методике;
- по математической модели индивидуально-поточного движения людей из здания, приведенной в прил. № 3 к Методике;
- по имитационно-стохастической модели движения людских потоков, приведенной в прил. № 4 к Методике.

Способ определения расчетного времени эвакуации выбирается с учетом специфических особенностей объемно-планировочных решений здания, а также особенностей контингента (его однородности) людей, находящихся в нем.

При определении расчетного времени эвакуации учитываются данные, приведенные в прил. № 5 к Методике, в частности принципы составления расчетной схемы эвакуации людей, параметры движения людей различных групп мобильности, а также значения площадей горизонтальных проекций различных контингентов людей.

Время начала эвакуации $t_{\text{нз}}$ определяется в соответствии с п. 1 прил. № 5 к Методике.

Время блокирования путей эвакуации $t_{\text{бл}}$ вычисляется путем расчета времени достижения ОФП предельно допустимых значений на эвакуационных путях в различные моменты времени. Порядок проведения расчета и математические модели для определения времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара приведены в прил. № 6 к Методике.

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

$$K_{\text{п.з}} = 1 - (1 - K_{\text{обн}} K_{\text{СОУЭ}})(1 - K_{\text{обн}} K_{\text{ПДЗ}}), \quad (4)$$

где $K_{\text{обн}}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы пожарной сигнализации требованиям нормативных документов по пожарной безопасности; $K_{\text{СОУЭ}}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности; $K_{\text{ПДЗ}}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы противодымной защиты требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Порядок оценки параметров $K_{\text{обн}}$, $K_{\text{СОУЭ}}$ и $K_{\text{ПДЗ}}$ приведен в разд. IV Методики.

3. ТИПОВЫЕ ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА

3.1. Пример расчета для здания класса функциональной пожарной опасности Ф1.2

3.1.1. Анализ пожарной опасности объекта

Рассматриваемое здание расположено по адресу: г. Москва, ул. Пожарнорисковая, дом 708, предназначено для временного проживания общей численностью до 160 человек.

Здание II степени огнестойкости – имеет два надземных этажа.

Максимальные размеры здания в плане: 48,84 × 12,9 м.

На 1-м этаже располагаются гостиничные номера, санузлы, душевые, административно-бытовые помещения.

На 2-м этаже располагаются гостиничные номера, санузлы, душевые.

Здание коридорного типа с двумя незадымляемыми лестничными клетками, расположенными в торцах коридора.

С первого этажа предусмотрено два эвакуационных выхода, ведущих непосредственно наружу.

Со второго этажа предусмотрено два эвакуационных выхода в лестничные клетки.

На объекте предусматриваются следующие системы противопожарной защиты:

- система адресного обнаружения пожара;
- система оповещения и управления эвакуацией 3-го типа;
- система противодымной вентиляции;
- система автоматического пожаротушения.

С целью предотвращения распространения опасных факторов пожара между этажами предусматривается устройство противопожарных дверей с пределом огнестойкости EI 30.

Для обеспечения безопасной эвакуации проектом предусматриваются незадымляемые лестничные клетки типа Н2.

Все перегородки здания – противопожарные 1-го типа.

Для отделки путей эвакуации используются только негорючие материалы.

Горючая нагрузка в здании соответствует функциональному назначению помещений.

Количество людей в здании не превышает 160 человек (82 человека на втором этаже, 78 человек на первом этаже).

К зданию предусмотрены проезды, обеспечивающие подъезд пожарной техники и подъем персонала пожарных подразделений и пожарно-технического вооружения на этажи и на кровлю здания, а также доступ к источникам противопожарного водоснабжения.

На окнах здания не предусмотрена установка решеток.

При эксплуатации данного здания предусмотрены дополнительные противопожарные мероприятия, в том числе запрет курения, распития спиртных напитков, нахождения в здании людей в состоянии алкогольного опьянения.

Введен запрет на эксплуатацию электронагревательных приборов, не имеющих устройств тепловой защиты.

Организован круглосуточный мониторинг противопожарного состояния зданий и территории объекта посредством дежурства/патрулирования сотрудниками службы безопасности с применением систем видеонаблюдения объекта.

Необходимость проведения расчета пожарного риска обусловлена несоблюдением следующих требований нормативных документов по пожарной безопасности:

1) ширина лестничных маршей эвакуационных лестничных клеток, а также ширина лестничных площадок составляет 1,1 м (п. 5.3.5 СП 1.13130.2009);

2) ширина эвакуационных выходов в лестничные клетки составляет 0,8 м (п. 5.3.5 СП 1.13130.2009).

3.1.2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций

Согласно прил. № 1 к п. 8 Методики для рассматриваемого здания гостиницы частота возникновения пожара в течение года составляет $2,81 \cdot 10^{-2}$.

3.1.3. Экспертный выбор сценариев пожара

Согласно п. 17 Методики сформулируем сценарии развития пожара. На рис. 1 и 2 представлены планы этажей рассматриваемого здания.

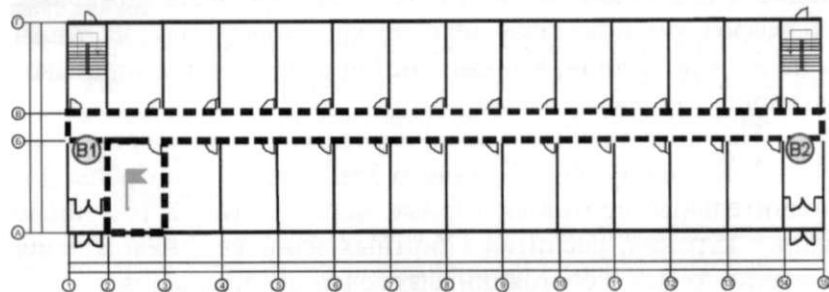


Рис. 1. План первого этажа здания:

B1 и B2 – расположение эвакуационных выходов;

▲ – очаг пожара; - - - - граница расчетной области

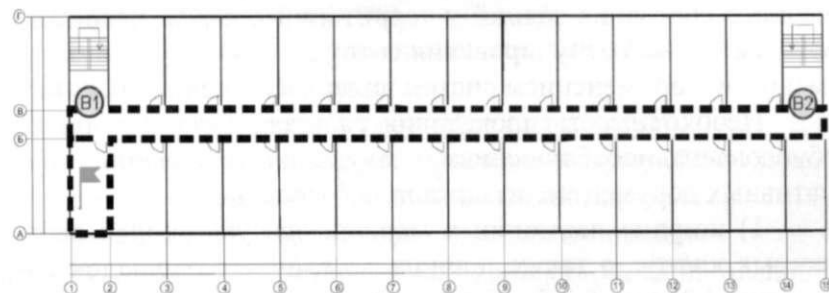


Рис. 2. План второго этажа здания:

B1 и B2 – расположение эвакуационных выходов;

▲ – очаг пожара; - - - - граница расчетной области

Описание сценариев развития пожара

Расчетная область на рисунках обведена пунктирной линией. Флажком на рисунках отмечены места нахождения первичного очага пожара. Место возникновения пожара способствует быстрому распространению опасных факторов пожара в рассматриваемой расчетной области.

Выбор расчетной области связан с уменьшением рассматриваемого объема и как следствие более жестким сценарием развития пожара.

Сценарий № 1

Пожар возникает в помещении гостиничного номера, расположенном на первом этаже в осях А-Б/2-3, на уровне пола (рис. 1). Месторасположение очага пожара способствует быстрому распространению ОФП с последующим блокированием эвакуационных выходов.

При проведении расчетов рассматривалось помещение очага пожара и коридор в осях Б-В/1-15. Все двери, за исключением помещения очага пожара, считались закрытыми. От первичного очага пламя распространяется по тканям, мебели и бытовым изделиям.

Сценарий № 2

Пожар возникает в помещении гостиничного номера, расположенном на втором этаже в осях А-Б/1-2, на уровне пола (рис. 2). Месторасположение очага пожара способствует быстрому распространению ОФП с последующим блокированием эвакуационных выходов.

При проведении расчетов рассматривалось помещение очага пожара и коридор в осях Б-В/1-15. Все двери, за исключением помещения очага пожара, считались закрытыми. От первичного очага пламя распространяется по тканям, мебели и бытовым изделиям.

3.1.4. Выбор метода математического моделирования пожара

Согласно прил. № 6 Методики сформулируем математическую модель развития пожара.

Для описания термогазодинамических параметров пожара применяются три основных группы детерминистических моделей: интегральные, зонные (зональные) и полевые.

Данные модели имеют следующие области применения:

интегральный метод:

для зданий, содержащих развитую систему помещений малого объема простой геометрической конфигурации;

для помещений, где характерный размер очага пожара соизмерим с характерными размерами помещения и размеры помещения соизмеримы между собой (линейные размеры помещения отличаются не более чем в 5 раз);

для предварительных расчетов с целью выявления наиболее опасного сценария пожара;

зонный (зональный) метод:

для помещений и систем помещений простой геометрической конфигурации, линейные размеры которых соизмеримы между собой (линейные размеры помещения отличаются не более чем в 5 раз), когда размер очага пожара существенно меньше размеров помещения;

для рабочих зон, расположенных на разных уровнях в пределах одного помещения (наклонный зрительный зал кинотеатра, антресоли и т. д.);

полевой метод:

для помещений сложной геометрической конфигурации, а также помещений с большим количеством внутренних преград (атриумы с системой галерей и примыкающих

коридоров, многофункциональные центры со сложной системой вертикальных и горизонтальных связей и т. д.);

для помещений, в которых один из геометрических размеров гораздо больше (меньше) остальных (тоннели, закрытые автостоянки большой площади и т. д.);

для иных случаев, когда применимость или информативность зонных и интегральных моделей вызывает сомнение (уникальные сооружения, распространение пожара по фасаду здания, необходимость учета работы систем противопожарной защиты, способных качественно изменить картину пожара, и т. д.).

Поскольку длина коридора отличается от ширины и высоты более чем в 5 раз, при проведении расчетов будем использовать полевой метод математического моделирования.

3.1.5. Исходные данные для проведения расчетов по распространению опасных факторов пожара

Согласно прил. № 6 Методики при проведении расчетов рассматриваются три основных вида развития пожара: круговое распространение пожара по твердой горючей нагрузке, линейное распространение пожара по твердой горючей нагрузке, неустановившееся горение горючей жидкости.

Скорость выгорания для этих случаев определяется формулами:

$$\Psi = \begin{cases} \Psi_{уд} \pi v^2 t^2 & \text{— для кругового распространения пожара,} \\ \Psi_{уд} 2vtb & \text{— для линейного распространения пожара,} \\ \Psi_{уд} F \sqrt{\frac{t}{t_{ст}}} & \text{— для неустановившегося горения ГЖ,} \end{cases} \quad (5)$$

где $\psi_{уд}$ – удельная скорость выгорания (для жидкостей установившаяся), $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$; v – скорость распространения пламени, м/с; b – ширина полосы горючей нагрузки, м; $t_{ст}$ – время стабилизации горения горючей жидкости, с; F – площадь очага пожара, м^2 .

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.

Предельно допустимые значения по каждому из опасных факторов пожара составляют:

по повышенной температуре – 70°C ;

по тепловому потоку – 1400 Вт/м^2 ;

по потере видимости – 20 м (для случая, когда оба горизонтальных линейных размера помещения меньше 20 м, предельно допустимое расстояние по потере видимости следует принимать равным наибольшему горизонтальному линейному размеру);

по пониженному содержанию кислорода – $0,226 \text{ кг/м}^3$;

по каждому из токсичных газообразных продуктов горения: CO_2 – $0,11 \text{ кг/м}^3$; CO – $1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$; HCl – $23 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$.

При использовании полевой модели определение критического времени имеет существенные особенности, связанные с тем, что критическое значение в различных точках помещения достигается не одновременно. Для помещений с соизмеримыми горизонтальными размерами критическое время определяется как максимальное из критических времен для эвакуационных выходов из данного помещения (время блокирования последнего выхода).

Определяется время блокирования $t_{бл}$:

$$t_{бл} = \min \left\{ t_{кр}^{п.в}, t_{кр}^T, t_{кр}^{т.г}, t_{кр}^{O_2}, t_{кр}^{т.п} \right\}. \quad (6)$$

При проведении расчета ОФП исходя из функционального назначения помещения очага пожара в соответствии с табл. 1 при расчетах для сценариев 1 и 2 используем следующие физико-химические свойства горючей нагрузки (жилые помещения гостиниц, общежитий и т. д.):

Низшая теплота сгорания, кДж/кг	13,800
Линейная скорость пламени, м/с	0,0045
Удельная скорость выгорания, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	0,0145
Дымообразующая способность, Нп · $\text{м}^2/\text{кг}$	270,00
Потребление O_2 , $\text{кг}/\text{кг}$	1,0300
Выделение газа:	
CO_2 , $\text{кг}/\text{кг}$	0,20300
CO , $\text{кг}/\text{кг}$	0,00220
HCl , $\text{кг}/\text{кг}$	0,01400

3.1.6. Описание полевого метода моделирования пожара в здании

Для расчета времени блокирования $t_{бл}$ в соответствии с Методикой был выбран полевой метод моделирования пожара.

Использованная математическая модель включала в себя следующие основные уравнения:

Уравнение сохранения массы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = 0.$$

Уравнение сохранения импульса:

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

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

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

Уравнение энергии:

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

где $h = h_0 + \int_{T_0}^T c_p dT + \sum_k (Y_k H_k)$ – статическая энтальпия смеси;

H_k – теплота образования k -го компонента; $c_p = \sum_k Y_k c_{p,k}$ – теплоемкость смеси при постоянном давлении; q_j^R – радиационный поток энергии в направлении x_j .

Уравнение сохранения химического компонента k :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j Y_k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho D \frac{\partial Y_k}{\partial x_j} \right) + S_k.$$

Для замыкания системы уравнений используется уравнение состояния идеального газа. Для смеси газов оно имеет вид

$$p = \rho R_0 T \sum_k \frac{Y_k}{M_k},$$

где R_0 – универсальная газовая постоянная; M_k – молярная масса k -го компонента.

3.1.7. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития

Сценарий 1

Очаг пожара находится в гостиничном номере, расположенном на первом этаже в осях А-Б/2-3, на уровне пола.

Динамику данного варианта развития пожара можно проиллюстрировать следующими основными моментами:

40 с – продукты горения достигают потолка помещения очага пожара и распространяются под ним в радиальном направлении;

60 с – на большей части площади помещения очага пожара дым с концентрацией, превышающей критическое значение, опускается ниже отм. 1,7 м от уровня пола, блокируется по признаку потери видимости выход из помещения очага пожара (рис. 3);

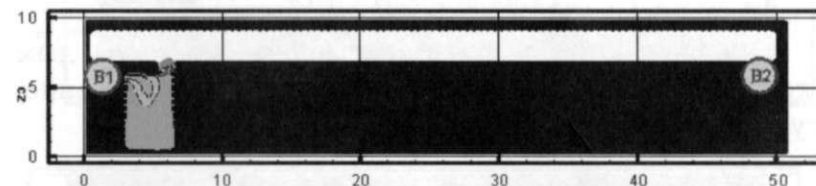


Рис. 3. Поля оптической плотности дыма (H_n/m) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 60 с

80 с – на части площади коридора дым опускается ниже отм. 1,7 м от уровня пола (рис. 4);

160 с – блокируется по признаку потери видимости эвакуационный выход В1 (рис. 5). На отдельных участках площади коридора температура превышает критическое значение, однако блокирование эвакуационного выхода В1 по признаку повышения температуры не происходит (рис. 8);

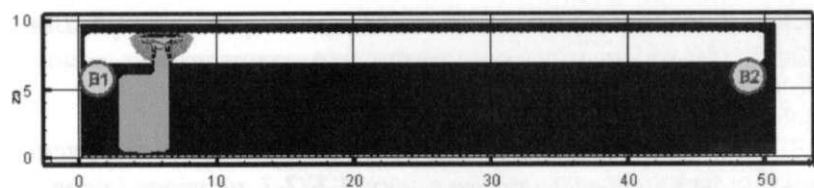


Рис. 4. Поля оптической плотности дыма (Hn/m) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 80 с

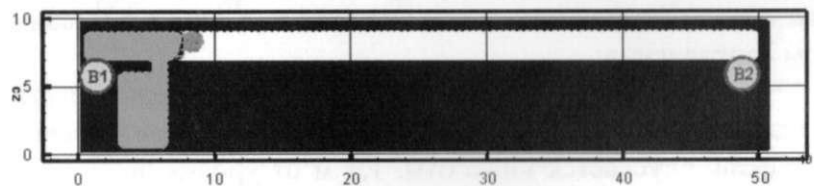


Рис. 5. Поля оптической плотности дыма (Hn/m) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 160 с

300 с – на большей части площади коридора дым с концентрацией, превышающей критическое значение, опускается ниже отм. 1,7 м от уровня пола (рис. 6);

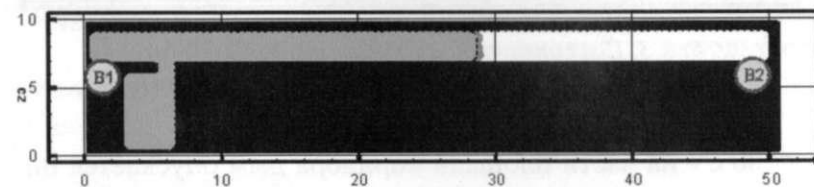


Рис. 6. Поля оптической плотности дыма (Hn/m) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 300 с

360 с – происходит блокирование всех рассматриваемых эвакуационных выходов по следующим признакам: потеря видимости (рис. 7), повышение температуры (рис. 9), повы-

шение концентрации HCl (рис. 10), понижение концентрации O_2 (рис. 12). Блокирование эвакуационных выходов по признаку повышения концентрации CO_2 не происходит (рис. 11).

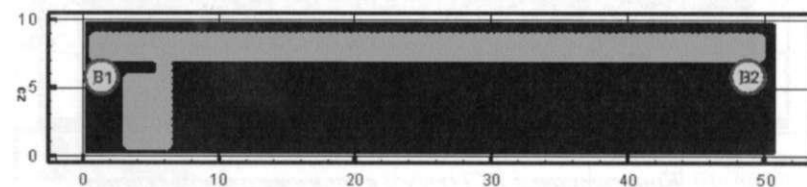


Рис. 7. Поля оптической плотности дыма (Hn/m) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 360 с

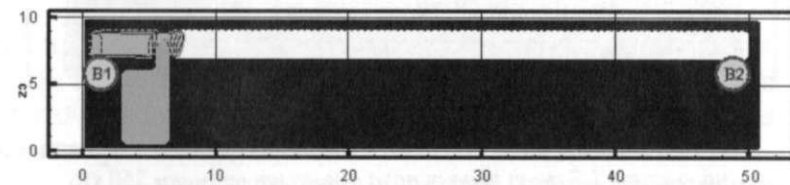
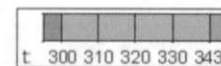


Рис. 8. Поля температуры (K) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 160 с

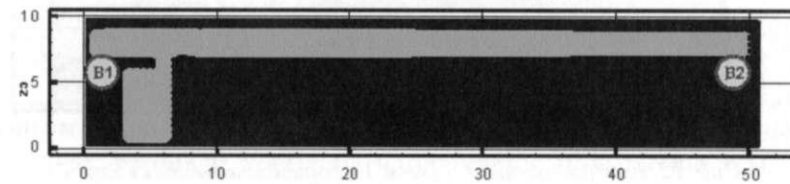
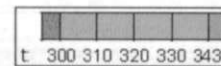


Рис. 9. Поля температуры (K) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 360 с

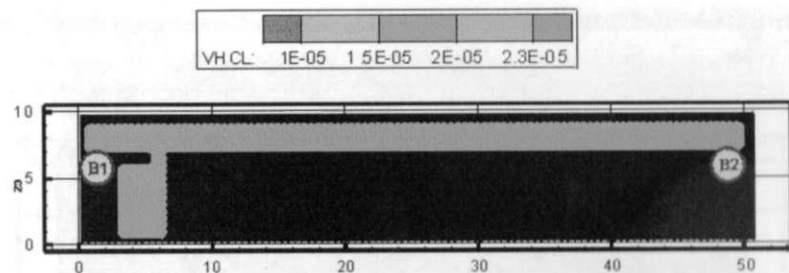


Рис. 10. Концентрация HCl ($\text{кг}/\text{м}^3$) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 360 с

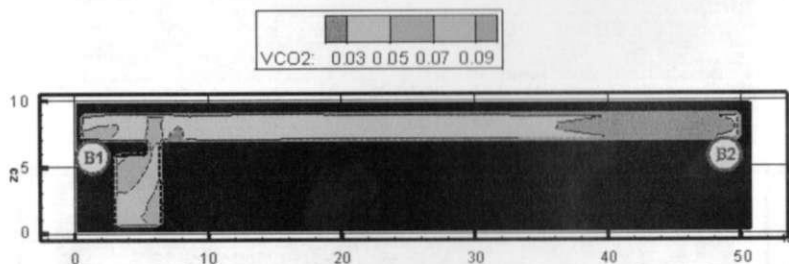


Рис. 11. Концентрация CO_2 ($\text{кг}/\text{м}^3$) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 360 с

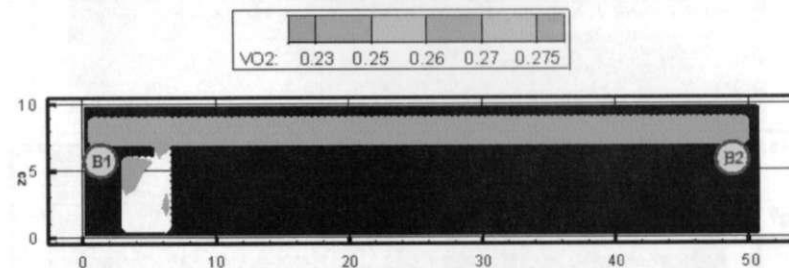


Рис. 12. Концентрация O_2 ($\text{кг}/\text{м}^3$) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 360 с

Более подробная информация о времени блокирования отдельных эвакуационных выходов представлена в табл. 2.

Результаты расчета показывают, что наиболее опасным фактором пожара из всех рассмотренных является потеря видимости.

Таблица 2

Время блокирования $t_{бл}$ ОФП путей эвакуации

№ вы-хода	Путь эвакуа-ции	Время блокирования, с					Потеря видимости
		CO_2	CO	HCl	T	O_2	
1	Б/1-2	>160	---	>160	>160	>160	160
2	Б/14-15	>360	---	360	360	360	360

Сценарий 2

Очаг пожара находится в гостиничном номере, расположенном на втором этаже в осях А-Б/1-2, на уровне пола.

Динамику данного варианта развития пожара можно проиллюстрировать следующими основными моментами:

20 с – продукты горения достигают потолка помещения очага пожара и распространяются под ним в радиальном направлении;

40 с – на отдельных участках площади помещения очага пожара дым опускается ниже отм. 1,7 м от уровня пола, блокирование выхода из помещения очага пожара не происходит (рис. 13);

80 с – на отдельных участках площади коридора дым с концентрацией, превышающей критическое значение, опускается ниже отм. 1,7 м от уровня пола, блокируется по признаку потери видимости эвакуационный выход В1 (рис. 14);

160 с – блокируются по признаку потери видимости выходы из жилых комнат в осях 2-3/А-Г (рис. 15). На отдельных участках площади коридора наблюдается повышение температуры выше критического значения (рис. 18). На отдельных участках площади коридора наблюдается повышение концентрации HCl выше критического значения (рис. 21);

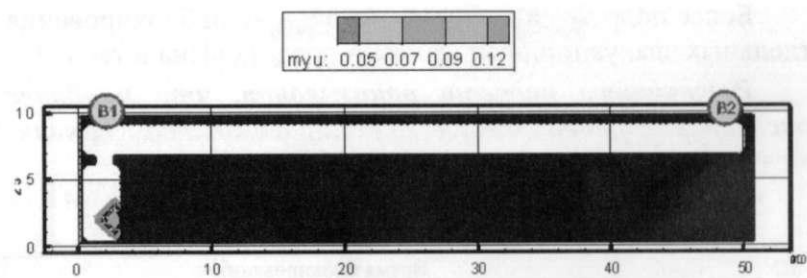


Рис. 13. Оптическая плотность дыма (Нп/м) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 40 с

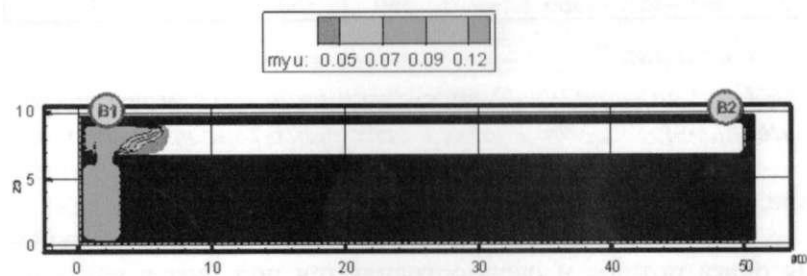


Рис. 14. Оптическая плотность дыма (Нп/м) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 80 с

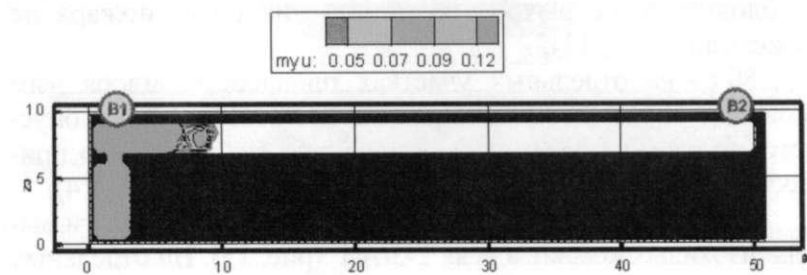


Рис. 15. Оптическая плотность дыма (Нп/м) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 160 с

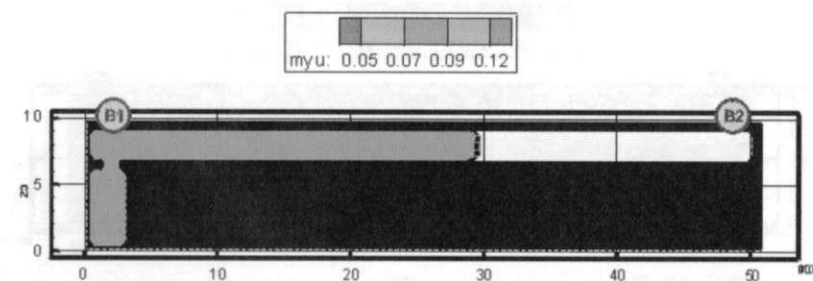


Рис. 16. Оптическая плотность дыма (Нп/м) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 280 с

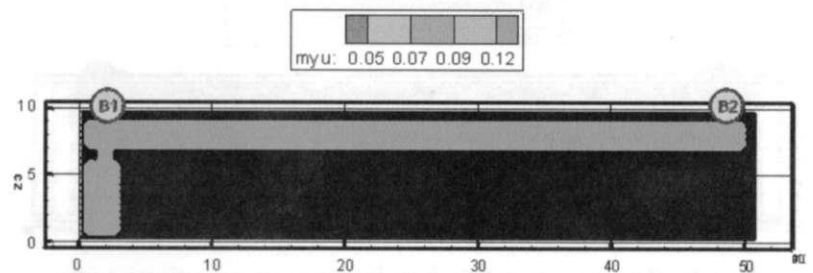


Рис. 17. Оптическая плотность дыма (Нп/м) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 340 с

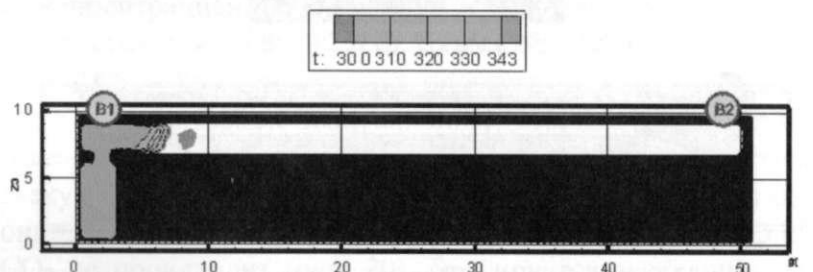


Рис. 18. Поля температуры (К) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 160 с

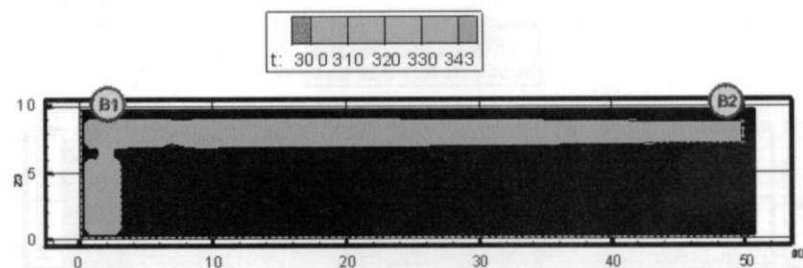


Рис. 19. Поля температуры (K) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 340 с

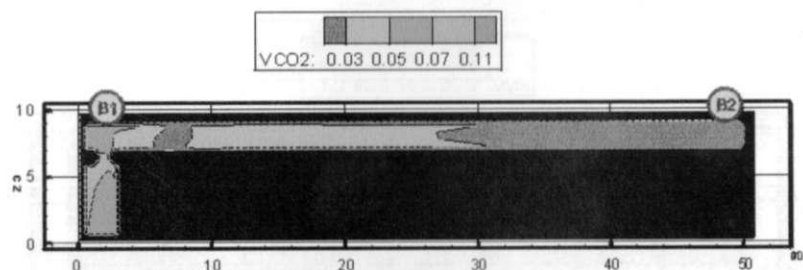


Рис. 20. Концентрация CO₂ (кг/м³) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 340 с

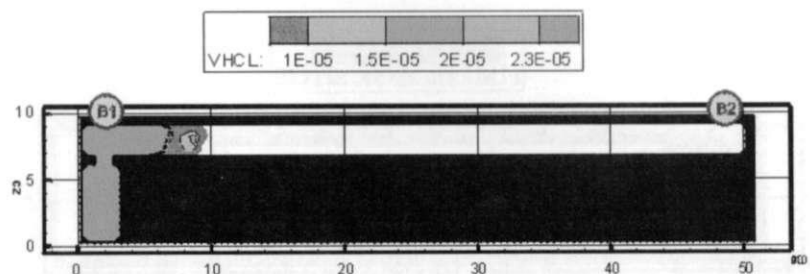


Рис. 21. Концентрация HCl (кг/м³) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 160 с

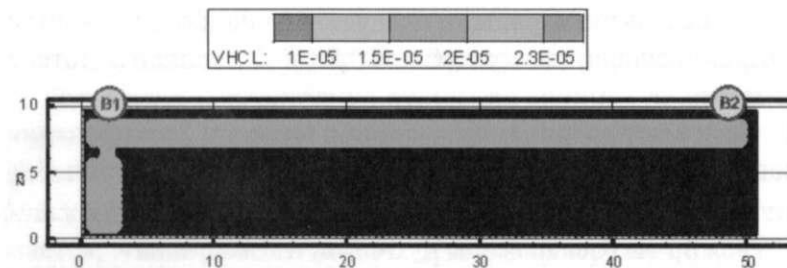


Рис. 22. Концентрация HCl (кг/м³) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 340 с

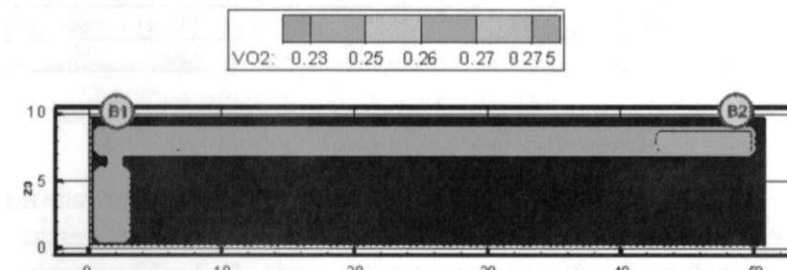


Рис. 23. Концентрация O₂ (кг/м³) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 340 с

280 с – на большей части площади коридора дым с концентрацией, превышающей критическое значение, опускается ниже отм. 1,7 м от уровня пола (рис. 16);

340 с – блокируются по признаку потери видимости все рассматриваемые эвакуационные выходы второго этажа (рис. 17). Блокируется по признаку повышения температуры эвакуационный выход B2 (рис. 19). Блокирование эвакуационного выхода B2 по признаку повышения концентрации CO₂ не происходит (рис. 20). Блокируется эвакуационный выход B2 по признаку повышения концентрации HCl (рис. 22). Блокирование эвакуационного выхода B2 по признаку понижения концентрации O₂ не происходит (рис. 23).

Из результатов расчета следует, что наиболее опасным фактором пожара, из всех рассмотренных, является потеря видимости.

Более подробная информация о времени блокирования отдельных эвакуационных выходов представлена в табл. 3.

Таблица 3

Время блокирования $t_{\text{бл}}$ ОФП путей эвакуации

№ выхода	Путь эвакуации	Время блокирования, с					потеря видимости
		CO ₂	CO	HCl	T	O ₂	
1	В/1-2	>80	---	>80	>80	>80	80
2	В/14-15	>340	---	340	340	>340	340

3.1.8. Методика расчета времени эвакуации людей при пожаре

Расчетное время эвакуации людей определяется по математической модели индивидуально-поточного движения людей из здания, приведенной в прил. № 3 к Методике.

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 и 0,25 м. Задаются координаты каждого человека x_i – расстояние от центра эллипса до конца эвакуационного участка, на котором он находится (рис. 24). 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. При этом исходя из габаритов человека в плане и размеров эвакуационного участка (длина и ширина) для каждого эвакуационного участка определяются максимально возможное количество человек в одном ряду сбоку друг от друга и максимально возможное количество людей на участке.

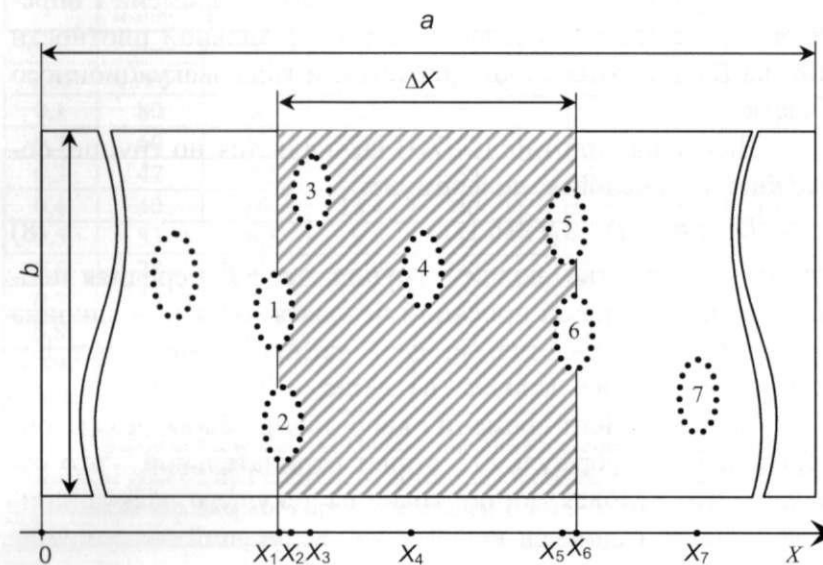


Рис. 24. Координатная схема размещения людей на путях эвакуации

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 т. п., допускается размещать людей равномерно по всей площади помещения с учетом расстановки технологического оборудования.

Координата каждого человека в момент времени t определяется по формуле

$$x_i(t) = x_i(t - \Delta t) - V_i(t)\Delta t, \quad (7)$$

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; Δt – промежуток времени, с.

Скорость i -го человека $V_i(t)$ в момент времени t определяется по табл. 4 в зависимости от локальной плотности потока $D_i(t)$, в котором он движется, и типа эвакуационного участка.

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

$$D_i(t) = (n(t) - 1)f / (b\Delta x), \quad (8)$$

где n – количество людей в группе, чел.; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, м²/м²; b – ширина эвакуационного участка, м; Δx – разность координат последнего и первого человека в группе, м.

Если в момент времени t координата человека $x_i(t)$, определенная по формуле (7), станет отрицательной – это означает, что человек достиг границы текущего эвакуационного участка и должен перейти на следующий эвакуационный участок.

В этом случае координата этого человека на следующем эвакуационном участке определяется:

$$x_i(t) = [x_i(t - dt) - V_i(t)dt] + a_j - l_j, \quad (9)$$

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.

Таблица 4

Плотность потока D , м ² /м ²	Горизонтальный путь		Дверной проем, интенсивность q , м·мин ⁻¹	Лестница вниз		Лестница вверх	
	Скорость V , м·мин ⁻¹	Интенсивность q , м·мин ⁻¹		Скорость V , м·мин ⁻¹	Интенсивность q , м·мин ⁻¹	Скорость V , м·мин ⁻¹	Интенсивность q , м·мин ⁻¹
0,01	100	1	1	100	1	60	0,6
0,05	100	5	5	100	5	60	3
0,1	80	8	8,7	95	9,5	53	5,3
0,2	60	12	13,4	68	13,6	40	8
0,3	47	14,1	16,5	52	16,6	32	9,6
0,4	40	16	18,4	40	16	26	10,4
0,5	33	16,5	19,6	31	15,6	22	11
0,6	28	16,3	19,05	24,5	14,1	18,5	10,75
0,7	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,8	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,9 и более	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

Примечание. Табличное значение интенсивности движения в дверном проеме при плотности потока 0,9 и более, равное 8,5 м·мин⁻¹, установлено для дверного проема шириной 1,6 м и более, а при дверном проеме меньшей ширины d интенсивность движения следует определять по формуле $q = 2,5 + 3,75d$.

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

$$Q_j(t) = q_j(t)c_j dt / (f60), \quad (10)$$

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, м².

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 -м эвакуационном участке $Dv_j(t)$ м²/м² в момент времени t определяется по формуле

$$Dv_j(t) = (N_j f dt) / (a_j b_j), \quad (11)$$

где N_j – число людей на j -м эвакуационном участке, чел.; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, м²; 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 $x_i(t)$, рассчитанными по формуле (7). Если значение $m \leq Q_j(t)$, то все m человек переходят на следующий эвакуационный участок и их координаты определяются в соответствии с формулой (9). 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 (9), 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 $x_i(t) = k0,25 + 0,25$, 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, перед выходом с эвакуационного участка возникает скопление людей.

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 $t = t + dt$ 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.

3.1.9. Результаты расчета времени эвакуации t_p

В соответствии с вышеизложенной методикой созданы алгоритм и вычислительная программа по определению характеристик процесса эвакуации.

Время эвакуации определяется без учета времени задержки на оповещение людей о пожаре, т. е. все люди, находящиеся в здании, после получения сигнала о пожаре начинают одновременно движение к эвакуационным выходам.

Параметры путей эвакуации задавались в соответствии с проектом.

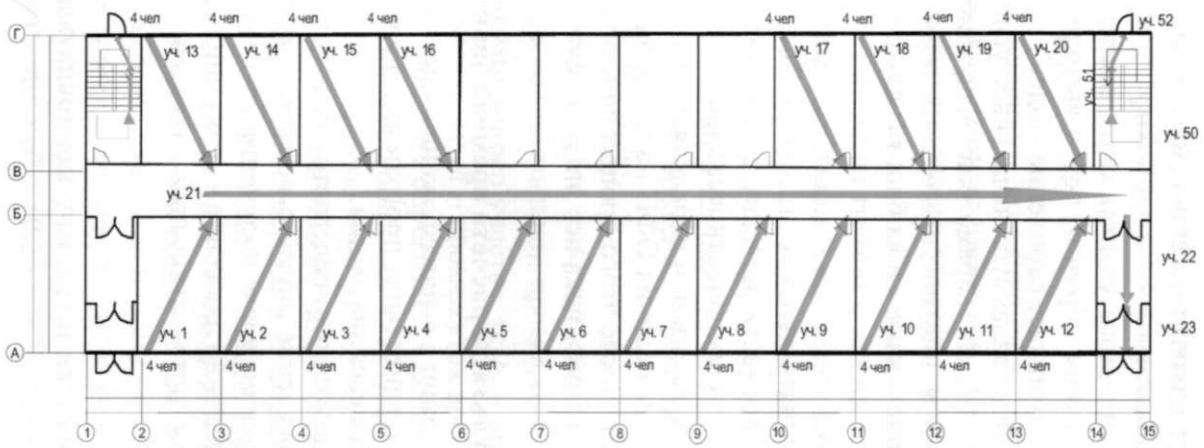


Рис. 25. Расчетная схема эвакуации для сценария № 1

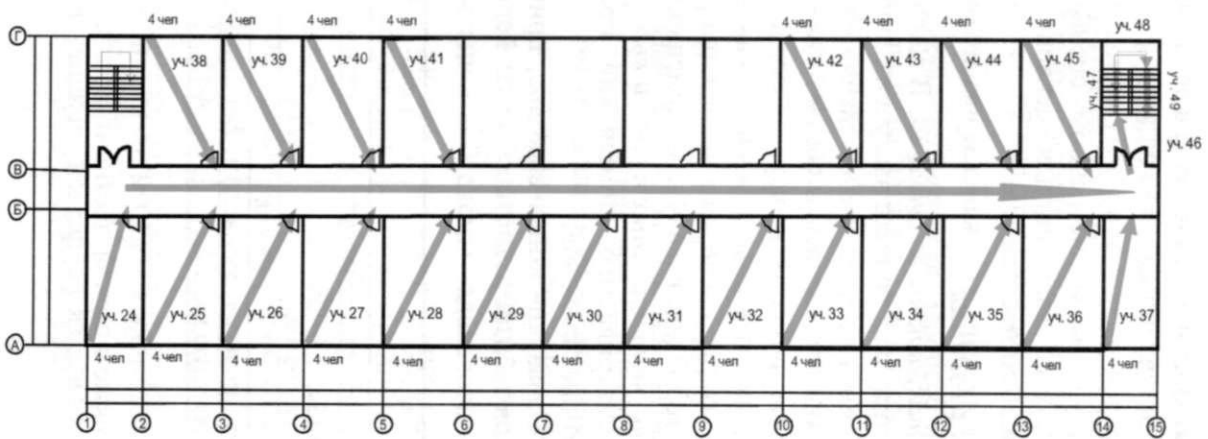


Рис. 26. Расчетная схема эвакуации для сценария № 2

Количество людей в здании задавалось в соответствии с данными, предоставленными заказчиком.

Ниже приведен расчет одного из вариантов эвакуации людей, соответствующий рассмотренному сценарию пожара.

Расчетные схемы эвакуации для сценариев 1 и 2 приведены на рис. 25 и 26 соответственно.

Эвакуация из здания

Описание эвакуационного сценария. В данном расчетном сценарии рассматривался процесс эвакуации людей из жилых помещений первого и второго этажей здания. Расчет данного варианта эвакуации проводился в соответствии с первым и вторым сценариями развития пожара. Опасные факторы пожара распространяются в объеме жилого здания, блокируют эвакуационные выходы, после чего начинается распространение опасных факторов пожара в объеме помещения.

Параметры эвакуационных путей и выходов. Для эвакуации из рассматриваемых помещений предусмотрены шесть эвакуационных выходов.

Параметры эвакуационных выходов, принятые в расчете, приведены в табл. 5.

Таблица 5

№ п/п	Тип выхода	Оси расположения	Ширина выхода, не менее, м
Уровень 1			
B1	Наружу из здания	Б/1-2	1,2
B2	Наружу из здания	Б/14-15	1,2
Уровень 2			
B1	В лестничную клетку	В/1-2	1,2
B2	В лестничную клетку	В/14-15	1,2

Ширина лестничных маршей эвакуационных лестничных клеток, а также ширина лестничных площадок принималась 1,1 м.

При проведении расчетов принимается, что люди находятся в своих комнатах.

Расчетное количество людей. Количество людей в помещениях принималось исходя из данных заказчика и составило на 2-м этаже – 82 чел., на 1-м этаже – 78 чел.

Дополнительные условия – отсутствуют.

Описание процесса эвакуации. Процесс эвакуации людей для данного варианта расчета в соответствии с рассматриваемой проектной аварией можно описать следующим образом. При обнаружении пожара или при поступлении сигнала от системы оповещения люди выходят из своих номеров в коридор, далее движутся по коридору и со второго этажа выходят в лестничную клетку, спускаются вниз, после чего выходят наружу из здания. С первого этажа люди, выйдя в коридор, движутся в направлении эвакуационного выхода, после чего выходят в тамбур и далее наружу из здания.

Направление движения людей. При расчете времени движения людей из рассматриваемого помещения при построении эвакуационной схемы задавалось наиболее предпочтительное (наиболее вероятное) направление движения людей к эвакуационным выходам. Предполагалось, что при эвакуации из помещения люди движутся в сторону ближайших к ним выходов.

Особенности процесса эвакуации. При движении людей вблизи выходов значительных заторов не образуется.

Движение по лестничным клеткам. Во время движения людей по лестничным клеткам плотность людского потока не превышает значение 0,5.

Время эвакуации людей наружу из здания составляет 96 с.

Результаты расчетов для некоторых путей эвакуации людей из зданий приведены в табл. 6, а характеристики процесса эвакуации представлены на рис. 27 и 28.

Таблица 6

Время эвакуации людей

Помещение	Время эвакуации, с
Коридор на отм. 0,000	49
Коридор на отм. 2,500	86

В результате проведенных расчетов было установлено, что плотность людского потока не превышает значение 0,5.

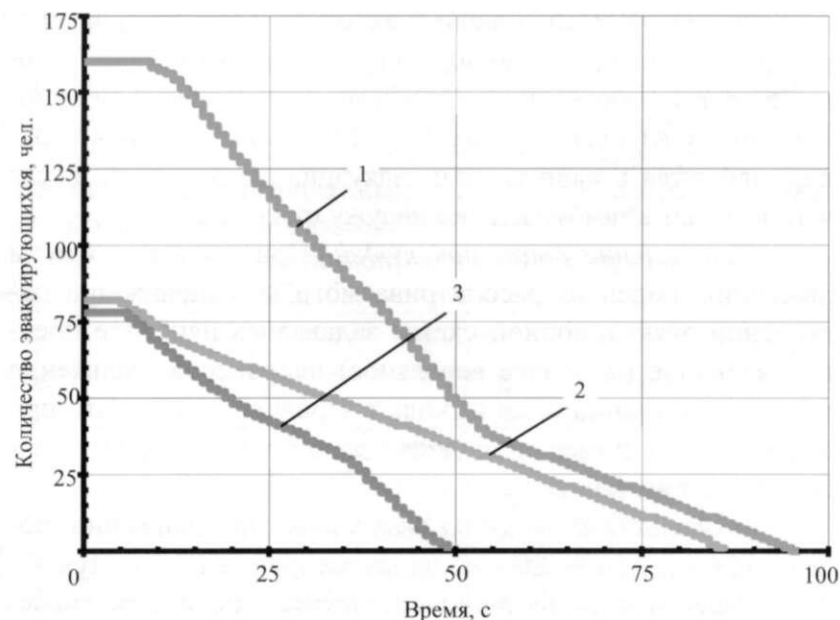


Рис. 27. Динамика эвакуации людей из жилого здания:

1 — всех людей наружу из здания; 2 — из помещения второго этажа в выход В2; 3 — из помещений первого этажа наружу в выход В2

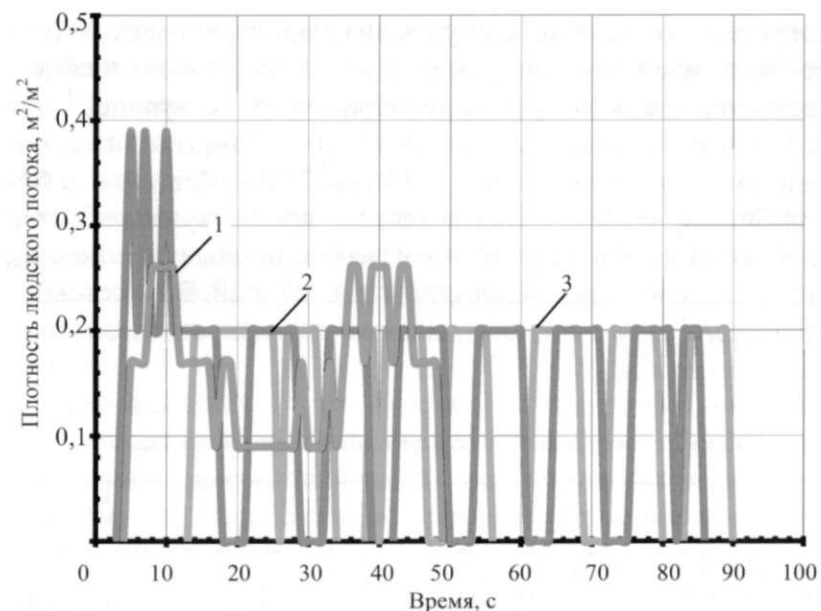


Рис. 28. Плотность людского потока на путях эвакуации:
1 — перед выходом в осях Б/14-15 на отм. 0,000; 2 — перед выходом в лестничную клетку в осях В/14-15 на отм. 2,500; 3 — перед выходом в осях Г/14-15 на отм. 0,000

3.1.10. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития

Вероятность эвакуации людей из здания при пожаре P_3 рассчитывают по формуле (3) Методики. В табл. 7 приведены значения параметров, необходимых для расчета P_3 для различных частей здания. Во 2-м столбце таблицы приведено время блокирования соответствующего выхода или помещения в случае пожара $t_{бл}$ (согласно Методике критическое время по каждому из опасных факторов пожара определяется как время достижения этим фактором предельно

допустимого значения на путях эвакуации), в 3-м столбце – необходимое время эвакуации людей $0,8t_{\text{бл}}$, в 4-м столбце – расчетное время эвакуации людей из соответствующей зоны t_p . В 5-м столбце приведено время начала эвакуации $t_{\text{нэ}}$, определенное в соответствии с п. 1 прил. № 5 к Методике. В 6-м столбце приведено максимальное время существования скоплений людей на различных эвакуационных участках $t_{\text{ск}}$, определенное на основе разд. 5 и рис. 27 и 28. В 7-м столбце приведено рассчитанное значение вероятности эвакуации людей из здания P_3 .

Таблица 7

Определение вероятности эвакуации людей из здания

Сценарий пожара	$t_{\text{бл}}, \text{с}$	$0,8t_{\text{бл}}, \text{с}$	$t_p, \text{с}$	$t_{\text{нэ}}, \text{с}$	$t_{\text{ск}}, \text{с}$	P_3
Пожар в гостиничном номере на первом этаже в осях А-Б/2-3	360	288	49	120	<360	0,999
Пожар в гостиничном номере на втором этаже в осях А-Б/1-2	340	272	86	120	<360	0,999

3.1.11. Сценарий № 1. Очаг пожара находится в гостиничном номере, расположенном на первом этаже в осях А-Б/2-3, на уровне пола

Расчетная величина индивидуального пожарного риска $Q_{\text{в1}}$ для людей, находящихся в рассматриваемом здании, определяется по формуле (2) Методики.

Частота возникновения пожара в здании составляет $2,81 \cdot 10^{-2}$.

Коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов по пожарной безопасности срабатывания установок автоматического пожаротушения, согласно п. 8 Методики составляет $K_{\text{ап1}} = 0,9$.

Вероятность присутствия людей в здании определяется на основе времени нахождения людей в здании в течении суток и составляет 24 ч. Следовательно, $P_{\text{пр1}} = 1,0$.

Значение вероятности эвакуации людей $P_{31} = 0,999$ (табл. 6).

Коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, определяется по формуле (4) Методики. При этом согласно пп. 22, 25 и 26 Методики $K_{\text{обн}} = 0,8$; $K_{\text{соуэ}} = 0,8$; $K_{\text{пдз}} = 0,8$. Следовательно, $K_{\text{п.з1}} = 0,8704$.

Подставляя полученные значения в формулу (2) Методики, получаем $Q_{\text{в1}} = 0,673 \cdot 10^{-6}$.

3.1.12. Сценарий № 2. Очаг пожара находится в гостиничном номере, расположенном на втором этаже в осях А-Б/1-2, на уровне пола

Расчетная величина индивидуального пожарного риска $Q_{\text{в2}}$ для людей, находящихся в рассматриваемом здании, определяется по формуле (2) Методики.

Частота возникновения пожара в здании составляет $2,81 \cdot 10^{-2}$.

Коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов по пожарной безопасности срабатывания

установок автоматического пожаротушения, согласно п. 8 Методики составляет $K_{ап2} = 0,9$.

Вероятность присутствия людей в здании определяется на основе времени нахождения людей в здании в течении суток и составляет 24 ч. Следовательно, $P_{пр2} = 1,0$.

Значение вероятности эвакуации людей $P_{э2} = 0,999$ (табл. 7).

Коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, определяется по формуле (4) Методики. При этом согласно пп. 22, 25 и 26 Методики $K_{обн} = 0,8$; $K_{соуэ} = 0,8$; $K_{пдз} = 0,8$. Следовательно, $K_{п.э2} = 0,8704$.

Подставляя полученные значения в формулу (2) Методики, получаем $Q_{в2} = 0,673 \cdot 10^{-6}$.

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

$$Q_v = \max \{ Q_{в1}, \dots, Q_{ви}, \dots, Q_{вн} \},$$

Таким образом, $Q_v = Q_{в1} = Q_{в2} = 0,673 \cdot 10^{-6} < Q_v^н = 10^{-6}$ и соотношение (1) выполняется.

Следовательно, расчетное значение индивидуального пожарного риска не превышает нормативное и пожарный риск не превышает допустимое значение (безопасность людей обеспечивается).

Выводы

На основании проведенных расчетов установлено, что пожарный риск для рассматриваемого здания не превышает допустимого значения, установленного Федеральным законом от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Вывод справедлив для исходных данных, представленных в расчете (объемно-планировочные и архитектурные решения, количество людей и т. д.). При изменении исходных данных расчет пожарного риска должен быть проведен повторно.

Исполнитель 1

Исполнитель 2

Исполнитель 3

3.2. Пример расчета для здания класса функциональной пожарной опасности Ф4.3

3.2.1. Анализ пожарной опасности объекта

Объект представляет собой сооружение I степени огнестойкости, относится к 1-му уровню ответственности и включает в себя:

несущий каркас (кроме конструкций навеса), состоящий из монолитных железобетонных конструкций (фундаменты, колонны, балки, перекрытия); основные несущие конструкции сооружения (стены, колонны и перекрытия) I степени огнестойкости, класса конструктивной пожарной опасности С0. Класс пожарной опасности строительных конструкций – К0.

Система противопожарной защиты (СПЗ) предусматривает:

- автоматическую пожарную сигнализацию адресно-аналогового типа;
- систему обнаружения пожара и оповещения людей при пожаре;
- противодымную защиту (дымоудаление и подпор воздуха);
- внутренний противопожарный водопровод;
- спринклерное автоматическое пожаротушение (только в здании «А»);
- обеспечение подъезда пожарных автомобилей со всех сторон комплекса.

В противопожарной защите здания применяются конструкции, материалы, оборудование, системы и другие средства, обеспечивающие надлежащий уровень защиты и надежности, установленный Федеральным законом от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожар-

ной безопасности». Строительные, отделочные и теплоизоляционные материалы, подлежащие обязательной сертификации в области пожарной безопасности, средства огнезащиты строительных конструкций и материалов (составы, покрытия, краски, пропитки), заполнение проемов в противопожарных преградах (противопожарные двери, ворота, клапаны, окна), оборудование противопожарных систем имеют сертификаты пожарной безопасности Российской Федерации.

Необходимость проведения расчета пожарного риска обусловлена несоблюдением следующих требований нормативных документов по пожарной безопасности:

1) ширина лестничных маршей эвакуационных лестничных клеток, а также ширина лестничных площадок составляет 1,3 м (п. 8.3.2 СП 1.13130.2009);

2) ширина эвакуационных выходов в лестничные клетки составляет 1 м (п. 8.3.2 СП 1.13130.2009).

3.2.2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций

Согласно п. 8 Методики для рассматриваемого офисного здания частота возникновения пожара в течение года составляет $4 \cdot 10^{-2}$ (отсутствие статистической информации).

3.2.3. Построение графиков зависимости опасных факторов пожара от времени для различных сценариев его развития

Согласно п. 17 Методики сформулируем сценарии развития пожара. На рис. 29 и 30 представлены планы этажей рассматриваемого здания «А». Пунктирной линией на рисунках указана граница расчетной области. Флажком отмечены места нахождения первичного очага пожара.

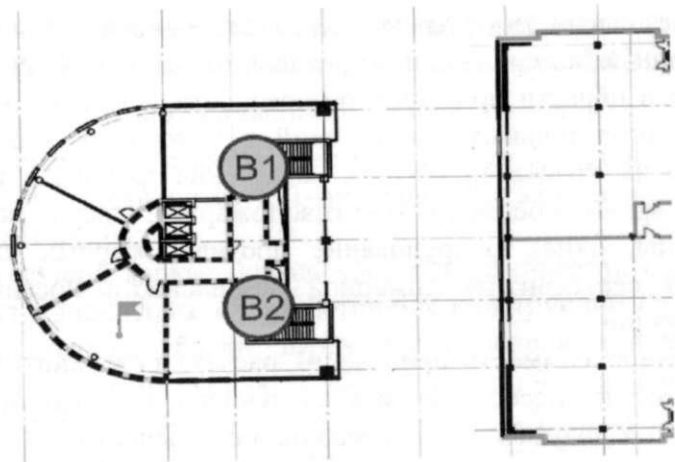


Рис. 29. Фрагмент здания с расчетной областью по 1-му сценарию пожара:

B1 и B2 – расположение эвакуационных выходов;
 ■ – очаг пожара; - - - граница расчетной области

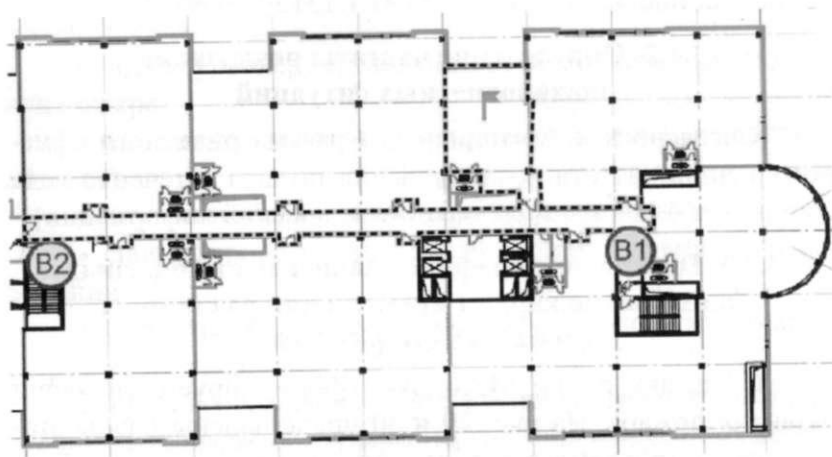


Рис. 30. План четвертого этажа здания «Б»:

B1 и B2 – расположение эвакуационных выходов;
 ■ – очаг пожара; - - - граница расчетной области

Место возникновения пожара способствует быстрому распространению опасных факторов пожара в рассматриваемой расчетной области.

Выбор расчетной области связан с уменьшением рассматриваемого объема и как следствие с более жестким сценарием развития пожара и его опасных факторов.

Описание сценариев развития пожара

Сценарий № 1

Очаг пожара возникает в офисе 11-го этажа (помещение 11-3 площадью $80,6 \text{ м}^2$). Пламя распространяется по офисной мебели и оргтехнике (дерево, ДСП, хлопок, поролон, пластик).

Над очагом пожара формируется факел пламени и восходящий поток продуктов горения (свободная конвективная колонка). Конвективная колонка, поднимаясь над очагом пожара, достигает потолка и радиально растекается по нему веерной струей. Растекаясь от зоны разворота, припотолочная струя вовлекает в движение воздух (после образования задымленной зоны – дым) из подстилающего слоя.

Достигнув стен, струя затормаживается, разворачивается вниз и пополняет относительно холодный подстилающий слой дымовых газов. Формируется задымленная зона, заполняющая объем комнаты. После опускания слоя дыма ниже верхнего среза открытой двери часть дыма распространяется в общий коридор (помещение 11-6 площадью $52,5 \text{ м}^2$), а через нижнюю часть проема из коридора поступает воздух, поддерживающий горение в очаге пожара. Формируется задымленная зона коридора.

По мере задымления системы помещений офис – общий коридор значения показателей ОФП возрастают, и эва-

куационные пути и эвакуационные выходы последовательно блокируются.

Сценарий № 2

Очаг пожара возникает в офисе 4-го этажа (помещение 4-21 площадью 94,0 м²). Пламя распространяется по офисной мебели и оргтехнике (дерево, ДСП, хлопок, поролон, пластик).

После того как слой дыма опустится ниже верхнего среза открытой двери часть дыма распространяется в общий коридор (помещение 4-25 площадью 117,5 м²), а через нижнюю часть проема из коридора поступает воздух, поддерживающий горение в очаге пожара. Формируется задымленная зона коридора.

По мере задымления системы помещений офис – общий коридор значения показателей ОФП возрастают, и эвакуационные пути и эвакуационные выходы последовательно блокируются.

3.2.4. Выбор метода математического моделирования пожара

Согласно прил. № 6 Методики сформулируем математическую модель развития пожара.

Проанализировав области применения математических моделей (см. разд. 3.1.4) и объемно-планировочные решения, приходим к следующим выводам:

Сценарий № 1

Помещение офиса А удовлетворяет условиям использования зонной модели. Общий коридор условно разбивается на участки длиной не более 10 м, объединенные проемами с размерами разграничивающего сечения.

Сценарий № 2

Помещение офиса Б удовлетворяет условиям использования зонной модели. Общий коридор условно разбивается на участки длиной не более 10 м, объединенные проемами с размерами разграничивающего сечения.

Таким образом, при проведении расчетов по распространению опасных факторов пожара будет использоваться двухзонная модель пожара в здании.

3.2.5. Исходные данные для проведения расчетов по распространению опасных факторов пожара

Согласно прил. № 6 Методики при проведении расчетов рассматриваются три основных вида развития пожара: круговое распространение пожара по твердой горючей нагрузке, линейное распространение пожара по твердой горючей нагрузке, неустановившееся горение горючей жидкости.

Скорость выгорания для этих случаев определяется формулами:

$$\Psi = \begin{cases} \Psi_{уд} \pi v^2 t^2 & \text{– для кругового распространения пожара,} \\ \Psi_{уд} 2vtb & \text{– для линейного распространения пожара,} \\ \Psi_{уд} F \sqrt{\frac{t}{t_{ст}}} & \text{– для неустановившегося горения ГЖ,} \end{cases} \quad (12)$$

где $\Psi_{уд}$ – удельная скорость выгорания (для жидкостей установленная), кг · с⁻¹ · м⁻²; v – скорость распространения пламени, м/с; b – ширина полосы горючей нагрузки, м; $t_{ст}$ – время стабилизации горения горючей жидкости, с; F – площадь очага пожара, м².

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.

Предельно допустимые значения по каждому из опасных факторов пожара составляют:

- по повышенной температуре – 70 °С;
- по тепловому потоку – 1400 Вт/м²;
- по потере видимости – 20 м (для случая, когда оба горизонтальных линейных размера помещения меньше 20 м, предельно допустимое расстояние по потере видимости следует принимать равным наибольшему горизонтальному линейному размеру);

- по пониженному содержанию кислорода – 0,226 кг/м³;
- по каждому из токсичных газообразных продуктов горения CO₂ – 0,11 кг/м³; CO – 1,16·10⁻³ кг/м³; HCl – 23·10⁻⁶ кг/м³.

Определяется время блокирования $t_{\text{бл}}$:

$$t_{\text{бл}} = \min \{ t_{\text{кр}}^{\text{п.в}}, t_{\text{кр}}^T, t_{\text{кр}}^{\text{т.г}}, t_{\text{кр}}^{\text{O}_2}, t_{\text{кр}}^{\text{т.п}} \}. \quad (13)$$

При проведении расчета ОФП, исходя из функционального назначения помещения очага пожара в соответствии с табл. 1 при расчетах для сценариев 1 и 2 используем следующие физико-химические свойства горючей нагрузки (административные помещения, учебные классы школ, ВУЗов, кабинеты поликлиник):

Низшая теплота сгорания ΔH_c , кДж/кг	14 000
Линейная скорость распространения пламени v , м/с	0,0045
Удельная скорость выгорания $\psi_{\text{уд}}$, кг/(м ² ·с)	0,01370
Дымообразующая способность, Нп·м ² /кг	47,7
Потребление O ₂ , кг/кг	1,3690

Выделение газа:

CO ₂ , кг/кг	1,47800
CO, кг/кг	0,03000
HCl, кг/кг	0,00580

3.2.6. Описание двухзонной модели пожара в здании

Для расчета времени блокирования $t_{\text{бл}}$ в соответствии с Методикой [1] была выбрана двухзонная модель пожара в здании.

Использованная математическая модель включала в себя следующие основные уравнения:

При решении задач с использованием двухзональной модели пожар в здании характеризуется усредненными по массе и объему значениями параметров задымленной зоны:

T – температура задымленной зоны, К; μ – оптическая плотность дыма, Нп · м⁻¹; x_i – массовая концентрация i -го токсичного продукта горения в задымленной зоне, кг · кг⁻¹; x_k – массовая концентрация кислорода, кг · кг⁻¹; Z – высота нижней границы слоя дыма, м.

В свою очередь перечисленные параметры выражаются через основные консервативные параметры задымленной зоны с помощью следующих соотношений:

$$Q_3 = \int_0^T mc_p(T) dT, \quad (14)$$

$$x_i = \frac{m_i}{m}, \quad x_k = \frac{m_k}{m}, \quad (15)$$

$$\mu = \frac{S}{V_d}, \quad (16)$$

$$\rho = \frac{m}{V_d}, \quad Z = H - \frac{V_d}{A}, \quad (17)$$

где m , m_i – общая масса дыма и соответственно i -го токсичного продукта горения в задымленной зоне, кг; m_k – масса кислорода в задымленной зоне, кг; Q_3 – энтальпия продуктов горения в задымленной зоне, кДж; S – оптическое количество дыма, $\text{Нп} \cdot \text{м}^2$; ρ – плотность дыма при температуре T , $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$; V_d – объем задымленной зоны м^3 ; H , A – высота и площадь помещения, м; c_p – удельная теплоемкость дыма, $\text{кДж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$.

Динамика основных консервативных параметров задымленной зоны определяется интегрированием системы следующих балансовых уравнений:

- общей массы задымленной зоны с учетом дыма, вносимого в зону конвективной колонкой, и дыма, удаляемого через проемы в соседние помещения:

$$\frac{dm}{dt} = G_k - G_{\text{п}}, \quad (18)$$

где t – текущее время, с; G_k , $G_{\text{п}}$ – массовый расход дыма соответственно через конвективную колонку и открытые проемы в помещении, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$;

- энтальпии задымленной зоны с учетом тепла, вносимого в зону конвективной колонкой, теплоотдачи в конструкции и уноса дыма в проемы:

$$\frac{dQ}{dt} = Q_k - Q_{\text{п}} - Q_{\text{кон}}, \quad (19)$$

где Q_k , $Q_{\text{п}}$, $Q_{\text{кон}}$ – тепловая мощность, соответственно, вносимая в задымленную зону конвективной колонкой, удаляемая с дымом через открытые проемы и теряемая в конструкции, кВт;

- для кислорода с учетом потерь на окисление продуктов пиролиза горючих веществ:

$$\frac{dm_k}{dt} = 0,23 (G_k - \eta \psi L_k) - x_k G_{\text{п}}, \quad (20)$$

где η – полнота сгорания горючего материала, $\text{кг} \cdot \text{кг}^{-1}$; ψ – скорость выгорания горючего материала, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$; L_k – потребление кислорода при сгорании единицы массы горючего материала, $\text{кг} \cdot \text{кг}^{-1}$;

- для оптического количества дыма с учетом дымообразующей способности горящего материала:

$$\frac{dS}{dt} = \psi D - G_{\text{п}} \frac{\mu}{\rho}, \quad (21)$$

где D – дымообразующая способность горючего материала, $\text{Нп} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1}$;

- для массы i -го токсичного продукта горения:

$$\frac{dm_i}{dt} = \psi L_i - x_i G_{\text{п}}, \quad (22)$$

где L_i – массовый выход i -го токсичного продукта горения, $\text{кг} \cdot \text{кг}^{-1}$.

Масса дыма G_k , вносимая в задымленную зону конвективной колонкой, оценивается с учетом количества воздуха, вовлекаемого в конвективную колонку по всей ее высоте до нижней границы слоя дыма. В инженерных расчетах расход дыма через асимметричную конвективную колонку на высоте нижнего уровня задымленной зоны Z (в зависимости от того, какая область конвективной колонки или факела погружена в задымленную зону) задается полуэмпирическим соотношением:

$$G_k = \begin{cases} 0,011Q \left(\frac{Z}{Q^{2/5}} \right)^{0,566} & \text{— для области факела,} \\ 0,026Q \left(\frac{Z}{Q^{2/5}} \right)^{0,909} & \text{— для переходной области,} \\ 0,124Q \left(\frac{Z}{Q^{2/5}} \right)^{1,895} & \text{— для области колонки,} \end{cases} \quad (23)$$

где Q — мощность очага пожара, кВт.

Динамика параметров очага пожара определяется развитием площади горения с учетом сложного состава горючих материалов, их расположения, места возникновения очага пожара и полноты сгорания:

$$Q = \eta \psi_{уд} \Delta H_c F(t). \quad (24)$$

Потери тепла в ограждающие конструкции рассчитываются с учетом температуры горячей струи T_c , скорости и излучательной способности струи, омывающей конструкции, и прогрева самой i -й конструкции $T_i(y)$ по толщине y . Для этого численно интегрируется нестационарное уравнение Фурье:

$$\frac{\partial T_i(y)}{\partial \tau} = \frac{1}{C(T)\rho} \frac{\partial \lambda(T) \partial T_i(y)}{\partial^2 y} \quad (25)$$

с граничными и начальными условиями:

$$(\alpha_k + \alpha_l)(T_c - T_w) = -\lambda_w \frac{\partial T_i(y)}{\partial y} \Big|_{y=0}, \quad (26)$$

$$(\alpha_k + \alpha_l)(T_0 - T_i(\delta)) = -\lambda(T) \frac{\partial T_i(y)}{\partial y} \Big|_{y=\delta}, \quad (27)$$

$$T_i(0, y) = T_0, \quad 0 \leq y \leq \delta, \quad (28)$$

где α_k, α_l — соответственно конвективный и лучистый коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$; δ — толщина ограждающей конструкции, м; $C(T)$ — теплоемкость материала конструкции при температуре $T(y)$, $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$; $\lambda(T)$ — теплопроводность материала конструкции при температуре $T(y)$, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$; T_w, T_0 — температура соответственно обогреваемой части конструкции и среды у необогреваемой поверхности, К; ρ — плотность материала конструкции, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Тепломассопотоки через проем в каждый момент времени рассчитываются с учетом текущего перепада давления по высоте проема, состава и температуры газовой среды по обе стороны проема. Необходимое для этого давление P_0 на уровне пола помещения определяется из уравнения состояния идеального газа:

$$P_0 = \frac{m_v}{\mu_v} \frac{RT_v}{V}, \quad (29)$$

где μ_v — молярная масса газов в объеме помещения; R — молярная газовая постоянная, $\text{Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$; T_v — среднеобъемная температура помещения, К.

Обратим внимание, что под среднеобъемной температурой понимается температура газовой фазы в объеме помещения, усредненная по массе:

$$T_v = \frac{1}{m_v} \int \rho(x, y, z) T(x, y, z) dV, \quad (30)$$

где $\rho(x, y, z)$, $T(x, y, z)$ — локальные значения соответственно плотности и температуры.

Объемный интеграл в приближении зональной модели вычисляется как:

$$T_v = \frac{A}{m_v} [\rho T(H - Z) + \rho_0 T_0 Z], \quad (31)$$

где ρ_0 , T_0 – соответственно плотность и температура невозмущенного воздуха.

Так, например, массовый расход дыма из помещения очага пожара в соседнее помещение рассчитывается следующим образом:

$$G_{\pi} = B \xi \int_{Y_{\min}}^{Y_{\max}} \sqrt{2\rho(P(h) - P_2(h))} dh, \quad (32)$$

где B – ширина проема, м; ξ – аэродинамический коэффициент проема; $P(h) - P_2(h)$ – перепад давлений между помещениями на высоте h ; ρ – плотность дыма в задымленной зоне помещения очага пожара при температуре дыма T .

Пределы интегрирования Y_{\max} и Y_{\min} выбираются в пределах створа проема, слоя дыма помещения очага пожара и там, где избыточное давление $\Delta P = P(h) - P_2(h) > 0$, как это указано на рис. 31.

Необходимая для оценки перепада давления по створу проема зависимость давления от высоты в i -м помещении (с учетом задымленной зоны этого помещения) оценивается как:

$$P_i(h) = \begin{cases} P_{i0} - \rho_0 g h, & \text{если } h \leq Z_i \\ P_{i0} - \rho_0 g Z_i - \rho_i g (h - Z_i), & \text{если } h > Z_i, \end{cases} \quad (33)$$

где P_{i0} – текущее давление в i -м помещении на нулевой отметке (или приведенное к нулевой отметке, если уровень пола помещения выше нулевой отметки); ρ_0 – плотность воздуха при начальной температуре T_0 ; ρ_i – плотность дыма при температуре T_i ; Z_i – текущая высота незадымленной зоны в i -м помещении.

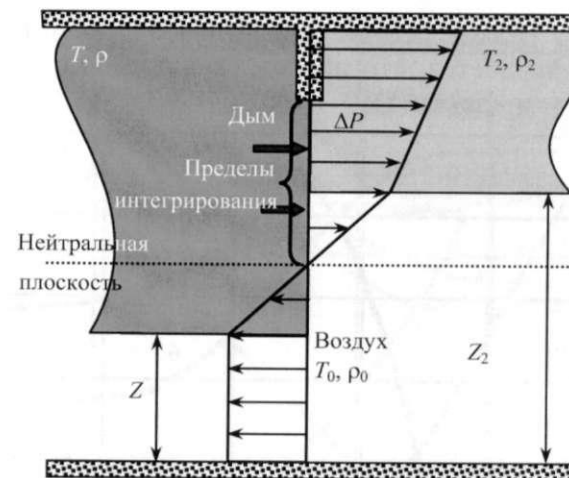


Рис. 31. Массопотоки через проем

Рассчитанные параметры теплообмена в проеме используются как граничные условия для соседнего помещения.

3.2.7. Результаты расчета времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара

В настоящем разделе представлены результаты моделирования развития пожаров по принятым сценариям, позволяющие оценить время блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара.

Сценарий № 1

На рис. 32 представлены данные по температурному режиму при пожаре в офисном помещении. Жирные линии 1 и 2 соответствуют усредненной по задымленной зоне температуре в соответствующих помещениях, а тонкие линии 3 и 4 – температуре на высоте роста человека, находящегося в офисе или у эвакуационного выхода из коридора в лестничную клетку. Пожар в помещении офиса на 4-й минуте

переходит в режим, регулируемый вентиляцией. Мощность пожара уменьшается, что проявляется снижением температуры дыма (см. линию 1).

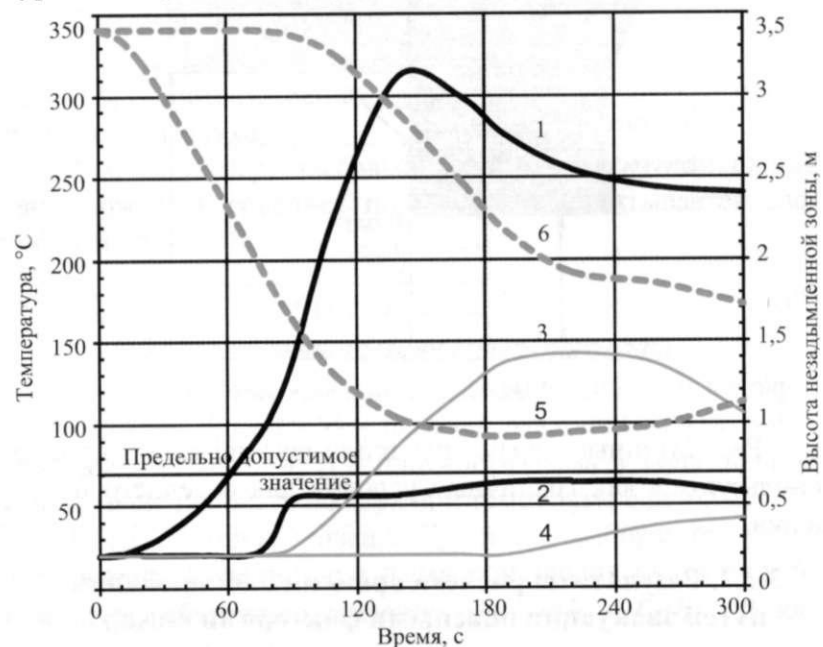


Рис. 32. Динамика температуры (1÷4) и высоты незадымленной зоны (5, 6) при пожаре в офисном помещении (сценарий 1).

В задымленной зоне: 1 – офиса; 2 – коридора.
На высоте роста человека: 3 – в офисе; 4 – в коридоре.
Высота незадымленной зоны: 5 – в офисе; 6 – в коридоре

Первые порции дыма поступают в общий коридор через полторы минуты (см. линию 2). На высоте роста человека, находящегося у эвакуационного выхода из офисного помещения, температура достигает предельно допустимое значение через 135 с (см. линию 3). Для удобства определения момента блокирования на этом и других рисунках предельно допустимое для человека значение показателя соответствующего ОФП отмечено горизонтальной прямой.

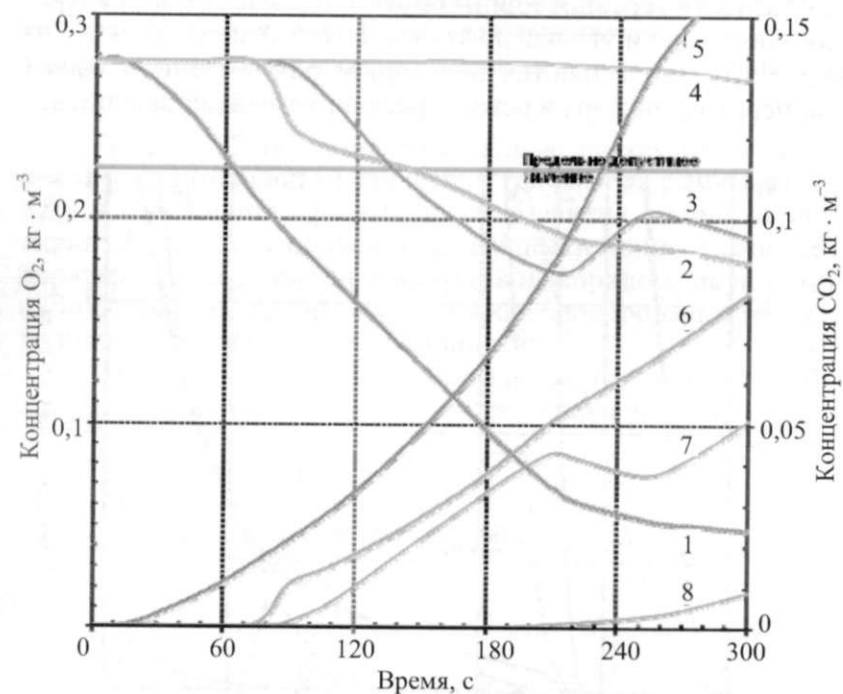


Рис. 33. Динамика концентрации кислорода (1÷4) и углекислого газа (5÷8) при пожаре в помещении офиса (сценарий 1).

В задымленной зоне: 1, 5 – офиса; 2, 6 – коридора.
На высоте роста человека: 3, 7 – в офисе; 4, 8 – в коридоре

На рис. 33 представлены данные по изменению концентрации кислорода при пожаре в помещении офиса (см. линии 1÷4). На этом же рисунке представлены данные по динамике концентрации углекислого газа (см. линии 5÷8). Чтобы сопоставить опасность разных факторов масштаб осей выбран так, что предельно допустимые значения различных ОФП находятся на одном уровне. Так, блокирование офиса по признаку недостатка кислорода происходит на 3-й минуте, а концентрация углекислого газа не представля-

ет опасности (сравните линии 3 и 7). Колебания концентраций кислорода и углекислого газа на 4÷5-й минутах (см. линии 3 и 7) объясняются некоторым раздымлением офиса при переходе пожара в режим, регулируемый вентиляцией.

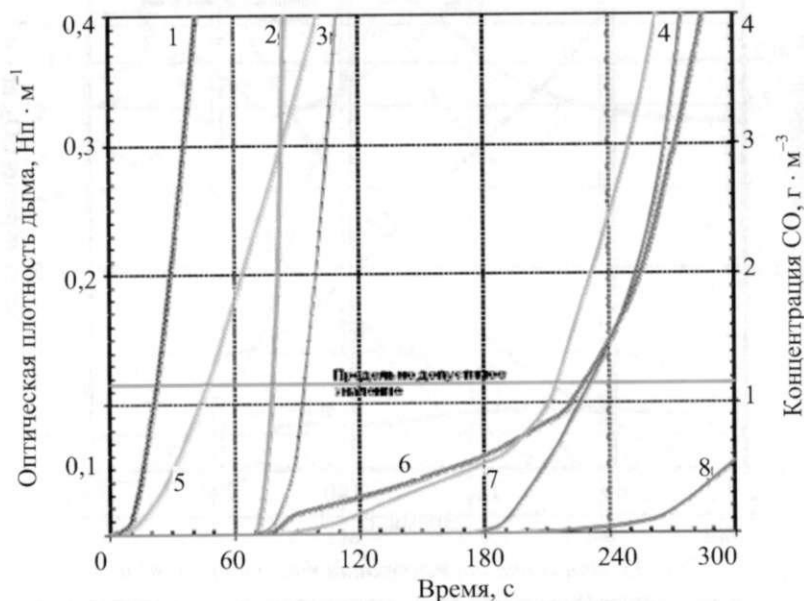


Рис. 34. Динамика оптической плотности дыма (1÷4) и концентрации CO (5÷8) при пожаре в помещении офиса (сценарий 1).

В задымленной зоне: 1, 5 – офиса; 2, 6 – коридора.

На высоте роста человека: 3, 7 – в офисе; 4, 8 – в коридоре

На рис. 34 представлены данные по изменению оптической плотности дыма и концентрации оксида углерода. С переходом пожара в режим, регулируемый вентиляцией, из-за горения в тлеющем режиме выход угарного газа после 3-й минуты заметно возрастает (см. линию 7).

Сравнение рис. 32–34 позволяет утверждать, что на начальной стадии наибольшую опасность при пожаре в офисе представляет потеря видимости. Такое же соотношение между

ОФП сохранялось и при пожарах по другим сценариям. Поэтому ниже основное внимание будет уделяться именно потере видимости, определяющей время блокирования путей эвакуации.

Сценарий № 2

На рис. 35 представлены данные по температурному режиму и изменению оптической плотности дыма при пожаре в помещении офиса в случае развития пожара по сценарию № 2. Из-за большой поверхности теплоотдачи температура у эвакуационных выходов из коридора не достигает предельно допустимого значения. Блокирование коридора происходит из-за потери видимости.

Времена блокирования коридоров на этажах пожара для первого и второго сценариев представлены в табл. 8.

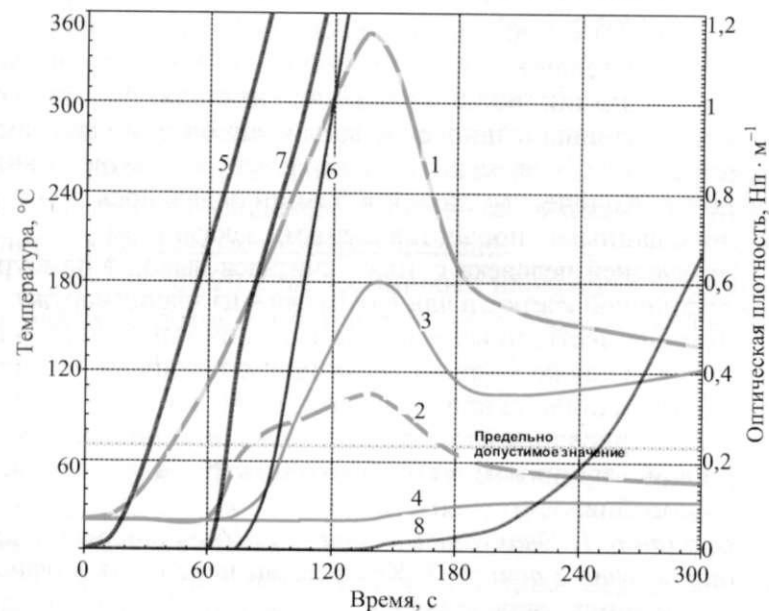


Рис. 35. Динамика температуры (1÷4) и оптической плотности дыма (5÷8) при пожаре в помещении офиса (сценарий 2).

В задымленной зоне: 1, 5 – офиса; 2, 6 – коридора.

На высоте роста человека: 3, 7 – в офисе; 4, 8 – в коридоре

Таблица 8

Время блокирования $t_{\text{бл}}$ ОФП путей эвакуации

Расчетный сценарий	Время блокирования, с
Сценарий 1	231
Сценарий 2	253

3.2.8. Методика расчета времени эвакуации людей при пожаре

Расчетное время эвакуации людей определяется по математической модели индивидуально-поточного движения людей из здания, приведенной в прил. № 3 к Методике.

3.2.9. Результаты расчета времени эвакуации t_p

Время эвакуации определялось без учета времени задержки на оповещение людей о пожаре, т. е. все люди, находящиеся в здании, после получения сигнала о пожаре одновременно начинают движение к эвакуационным выходам. Параметры путей эвакуации задавались в соответствии с проектом. Количество людей в здании задавалось в соответствии с данными, предоставленными заказчиком.

Эвакуацией человека с этажа считался выход в тамбур-шлюз лестничной клетки, а для 1-го этажа – из здания наружу.

Ширина лестничных маршей эвакуационных лестничных клеток, а также ширина лестничных площадок принималась 1,3 м, а ширина входов в лестничные клетки – 1 м.

Рассматривались два варианта эвакуации людей, соответствующие принятым сценариям пожара в разд. 3.4.3 данного пособия.

Вариант 1. Эвакуация людей с 1÷16-го этажей эвакуационной зоны в осях 1÷5. Количество персонала в офисных помещениях определялось из расчета 6 м^2 площади офиса на человека. С верхних этажей эвакуационной зоны предусмотрено два эвакуационных выхода через незадымляемые лестничные клетки.

Вариант 2. Эвакуация людей с 1÷16-го этажей эвакуационной зоны в осях 5÷25. Количество персонала в офисных помещениях определялось из расчета 6 м^2 площади офиса на человека. С верхних этажей эвакуационной зоны предусмотрено три эвакуационных выхода через незадымляемые лестничные клетки.

Так как по обоим вариантам людские потоки с надземных этажей пересекаются в лестничных клетках, эвакуация с этой части здания рассматривалась как единый процесс.

Вариант № 1

На рис. 36 представлены данные по эвакуации людей при пожаре с 16÷2-го этажей из эвакуационной зоны в осях 1÷5. Плотность людского потока у эвакуационного выхода с 14-го наиболее населенного этажа в лестничную клетку Л-7 не превосходит значения 0,4 (см. линию 6).

Процесс образования скоплений людей в лестничной клетке иллюстрирует рис. 37, на котором дано распределение плотности людского потока по этажам лестничной клетки в различные моменты времени.

Уже через 20 с на лестничных площадках формируется людской поток с плотностью $\sim 0,5$ (см. линию 1). Через минуту из-за слияния людских потоков с этажа в лестничную клетку с потоком людей, опускающихся в лестничной клетке с верхних этажей, плотность возрастает до 0,9 (см. линию 2). Исключением является «провал» с плотностью $\sim 0,3$, соответствующий транзитному потоку людей через 13-й технический этаж.

Скопления перемещаются в пролеты лестничной клетки, где скорость движения людей меньше и не распадаются, пока не исчерпается «подпитывающий» их людской поток с верхних этажей.

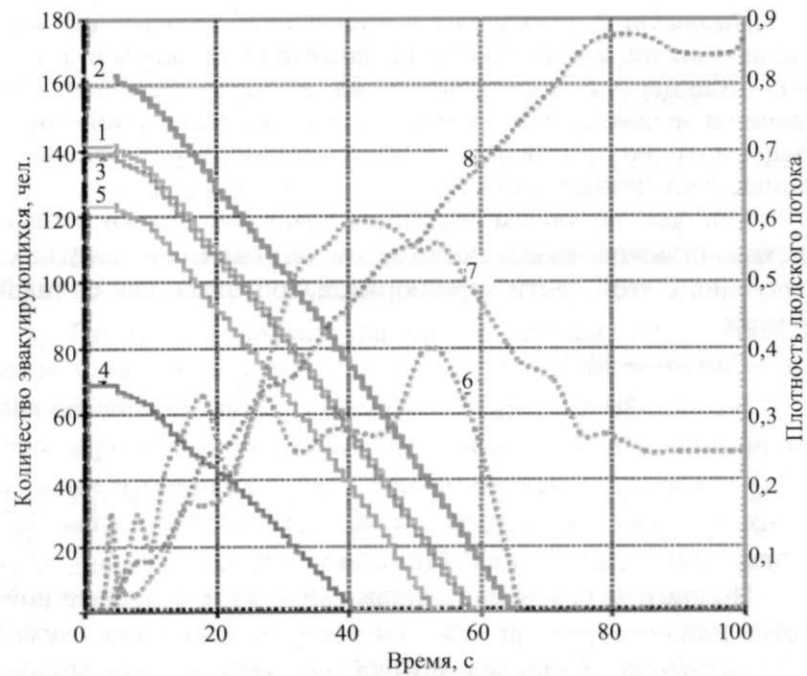


Рис. 36. Динамика эвакуации людей с 16÷11-го этажей.

Количество эвакуирующихся:

1 – на 16-м этаже; 2 – на 15-м, 14-м этаже; 3 – на 12-м этаже;
4 – на 11-м, 10-м, 7÷2-м этажах; 5 – на 9-м, 8-м этажах.

Плотность людского потока:

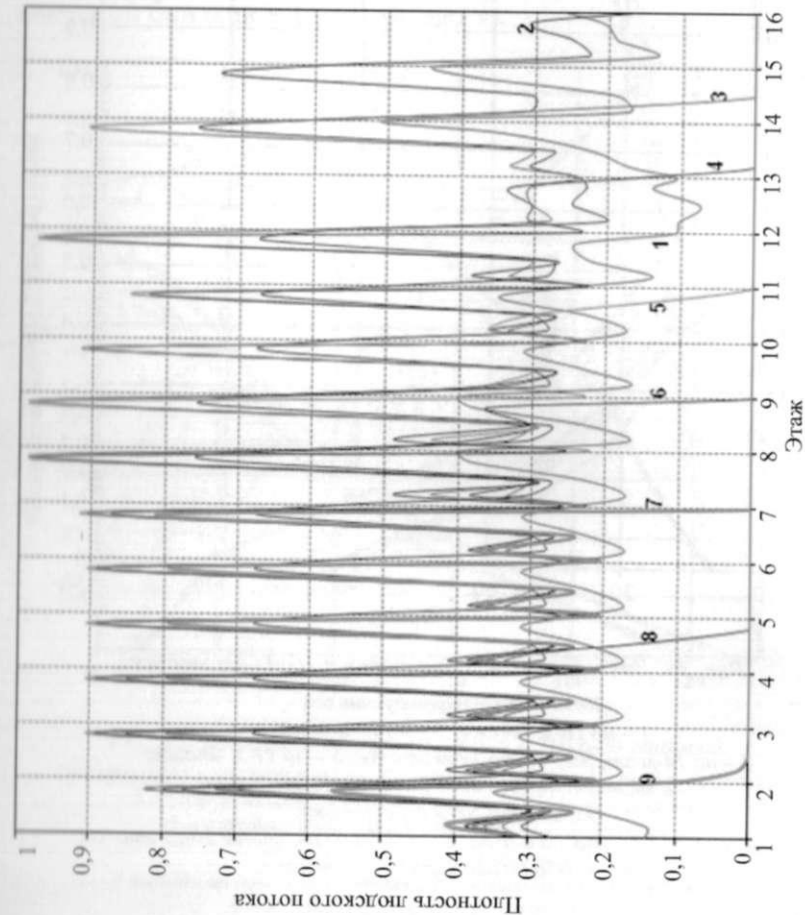
6 – у выхода с 14-го этажа в Л-7; 7 – в Л-5а на площадке 11-го этажа;
8 – в Л-5а на 2-м этаже

Вариант № 2

На рис. 38 представлены данные по эвакуации людей при пожаре с 16÷11-го этажей. Отдельно линией 6 указано количество людей в наиболее напряженной лестничной клетке Л-5а в ее части, расположенной между 16-м и 10-м этажами.

Рис. 37. Плотность людского потока в Л-7 в различные моменты времени:

- 1 – на 20 с;
- 2 – на 60 с;
- 3 – ко 2-й мин;
- 4 – к 3-й мин;
- 5 – к 4-й мин;
- 6 – к 5-й мин;
- 7 – к 6-й мин;
- 8 – к 7-й мин;
- 9 – к 8-й мин



Плотность людского потока перед эвакуационными выходами с этажей достигает значения $\sim 0,4$ (см. линию 7). Из-за наличия двух выходов в лестничную клетку Л-5а при слиянии людских потоков с этажа формируются скопления с плотностью свыше $0,9$ (см. линии 8 и 9).

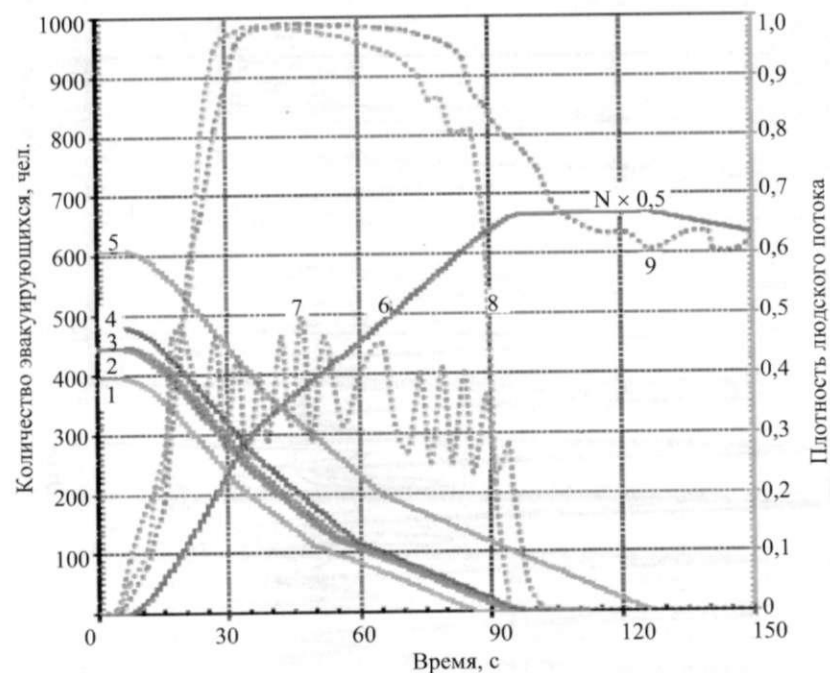


Рис. 38. Динамика эвакуации людей с 16-го и 11-го этажей.

Количество эвакуирующихся:

- 1 — на 16-м этаже; 2 — на 15-м этаже;
3 — на 14-м этаже; 4 — на 12-м этаже; 5 — на 11-м этаже;
6 — в лестничной клетке Л-5а на 16-м и 11-м этажах.

Плотность людского потока:

- 7 — у выхода с 12-го этажа в Л-5а; 8 — в Л-5а на площадке 16-го этажа;
9 — в Л-5а на площадке 11-го этажа

На рис. 39 представлены данные по эвакуации людей при пожаре с 10-го и 6-го этажей. Линия 7 соответствует количеству людей в части лестничной клетки Л-5а, расположенной между 16-м и 10-м этажами.

Плотность людского потока у выхода из офиса 1 (см. линию 7) и у выходов в лестничную клетку (линия 8) не превышает значения $0,5$. В лестничной клетке за счет людей, опускающихся с верхних этажей, плотность достигает значений близких к 1 (см. линию 9).

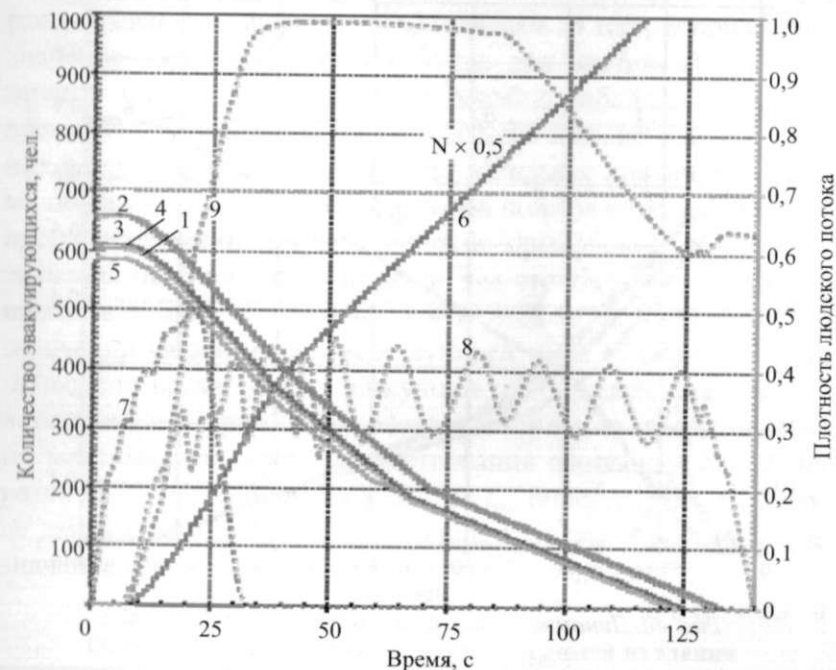


Рис. 39. Динамика эвакуации людей с 10-го и 6-го этажей.

- Количество эвакуирующихся: 1 — на 10-м этаже; 2 — на 9-м этаже;
3 — на 8-м этаже; 4 — на 7-м этаже; 5 — на 6-м этаже;
6 — в лестничной клетке Л-5а на 10-м и 5-м этажах.

Плотность людского потока:

- 7 — у выхода из офиса (9-й этаж); 8 — у выхода в Л-5а (8-й этаж);
9 — в Л-5а на площадке 11-го этажа

На рис. 40 представлены данные по эвакуации людей с 5÷1-го этажей. Плотность людского потока в пределах этажей не превосходит значения 0,2, а у эвакуационных выходов достигает значения ~0,3 (см. линию 7). Излом линий 1÷4 в диапазоне 40÷50 с объясняется освобождением лестничной клетки Л-6 на выход с соответствующего этажа.

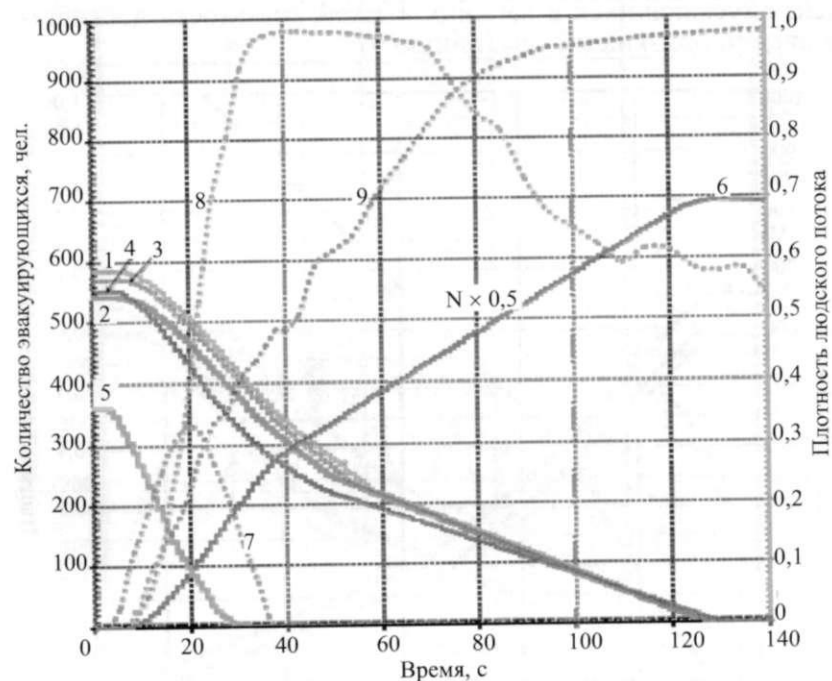


Рис. 40. Динамика эвакуации людей с 5÷1-го этажей.

Количество эвакуирующихся:

- 1 — на 5-м этаже; 2 — на 4-м этаже;
- 3 — на 3-м этаже; 4 — на 2-м этаже; 5 — на 1-м этаже;
- 6 — в лестничной клетке Л-5а на 5÷1-м этажах.

Плотность людского потока (2-й этаж):

- 7 — у выхода с этажа в Л-5а; 8 — на лестничной площадке;
- 9 — на лестничном пролете

Таким образом, анализ результатов расчетов показывает, что на путях эвакуации в пределах этажа возникают непродолжительные скопления людей с плотностями людских потоков до 0,5.

3.2.10. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития

Вероятность эвакуации людей из здания при пожаре P_3 рассчитывают по формуле (3) Методики. В табл. 9 приведены значения параметров, необходимых для расчета P_3 для различных частей здания. Во 2-м столбце таблицы приведено время блокирования соответствующего выхода или помещения в случае пожара $t_{бл}$ (согласно Методике критическое время по каждому из опасных факторов пожара определяется как время достижения этим фактором предельно допустимого значения на путях эвакуации), в 3-м столбце — необходимое время эвакуации людей $0,8t_{бл}$, в 4-м столбце — расчетное время эвакуации людей из соответствующей зоны t_p . В 5-м столбце приведено время начала эвакуации $t_{нэ}$, определенное в соответствии с п. 1 прил. № 5 к Методике. В 6-м столбце приведено максимальное время существования скоплений людей на различных эвакуационных участках $t_{ск}$, определенное на основе данных разд. 3.2.9. В 7-м столбце приведено рассчитанное значение вероятности эвакуации людей из здания P_3 .

Таблица 9

Определение вероятности эвакуации людей из здания

Пути эвакуации	$t_{бл}$, с	$0,8t_{бл}$, с	t_p , с	$t_{нэ}$, с	$t_{ск}$, с	P_3
Сценарий 1	231	163	41÷65	90	0	0,999
Сценарий 2	253	224	86÷139	90	0	0,999
1 этаж	-	-	32	90	0	-

3.2.11. Определение величины индивидуального пожарного риска

Сценарий № 1

Расчетная величина индивидуального пожарного риска $Q_{в1}$ для людей, находящихся в рассматриваемом здании, определяется по формуле (2) Методики.

Частота возникновения пожара в здании составляет $4 \cdot 10^{-2}$.

Коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов по пожарной безопасности срабатывания установок автоматического пожаротушения, согласно п. 8 Методики составляет $K_{ап1} = 0,9$.

Вероятность присутствия людей в здании определяется на основе времени нахождения людей в здании в течении суток и составляет 12 ч. Следовательно, $P_{пр1} = 0,5$.

Значение вероятности эвакуации людей $P_{э1} = 0,999$ (табл. 9).

Коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, определяется по формуле (4) Методики. При этом согласно пп. 22, 25 и 26 Методики $K_{обн} = 0,8$; $K_{соуэ} = 0,8$; $K_{пдз} = 0,8$. Следовательно, $K_{п.31} = 0,8704$.

Подставляя полученные значения в формулу (2) Методики, получаем $Q_{в1} = 0,259 \cdot 10^{-6}$.

Сценарий № 2

Расчетная величина индивидуального пожарного риска $Q_{в2}$ для людей, находящихся в рассматриваемом здании, определяется по формуле (2) Методики.

Частота возникновения пожара в здании составляет $4 \cdot 10^{-2}$.

Коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов по пожарной безопасности срабатывания установок автоматического пожаротушения, согласно п. 8 Методики составляет $K_{ап2} = 0$ (оборудование здания АУП требуется нормативными документами, однако здание АУП не оборудовано).

Вероятность присутствия людей в здании определяется на основе времени нахождения людей в здании в течении суток и составляет 12 ч. Следовательно, $P_{пр2} = 0,5$.

Значение вероятности эвакуации людей $P_{э2} = 0,999$ (табл. 9).

Коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, определяется по формуле (4) Методики. При этом согласно пп. 22, 25 и 26 Методики $K_{обн} = 0,8$; $K_{соуэ} = 0,8$; $K_{пдз} = 0,8$. Следовательно, $K_{п.32} = 0,8704$.

Подставляя полученные значения в формулу (2) Методики, получаем $Q_{в2} = 0,259 \cdot 10^{-5}$.

Таким образом, $Q_{в2} = 0,259 \cdot 10^{-5} > Q_{в}^н = 10^{-6}$ и соотношение (1) Методики не выполняется.

Следовательно, расчетное значение индивидуального пожарного риска превышает нормативное, пожарный риск превышает допустимое значение (безопасность людей не обеспечивается).

Согласно п. 21 Методики в случае если расчетная величина индивидуального пожарного риска превышает нормативное значение, в здании следует предусмотреть допол-

нительные противопожарные мероприятия, направленные на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре.

К числу противопожарных мероприятий, направленных на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, относится применение в том числе дополнительных средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара. В рассматриваемом случае здание необходимо оборудовать системой автоматического пожаротушения.

3.2.12. Определение величины индивидуального пожарного риска для сценария № 2 с учетом реализации дополнительных противопожарных мероприятий

Расчетная величина индивидуального пожарного риска $Q_{вз}$ для людей, находящихся в рассматриваемом здании, определяется по формуле (2) Методики.

Частота возникновения пожара в здании составляет $4 \cdot 10^{-2}$.

Коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов по пожарной безопасности срабатывания установок автоматического пожаротушения, согласно п. 8 Методики составляет $K_{апз} = 0,9$.

Вероятность присутствия людей в здании определяется на основе времени нахождения людей в здании в течении суток и составляет 12 ч. Следовательно, $P_{прз} = 0,5$.

Значение вероятности эвакуации людей $P_{эз} = 0,999$ (табл. 9).

Коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, определяется по формуле (4) Методики. При этом согласно

пп. 22, 25 и 26 Методики $K_{обн} = 0,8$; $K_{соуэ} = 0,8$; $K_{пдз} = 0,8$. Следовательно, $K_{п.эз} = 0,8704$.

Подставляя полученные значения в формулу (2) Методики, получаем $Q_{вз} = 0,259 \cdot 10^{-6}$.

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

$$Q_{в} = \max \{ Q_{в1}, \dots, Q_{ви}, \dots, Q_{вн} \}.$$

Таким образом, $Q_{в} = Q_{в1} = Q_{вз} = 0,259 \cdot 10^{-6} < Q_{в}^н = 10^{-6}$ и соотношение (1) выполняется.

Следовательно, расчетное значение индивидуального пожарного риска не превышает нормативное, и пожарный риск не превышает допустимое значение (безопасность людей обеспечивается).

Выводы

На основании проведенных расчетов установлено, что пожарный риск для рассматриваемого здания не превышает допустимого значения, установленного Федеральным законом от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», при условии оборудования здания «Б» системой автоматического пожаротушения.

Вывод справедлив для исходных данных, представленных в расчете (объемно-планировочные и архитектурные решения, количество людей и т. д.). При изменении исходных данных расчет пожарного риска должен быть проведен повторно.

Исполнитель 1
Исполнитель 2
Исполнитель 3

Литература

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. Приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 г. № 382 в редакции приказа МЧС России от 12.12.2011 г. № 749.

2. Постановление Правительства Российской Федерации от 31 марта 2009 г. № 272 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска».

3. Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» в редакции Федерального закона от 10.07.2012 г. № 117-ФЗ.

4. Постановление Правительства Российской Федерации № 87 от 16 февраля 2008 г. «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	3
2. ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА В ЗДАНИЯХ, СООРУЖЕНИЯХ И СТРОЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ	5
2.1. Анализ пожарной опасности объекта	5
2.2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций	9
2.3. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития	9
2.4. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития	11
2.5. Порядок разработки дополнительных противопожарных мероприятий при определении расчетной величины индивидуального пожарного риска	12
2.6. Определение расчетных величин индивидуального пожарного риска	12
3. ТИПОВЫЕ ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА	16
3.1. Пример расчета для здания класса функциональной пожарной опасности Ф1.2	16
3.1.1. Анализ пожарной опасности объекта	16
3.1.2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций	18
3.1.3. Экспертный выбор сценариев пожара	18
3.1.4. Выбор метода математического моделирования пожара	20
3.1.5. Исходные данные для проведения расчетов по распространению опасных факторов пожара	21
3.1.6. Описание полевого метода моделирования пожара в здании	23
3.1.7. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития	25
3.1.8. Методика расчета времени эвакуации людей при пожаре	34
3.1.9. Результаты расчета времени эвакуации t_p	39

3.1.10. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития	45
3.1.11. Сценарий № 1. Очаг пожара находится в гостиничном номере, расположенном на первом этаже в осях А-Б/2-3, на уровне пола	46
3.1.12. Сценарий № 2. Очаг пожара находится в гостиничном номере, расположенном на втором этаже в осях А-Б/1-2, на уровне пола	47
3.2. Пример расчета для здания класса функциональной пожарной опасности Ф4.3	50
3.2.1. Анализ пожарной опасности объекта	50
3.2.2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций	51
3.2.3. Построение графиков зависимости опасных факторов пожара от времени для различных сценариев его развития	51
3.2.4. Выбор метода математического моделирования пожара	54
3.2.5. Исходные данные для проведения расчетов по распространению опасных факторов пожара	55
3.2.6. Описание двухзонной модели пожара в здании	57
3.2.7. Результаты расчета времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара	63
3.2.8. Методика расчета времени эвакуации людей при пожаре	68
3.2.9. Результаты расчета времени эвакуации t_p	68
3.2.10. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития	75
3.2.11. Определение величины индивидуального пожарного риска	76
3.2.12. Определение величины индивидуального пожарного риска для сценария № 2 с учетом реализации дополнительных противопожарных мероприятий	78
Литература	80

Уважаемые читатели!

В соответствии с Правилами разработки и введения в действие нормативных документов по пожарной безопасности ФГБУ ВНИИПО МЧС России издает и распространяет:

- комплекты официальных нормативных документов, необходимых для получения лицензии на проведение работ и (или) оказание услуг в области пожарной безопасности;
- нормативные, методические и справочные документы ГПС МЧС России;
- научно-технический журнал «Пожарная безопасность». Кроме того, институт готов выполнить заявки:
- на проведение экспертизы документов по пожарной безопасности;
- на абонентное обслуживание по поставкам новой литературы в области пожарной безопасности.

Телефоны для справок:

(495) 521-95-67 • 521-78-59 • 524-81-55 • 521-94-70

www.vniipo.ru



Редактор *Е.Е. Архипова*
 Технический редактор *Л.А. Буланова*
 Ответственный за выпуск *А.В. Карпов*

Подписано в печать 26.11.2012 г. Формат 60×84/16. Печать офсетная.
 Усл. печ. л. 5,11. Т. – 300 экз. Заказ № 46.

Типография ФГБУ ВНИИПО МЧС России
 мкр. ВНИИПО, д. 12, г. Балашиха,
 Московская обл., 143903