

Министерство образования и науки Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Институт машиностроения
Кафедра «Управление промышленной
и экологической безопасностью»

И.И. Рашоян

РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА



Электронное
учебно-методическое
пособие
для студентов
очной формы обучения

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2017

ISBN 978-5-8259-1132-8



УДК 614.841(075.8)

ББК 68.923я73

Рецензенты:

заместитель начальника ОНД г.о. Тольятти, Жигулевск
и м.р. Ставропольский *В.Н. Медведев*;
канд. техн. наук, доцент Тольяттинского государственного
университета *А.В. Краснов*.

Рашоян, И.И. Расчетные методы оценки пожарного риска : электронное учебно-методическое пособие для студентов очной формы обучения / И.И. Рашоян. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2017. – 1 оптический диск.

Пособие подготовлено для изучения дисциплины «Расчетные методы оценки пожарного риска» и содержит основные сведения о методах определения расчетных величин пожарного риска в зданиях различного назначения и на производственных объектах, а также указания по выполнению практических работ.

Предназначено для студентов направления подготовки магистров 20.04.01 «Техносферная безопасность», магистерская программа «Управление пожарной безопасностью», очной формы обучения.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2017

Редактор *Г.В. Данилова*
Технический редактор *Н.П. Крюкова*
Вёрстка: *Л.В. Сызганцева*
Художественное оформление,
компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

Дата подписания к использованию 28.02.2017.

Объем издания 10 Мб.

Комплектация издания:

компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-117-15.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14
тел. 8(8482) 53-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	6
КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ	10
Модуль 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА В ЗДАНИЯХ, СООРУЖЕНИЯХ И СТРОЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ	11
Теоретические сведения	11
Приложения к методике расчета	25
Пример расчета пожарного риска для здания класса функциональной пожарной опасности Ф1.2	63
Структура и цель практикума	85
Практическая работа 1. Анализ пожарной опасности зданий ...	87
Практическая работа 2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций	93
Практическая работа 3. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития	94
Практическая работа 4. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития	97
Практическая работа 5. Анализ наличия систем обеспечения пожарной безопасности здания	98
Практическая работа 6. Определение расчетных величин индивидуального пожарного риска	112
Модуль 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ	113
Теоретические сведения	113
Приложения к методике расчета	129
Пример расчета пожарного риска для производственного здания	174
Структура и цель практикума	181

Практическая работа 1. Анализ пожарной опасности производственного объекта	183
Практическая работа 2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций на объекте	187
Практическая работа 3. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития на объекте	188
Практическая работа 4. Анализ наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий, сооружений и строений на производственном объекте ...	193
Практическая работа 5. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития на объекте	194
Практическая работа 6. Определение расчетных величин индивидуальных и социальных пожарных рисков на производственном объекте	195
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	198
Приложение А	199
Приложение Б	202
Приложение В	211
Приложение Г	221
Приложение Д	225

ВВЕДЕНИЕ

В процессе изучения дисциплины «Расчетные методы оценки пожарного риска» студенты получают знания о нормативных правовых основах оценки пожарного риска и основных методах определения расчетных величин пожарного риска на различных объектах защиты.

Изучение дисциплины предполагает грамотное владение профессиональной терминологией, отражающей сущность рассматриваемых методов расчета и оценки пожарного риска, а также практическое освоение способов, приёмов, методов расчета и оценки пожарного риска в производственных зданиях и зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение практических работ, а также самостоятельную работу студента с рекомендуемой учебной литературой и нормативно-правовой базой.

Программа включает такие виды контроля, как проверка выполнения практических работ, экзамен.

Целью дисциплины является повышение качества подготовки студентов по вопросам расчета и оценки пожарного риска.

Задачи изучения дисциплины решаются путем выполнения практических работ, демонстрирующих методологию нормирования, расчета и оценки пожарного риска:

- 1) изучение нормативно-правовой документации, регламентирующей порядок и методы оценки пожарного риска;
- 2) освоение основных методов определения расчетных величин пожарного риска;
- 3) ознакомление с программными средствами по определению расчетных величин пожарного риска.

В результате изучения курса в соответствии с ФГОС ВО студент должен

знать:

- нормативно-правовую документацию, регламентирующую порядок и методы оценки пожарного риска;
- основные методы определения расчетных величин пожарного риска;

– основные методы моделирования движения людей при эвакуации;

уметь:

– производить анализ пожарной опасности объекта защиты;

– определять частоту реализации пожароопасных ситуаций;

– определять расчетное время эвакуации из объекта защиты;

владеть:

– методами построения полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;

– методами и навыками оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития.

Знания, умения, навыки, приобретаемые в результате изучения дисциплины (учебного курса), необходимы для формирования профессиональных компетенций.

Проведение практических занятий по дисциплине «Расчетные методы оценки пожарного риска» основано на изучении и использовании основных нормативно-правовых документов, регламентирующих методы оценки пожарного риска [1–4]:

- Федеральный закон № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;
- ГОСТ Р 12.3.047-2012 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля»;
- Приказ МЧС РФ от 30.06.2009 № 382 (ред. от 02.12.2015) «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности»;
- Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 № 404 (ред. от 14.12.2010) «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».

Нормативно-правовые документы приведены по состоянию на 20.01.2017 г.

Согласно вышеуказанным нормативно-правовым документам расчеты по оценке пожарного риска проводятся путем сопоставления расчетных величин пожарного риска с нормативным значением пожарного риска, установленного Федеральным законом № 123-ФЗ

«Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее – Технический регламент) [1].

Технический регламент устанавливает следующие основные понятия и определения:

- **пожарный риск** – мера возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей;
- **допустимый пожарный риск** – пожарный риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических условий;
- **индивидуальный пожарный риск** – пожарный риск, который может привести к гибели человека в результате воздействия опасных факторов пожара;
- **социальный пожарный риск** – степень опасности, ведущей к гибели группы людей в результате воздействия опасных факторов пожара.

Технический регламент о требованиях пожарной безопасности устанавливает следующие значения допустимого пожарного риска:

– индивидуальный пожарный риск в зданиях и сооружениях не должен превышать значение одной миллионной в год (т. е. 10^{-6} год⁻¹) при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания и сооружения точке;

– величина индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях и на территориях производственных объектов не должна превышать одну миллионную в год (т. е. 10^{-6} год⁻¹);

– для производственных объектов, на которых обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной миллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной десятитысячной в год (т. е. 10^{-4} год⁻¹); при этом должны быть предусмотрены меры по обучению персонала действиям при пожаре и по социальной защите работников, компенсирующие их работу в условиях повышенного риска;

– величина индивидуального пожарного риска в результате воздействия опасных факторов пожара на производственном объекте для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне

или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, не должна превышать одну стомиллионную в год (т. е. 10^{-8} год⁻¹);

– величина социального пожарного риска воздействия опасных факторов пожара на производственном объекте для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, не должна превышать одну десятиллионную в год (т. е. 10^{-7} год⁻¹);

– для производственных объектов, на которых для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной стомиллионной в год и (или) величины социального пожарного риска одной десятиллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной миллионной в год (т. е. 10^{-6} год⁻¹) и (или) социального пожарного риска до одной стотысячной в год соответственно (т. е. 10^{-5} год⁻¹); при этом должны быть предусмотрены средства оповещения людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения, о пожаре на производственном объекте, а также дополнительные инженерно-технические и организационные мероприятия по обеспечению их пожарной безопасности и социальной защите.

Расчетные величины пожарного риска на производственных объектах и в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности имеют свою специфику оценки, что нашло отражение в структуре учебно-методического пособия.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Наименование критерия	Описание критерия	Значение критерия в баллах
1. Выполнение практического задания	<i>Практическое задание не выполнено</i>	0 баллов
	<i>Практическое задание выполнено с ошибками</i>	1 балл
	<i>Практическое задание выполнено без ошибок</i>	2 балла
2. Теоретическая часть	<i>Ответы на контрольные вопросы не получены</i>	0 баллов
	<i>Ответы содержат ошибки</i>	1 балл
	<i>Ответы на вопросы получены</i>	2 балла
3. Оформление практического задания	<i>Практическое задание оформлено с ошибками</i>	0 баллов
	<i>Практическое задание оформлено без замечаний</i>	1 балл

Модуль 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА В ЗДАНИЯХ, СООРУЖЕНИЯХ И СТРОЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Теоретические сведения

Оценка пожарного риска для зданий, сооружений и строений различных классов функциональной пожарной опасности производится в соответствии с Приказом МЧС РФ от 30.06.2009 № 382 (ред. от 02.12.2015) «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» [3].

I. Общие положения

Настоящая методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (далее – Методика) устанавливает порядок определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях (далее – здание) и распространяется на здания классов функциональной пожарной опасности:

– Ф1 – здания, предназначенные для постоянного проживания и временного пребывания людей, в том числе:

- а) Ф1.1 – здания дошкольных образовательных организаций, специализированных домов престарелых и инвалидов (неквартирные), больницы, спальные корпуса образовательных организаций с наличием интерната и детских организаций;
- б) Ф1.2 – гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпингов, мотелей и пансионатов;
- в) Ф1.3 – многоквартирные жилые дома;
- г) Ф1.4 – многоквартирные жилые дома, в том числе блокированные;

– Ф2 – здания зрелищных и культурно-просветительных учреждений, в том числе:

- а) Ф2.1 – театры, кинотеатры, концертные залы, клубы, цирки, спортивные сооружения с трибунами, библиотеки и другие учреждения с расчетным числом посадочных мест для посетителей в закрытых помещениях;

- б) Ф2.2 – музеи, выставки, танцевальные залы и другие подобные учреждения в закрытых помещениях;
- в) Ф2.3 – театры, кинотеатры, концертные залы, клубы, цирки, спортивные сооружения с трибунами, библиотеки и другие учреждения с расчетным числом посадочных мест для посетителей на открытом воздухе;
- г) Ф2.4 – музеи, выставки, танцевальные залы и другие подобные учреждения на открытом воздухе;
 - Ф3 – здания организаций по обслуживанию населения, в том числе:
 - а) Ф3.1 – здания организаций торговли;
 - б) Ф3.2 – здания организаций общественного питания;
 - в) Ф3.3 – вокзалы;
 - г) Ф3.4 – поликлиники и амбулатории;
 - д) Ф3.5 – помещения для посетителей организаций бытового и коммунального обслуживания с нерасчетным числом посадочных мест для посетителей;
 - е) Ф3.6 – физкультурно-оздоровительные комплексы и спортивно-тренировочные учреждения с помещениями без трибун для зрителей, бытовые помещения, бани;
 - Ф4 – здания научных и образовательных учреждений, научных и проектных организаций, органов управления учреждений, в том числе:
 - а) Ф4.1 – здания общеобразовательных учреждений, образовательных учреждений дополнительного образования детей, образовательных учреждений начального профессионального и среднего профессионального образования;
 - б) Ф4.2 – здания образовательных учреждений высшего профессионального образования и дополнительного профессионального образования (повышения квалификации) специалистов;
 - в) Ф4.3 – здания органов управления учреждений, проектно-конструкторских организаций, информационных и редакционно-издательских организаций, научных организаций, банков, контор, офисов;
 - г) Ф4.4 – здания пожарных депо;
 - Ф5 – пожарные отсеки производственного или складского назначения с категорией помещений по взрывопожарной и пожарной

опасности В1–В4, Г, Д, входящие в состав зданий с функциональной пожарной опасностью Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, в том числе Ф5.2 – стоянки для автомобилей без технического обслуживания и ремонта.

Определение расчетных величин пожарного риска осуществляется на основании:

- а) анализа пожарной опасности зданий;
- б) определения частоты реализации пожароопасных ситуаций;
- в) построения полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;
- г) оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития;
- д) наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий.

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

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

Для целей настоящей Методики используются основные понятия, установленные статьей 2 Технического регламента.

II. Основные расчетные величины индивидуального пожарного риска

Индивидуальный пожарный риск отвечает требуемому, если:

$$Q_b \leq Q_{\text{вн}},$$

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

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

$$Q_B = \max \{Q_{B,1}, \dots, Q_{B,i}, \dots, Q_{B,N}\},$$

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

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

Когда перечисленные типы сценариев не отражают всех особенностей объекта, возможно рассмотрение иных сценариев пожара.

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

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

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

$$Q_{B,i} = Q_{п,i} \cdot (1 - K_{ап,i}) \cdot P_{пр,i} \cdot (1 - P_{э,i}) \cdot (1 - K_{п.э,i}), \quad (1)$$

где $Q_{п,i}$ — частота возникновения пожара в здании в течение года, определяется на основании статистических данных, приведенных в [приложении № 1](#) к настоящей Методике. При отсутствии статистической информации допускается принимать $Q_{п,i} = 4 \cdot 10^{-2}$ для каждого здания; $K_{ап,i}$ — коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения (далее — АУП) требованиям нормативных документов по пожарной безопасности; $K_{п.э,i}$ — коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Вероятность присутствия людей в здании $P_{пр,i}$ определяется из соотношения

$$P_{пр,i} = \frac{t_{\text{функц},i}}{24},$$

где $t_{\text{функц},i}$ — время нахождения людей в здании в часах; $P_{э,i}$ — вероятность эвакуации людей.

Значение параметра $K_{ап,i}$ принимается равным $K_{ап,i} = 0,9$, если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- здание оборудовано системой АУП, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;
- оборудование здания системой АУП не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях $K_{ап,i}$ принимается равным нулю.

Вероятность эвакуации $P_{э,i}$ из зданий (за исключением зданий классов Ф1.1, Ф1.3, Ф1.4) рассчитывают по формуле

$$P_3 = \begin{cases} 0,999 \cdot \frac{0,8 \cdot t_{\text{бл}} - t_p}{t_{\text{нз}}}, & \text{если } t_p < 0,8 \cdot t_{\text{бл}} < t_p + t_{\text{нз}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин} \\ 0,999, & \text{если } t_p + t_{\text{нз}} \leq 0,8 \cdot t_{\text{бл}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин} \\ 0,000, & \text{если } t_p \geq 0,8 \cdot t_{\text{бл}} \text{ или } t_{\text{ск}} > 6 \text{ мин} \end{cases}, \quad (2)$$

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 [приложении № 2](#) к настоящей Методике;
- по математической модели индивидуально-поточного движения людей из здания, приведенной в [приложении № 3](#) к Методике;
- по имитационно-стохастической модели движения людских потоков, приведенной в [приложении № 4](#) к Методике.

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

При вычислении расчетного времени эвакуации учитываются данные, приведенные в [приложении № 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 [пунктом 1 приложения № 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 [приложении № 6](#) к настоящей Методике.

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

$$K_{пз} = 1 - (1 - K_{обн} \cdot K_{совэ}) \cdot (1 - K_{обн} \cdot K_{пдз}), \quad (3)$$

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

Порядок оценки параметров $K_{обн}$, $K_{совэ}$ и $K_{пдз}$ приведен в [разделе IV](#) настоящей Методике.

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

$$Q_{в,i} = Q_{п,i} [1 - (P_{э,i} + (1 - P_{э,i}) P_{сп,i})], \quad (4)$$

где $Q_{п,i}$ – частота возникновения пожара в здании в течение года, определяется на основании статистических данных, приведенных в [приложении № 1](#) к настоящей Методике; $P_{э,i}$ – вероятность эвакуации людей; $P_{сп,i}$ – вероятность спасения людей.

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

$$P_{э,i} = \frac{N_{\Sigma i} - N_{неэв,i}}{N_{\Sigma i}} \cdot 0,999, \quad (5)$$

где $N_{\Sigma i}$ – общее количество людей, эвакуирующихся в рассматриваемом сценарии; $N_{неэв,i}$ – количество неэвакуировавшихся людей. Определяется путем суммирования по всем участкам путей эвакуации людей, не успевших покинуть указанный участок до его блокирования опасными факторами пожара (для которых $t_p + t_{нз} > 0,8 \cdot t_{бл}$), и людей, попавших в скопление продолжительностью более 6 мин

($t_{\text{ск}} > 6$ мин); $t_{\text{п}}$ – 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 $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$).

Вероятность спасения $P_{\text{СП},i}$ определяется по формуле

$$P_{\text{СП},i} = 1 - (1 - K_{\text{п.з},i})(1 - K_{\text{ФПС},i})(1 - K_{\text{ф},i})(1 - K_{\text{эв},i}), \quad (6)$$

где $K_{\text{п.з},i}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, определяется по формуле (3); $K_{\text{ФПС},i}$ – коэффициент, учитывающий дислокацию подразделений пожарной охраны на территории поселений и городских округов; $K_{\text{ф},i}$ – коэффициент, учитывающий класс функциональной пожарной опасности здания; $K_{\text{эв},i}$ – коэффициент, учитывающий соответствие путей эвакуации требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

В случае соответствия дислокации подразделений пожарной охраны на территории поселений и городских округов требованиям Технического регламента и нормативных документов по пожарной безопасности $K_{\text{ФПС},i} = 0,95$. При этом время $t_{\text{бл},i}$ принимается в соответствии с расчетом по [приложению № 6](#) к настоящей Методике для данного сценария развития пожара. В остальных случаях $K_{\text{ФПС},i}$ принимается равным нулю.

Значение параметра $K_{\text{ф},i}$ принимается равным $K_{\text{ф},i} = 0,75$ в следующих случаях:

- для зданий класса Ф1.1 в случае соблюдения требований нормативных документов по пожарной безопасности к оснащению первичными средствами пожаротушения;
- для зданий класса Ф1.3 в случае соблюдения требований нормативных документов по пожарной безопасности к устройству аварийных выходов;
- для зданий класса Ф1.4 – во всех случаях.

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

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

III. Порядок проведения расчета индивидуального пожарного риска

Анализ пожарной опасности здания

Для проведения анализа пожарной опасности собираются данные о здании, которые включают:

- 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, противоподымной защиты, оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей.

На основании полученных данных анализируется пожарная опасность здания, при этом учитываются:

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

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 [приложении № 1](#) настоящей Методики.

Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития

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

Формулировка сценария развития пожара включает следующие этапы:

- выбор места нахождения первоначального очага пожара и закономерностей его развития;
- задание расчетной области (выбор рассматриваемой при расчете системы помещений, определение учитываемых при расчете элементов внутренней структуры помещений, состояния проемов);
- задание параметров окружающей среды и начальных значений параметров внутри помещений.

В соответствии с [приложением № 6](#) к Методике формулируется математическая модель развития пожара и проводится моделирование его динамики развития.

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

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

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

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

Для определения расчетного времени эвакуации людей t_p в соответствии с [приложениями № 2–5](#) к Методике находится модель эвакуации людей из здания, строится расчетная схема эвакуации и осуществляется моделирование эвакуации людей.

В соответствии с [разделом II](#) настоящей Методики определяется расчетная величина индивидуального пожарного риска Q_v и сопоставляется с нормативным значением индивидуального пожарного риска $Q_{\text{вн}}$.

Учет наличия систем обеспечения пожарной безопасности здания

Наличие систем обеспечения пожарной безопасности здания учитывается в соответствии с формулой (4) и положениями [раздела IV](#) настоящей Методики.

Блок-схема, иллюстрирующая порядок проведения расчета индивидуального пожарного риска, представлена на рис. 1.



Рис. 1. Алгоритм расчета индивидуального пожарного риска

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

Если расчетная величина индивидуального пожарного риска превышает нормативное значение, в здании следует предусмотреть дополнительные противопожарные мероприятия, направленные на снижение величины пожарного риска.

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

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

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

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

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

- здание оборудовано системой пожарной сигнализации, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;
- оборудование здания системой пожарной сигнализации не требуется в соответствии с нормативными документами по пожарной безопасности.

В остальных случаях $K_{\text{обн}}$ принимается равным нулю.

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

Степень влияния данного дополнительного противопожарного мероприятия на динамику распространения пожара и, соответственно, значение параметра $t_{\text{бл}}$ определяются путем проведения повторного расчета $t_{\text{бл}}$ после внесения соответствующих изменений в схему объемно-планировочных решений здания.

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

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

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

- здание оборудовано системой оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;
- оборудование здания системой оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях $K_{\text{совэ}}$ принимается равным нулю.

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

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

- здание оборудовано системой противодымной защиты, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;
- оборудование здания системой противодымной защиты не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях $K_{\text{пдз}}$ принимается равным нулю.

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

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

Приложения к методике расчета

Приложение № 1

*Статистические данные
о частоте возникновения пожара в зданиях*

Наименование здания	Частота возникновения пожара в течение года
1. Общеобразовательные учреждения (школа, школа-интернат, детский дом, лицей, гимназия, колледж)	$1,16 \cdot 10^{-2}$
2. Учреждения начального профессионального образования (профессиональное техническое училище)	$1,98 \cdot 10^{-2}$
3. Учреждения среднего профессионального образования (среднее специальное учебное заведение)	$2,69 \cdot 10^{-2}$
4. Прочие внешкольные и детские учреждения	$1,52 \cdot 10^{-2}$
5. Детские оздоровительные лагеря, летние детские дачи	$1,26 \cdot 10^{-3}$
6. Санатории, дома отдыха, профилактории	$2,99 \cdot 10^{-2}$
7. Амбулатории, поликлиники, диспансеры, медпункты, консультации	$8,88 \cdot 10^{-3}$
8. Предприятия розничной торговли (универмаги, магазины, аптеки и пр.)	$2,03 \cdot 10^{-2}$
9. Предприятия рыночной торговли: крытые, оптовые рынки (из зданий стационарной постройки), торговые павильоны, киоски, ларьки, палатки, контейнеры	$1,03 \cdot 10^{-2}$
10. Предприятия общественного питания	$3,88 \cdot 10^{-2}$
11. Гостиницы, мотели	$2,81 \cdot 10^{-2}$
12. Спортивные сооружения	$1,83 \cdot 10^{-3}$
13. Клубные и культурно-зрелищные учреждения	$6,90 \cdot 10^{-3}$
14. Библиотеки	$1,16 \cdot 10^{-3}$
15. Музеи	$1,38 \cdot 10^{-2}$

Упрощенная аналитическая модель движения людского потока (определение расчетного времени эвакуации людей из помещений и зданий по расчету времени движения одного или нескольких людских потоков через эвакуационные выходы от наиболее удаленных мест размещения людей)

Расчетное время эвакуации людей t_p из помещений и зданий устанавливается по расчету времени движения одного или нескольких людских потоков через эвакуационные выходы от наиболее удаленных мест размещения людей.

При расчете весь путь движения людского потока подразделяется на участки (проход, коридор, дверной проем, лестничный марш, тамбур) длиной l_i и шириной δ_i . Начальными участками являются проходы между рабочими местами, оборудованием, рядами кресел и т. п.

При определении расчетного времени эвакуации людей длину и ширину каждого участка пути эвакуации для проектируемых зданий принимают по проекту, а для построенных — по фактическому положению. Длину пути по лестничным маршам, а также по пандусам измеряют по длине марша. Длину пути в дверном проеме принимают равной нулю. Проем, расположенный в стене толщиной более 0,7 м, а также тамбур следует считать самостоятельными участками горизонтального пути, имеющими конечную длину l_i .

Расчетное время эвакуации людей t_p следует определять как сумму времени движения людского потока по отдельным участкам пути t_i по формуле

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i, \quad (\text{П.2.1})$$

где t_1 — время движения людского потока на первом (начальном) участке, мин; t_2, t_3, \dots, t_i — время движения людского потока на каждом из следующих после первого участка пути, мин.

Время движения людского потока по первому участку пути t_1 , мин, рассчитывают по формуле

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1}, \quad (\text{П.2.2})$$

где l_1 — длина первого участка пути, м; V_1 — скорость движения людского потока по горизонтальному пути на первом участке, м/мин (определяется по табл. П2.1 в зависимости от плотности людского потока D).

Плотность однородного людского потока на первом участке пути D_1 вычисляют по формуле

$$D_1 = \frac{N_1 \cdot f}{l_1 \cdot \delta_1}, \quad (\text{П.2.3})$$

где N_1 – число людей на первом участке, чел; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, м²/чел, принимаемая в соответствии с [пунктом 4 приложения № 5](#) к настоящей Методике; δ_1 – ширина первого участка пути, м.

Скорость V_1 движения людского потока на участках пути, следующих после первого, принимают по таблице П2.1 в зависимости от интенсивности движения людского потока по каждому из этих участков пути, которую вычисляют для всех участков пути, в том числе для дверных проемов, по формуле

$$q_i = \frac{q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (\text{П.2.4})$$

где δ_i, δ_{i-1} – ширина рассматриваемого i -го и предшествующего ему участка пути ($i - 1$), м; q_i, q_{i-1} – интенсивности движения людского потока по рассматриваемому i -му и предшествующему ($i - 1$) участкам пути, м/мин (интенсивность движения людского потока на первом участке пути q_1 определяется по таблице П2.1 по значению D_1 , установленному по формуле (П2.3).

Таблица П2.1

Интенсивность и скорость движения людского потока на разных участках путей эвакуации в зависимости от плотности

Плотность потока D , м ² /м ²	Горизонтальный путь		Дверной проем, интенсивность q , м/мин	Лестница вниз		Лестница вверх	
	Скорость V , м/мин	Интенсивность q , м/мин		Скорость V , м/мин	Интенсивность q , м/мин	Скорость V , м/мин	Интенсивность q , м/мин
0,01	100	1,0	1,0	100	1,0	60	0,6
0,05	100	5,0	5,0	100	5,0	60	3,0
0,10	80	8,0	8,7	95	9,5	53	5,3
0,20	60	12,0	13,4	68	13,6	40	8,0
0,30	47	14,1	16,5	52	15,6	32	9,6
0,40	40	16,0	18,4	40	16,0	26	10,4
0,50	33	16,5	19,6	31	15,6	22	11,0
0,60	28	16,3	19,05	24,5	14,1	18,5	10,75
0,70	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,80	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,90 и более	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

Примечание. Интенсивность движения в дверном проеме при плотности потока 0,9 и более, равная 8,5 м/мин, установлена для дверного проема шириной 1,6 м и более, а при дверном проеме меньшей ширины интенсивность движения следует определять по формуле $q = 2,5 + 3,75 \times \delta$.

Если значение q_i , определяемое по формуле (П2.4), меньше или равно q_{\max} , то время движения по участку пути t_i , мин, равно:

$$t_i = \frac{l_i}{V_i}, \quad (\text{П2.5})$$

при этом значения q_{\max} , м/мин, следует принимать равными:

- 16,5 – для горизонтальных путей;
- 19,6 – для дверных проемов;
- 16,0 – для лестницы вниз;
- 11,0 – для лестницы вверх.

Если значение q_i , определенное по формуле (П2.4), больше q_{\max} , то ширину δ_i данного участка пути следует увеличивать на такое значение, при котором соблюдается условие

$$q_i \leq q_{\max}. \quad (\text{П2.6})$$

При невозможности выполнения условия (П2.6) интенсивность и скорость движения людского потока по i -му участку определяют по таблице П2.1 при значении $D = 0,9$ и более. При этом следует учитывать время задержки движения людей из-за образовавшегося их скопления в соответствии с [пунктом 4 приложения № 5](#) к настоящей Методике.

При слиянии в начале i -го участка двух и более людских потоков (рис. П2.1) интенсивность движения q_i , м/мин, рассчитывают по формуле

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (\text{П2.7})$$

где q_{i-1} – интенсивность движения людских потоков, сливающихся в начале i -го участка, м/мин; δ_{i-1} – ширина участков пути слияния, м; δ_i – ширина рассматриваемого участка пути, м.

Если значение q_i , определенное по формуле (П2.7), больше q_{\max} , то ширину δ_i данного участка пути следует увеличивать на такое значение, чтобы соблюдалось условие (П2.6). При невозможности выполнения условия (П2.6) интенсивность и скорость движения людского потока по i -му участку определяют по таблице П2.1 при значении $D = 0,9$ и более. При этом следует учитывать время задержки движения людей из-за образовавшегося их скопления в соответствии с [приложением № 5](#) к настоящей Методике.

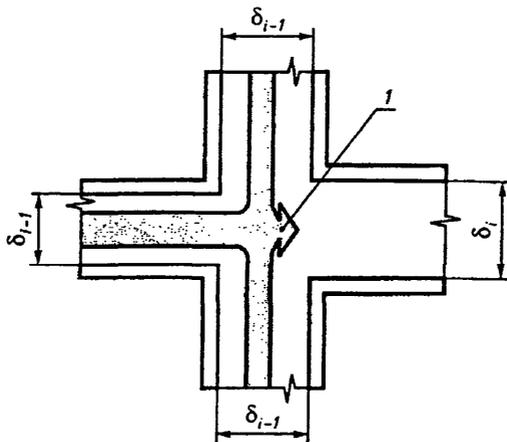


Рис. П2.1. Слияние людских потоков:
1 – начало участка i

Приложение № 3

Математическая модель индивидуально-поточного движения людей из здания

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

Перед началом моделирования процесса эвакуации задается схема эвакуационных путей в здании. Все эвакуационные пути подразделяются на эвакуационные участки длиной a и шириной b . Длина и ширина каждого участка пути эвакуации для проектируемых зданий принимаются по проекту, а для построенных — по фактическому положению. Длина пути по лестничным маршам измеряется по длине марша. Длина пути в дверном проеме принимается равной нулю. Эвакуационные участки могут быть горизонтальные и наклонные (лестница вниз, лестница вверх и пандус).

За габариты человека в плане принимается эллипс с размерами осей 0,5 м (ширина человека в плечах) и 0,25 м (толщина человека). Задаются координаты каждого человека x_i — расстояние от центра эллипса до конца эвакуационного участка, на котором он находится (рис. П3.1).

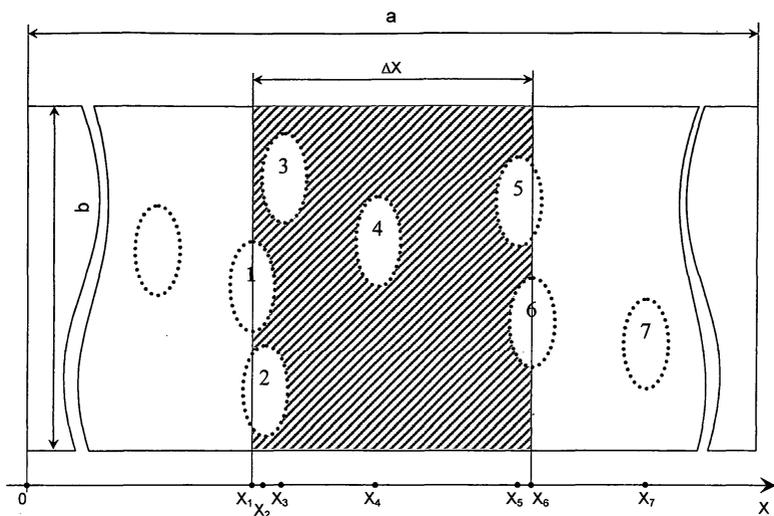


Рис. ПЗ.1. Координатная схема размещения людей на путях эвакуации

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 других объектов, допускается размещать людей равномерно по всей площади помещения с учетом расстановки технологического оборудования.

Координата каждого человека в момент времени t определяется по формуле

$$x_i(t) = x_i(t - \Delta t) - V_i(t) \cdot \Delta t, \quad (\text{ПЗ.1})$$

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 таблице П2.1 приложения № 2 к Методике в зависимости от локальной плотности потока $D_i(t)$, в котором он движется, и типа эвакуационного участка.

Локальная плотность $D_i(t)$, м²/м², вычисляется по группе, состоящей из n человек, по формуле

$$D_i(t) = \frac{(n(t) - 1) \cdot f}{b \cdot \Delta x}, \quad (\text{ПЗ.2}) \quad (\text{ПЗ.2})$$

где n – количество людей в группе, человек; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, m^2 ; b – ширина эвакуационного участка, m ; Δx – разность координат последнего и первого человека в группе, m .

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

В таком случае координата этого человека на следующем эвакуационном участке определяется, m :

$$x_i(t) = [x_i(t-dt) - V_i(t) \cdot dt] + a_j - l_j, \quad (\text{ПЗ.3})(\text{ПЗ.3})$$

где $x_i(t-dt)$ – координата i -го человека в предыдущий момент времени на $(j-1)$ эвакуационном участке, m ; $V_i(t)$ – скорость i -го человека на $(j-1)$ -м эвакуационном участке в момент времени t , m/c ; a_j – длина j -го эвакуационного участка, m ; 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, m .

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

$$Q_j(t) = \frac{q_j(t) \cdot c_j \cdot dt}{f \cdot 60}, \quad (\text{ПЗ.4})$$

где $q_j(t)$ – интенсивность движения на выходе с j -го эвакуационного участка в момент времени t , $m/\text{мин}$; c_j – ширина выхода с j -го эвакуационного участка, m ; dt – промежуток времени, c ; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, m^2 .

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

Плотность людского потока на j -м эвакуационном участке $Dv_j(t)$, m^2/m^2 , в момент времени t определяется по формуле

$$Dv_j t = \frac{N_j \cdot f \cdot dt}{a_j \cdot b_j}, \quad (\text{ПЗ.5})$$

где N_j – число людей на j -м эвакуационном участке, чел; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, m^2 ; a_j – длина j -го эвакуационного участка, m ; b_j – ширина j -го эвакуационного участка, m ; dt – промежуток времени, c .

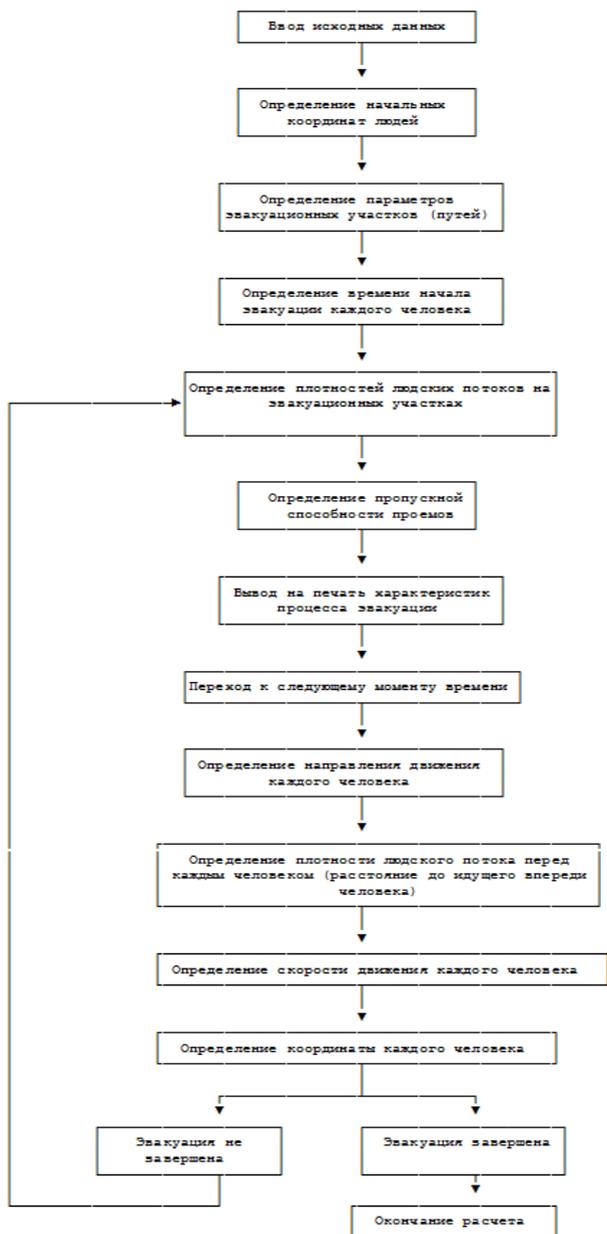


Рис. П3.2. Блок-схема определения расчетного времени эвакуации людей из здания

В момент времени t определяется количество людей m с отрицательными координатами $x_i(t)$, определенными по формуле (ПЗ.1). Если значение $m \leq Q_j(t)$, то все m человек переходят на следующий эвакуационный участок и их координаты определяются в соответствии с формулой (ПЗ.3). 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 (ПЗ.3), а количество человек, равное значению $(m - Q_j(t))$, не переходят на следующий эвакуационный участок (остаются на данном эвакуационном участке), а их координатам присваиваются значения $x_i(t) = 0,25k + 0,25$, где k – номер ряда, в котором будут находиться люди (максимально возможное количество человек в одном ряду сбоку друг от друга для каждого эвакуационного участка определяется перед началом расчетов). Таким образом, возникает скопление людей перед выходом с эвакуационного участка.

На рис. ПЗ.2 изображена блок-схема определения расчетного времени эвакуации людей из здания.

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

Приложение № 4

Имитационно-стохастическая модель движения людских потоков

Множество людей, одновременно идущих в одном направлении по общим участкам пути, образуют людской поток. Участками формирования людских потоков в помещениях следует принимать проходы между оборудованием. Для последующих участков эвакуационных путей они представляют собой первичные источники людских потоков. Распределение N_i человек на участках формирования, имеющих ширину b_i и длину l_i , принимается равномерным.

Поэтому в начальный момент t_0 на каждом элементарном участке Δl_i , занимаемом потоком, плотность потока $D_i^{t_0}$, чел/м², определяется по формуле

$$D_i^{t_0} = \frac{N_i^{t_0}}{b_i \cdot \Delta l_i}. \quad (\text{П4.1})$$

При дальнейшем движении людских потоков из первичных источников по общим участкам пути происходит их слияние. Образуется общий поток, части которого имеют различную плотность. Происходит выравнивание плотностей различных частей людского потока – его переформирование. Следует учитывать, что его головная часть, имеющая перед собой свободный путь, растекается – люди стремятся идти свободно при плотности D_0 . За интервал времени Δt часть людей переходит с этих элементарных участков на последующие и происходит изменение состояния людского потока, его движение.

Скорость движения людского потока при плотности D_i на i -м отрезке участка пути k -го вида следует считать случайной величиной $V_{D,k}$, имеющей числовые характеристики:

– математическое ожидание (среднее значение)

$$V_{D,k} = V_{0,k} \cdot (1 - a_k \cdot \ln D_i / D_{0,k}) \cdot m \text{ при } D_i > D_{0,k}, \quad (\text{П4.2})$$

$$V_{D,k} = V_{0,k} \text{ при } D_i \leq D_{0,k}; \quad (\text{П4.2})$$

– среднее квадратичное отклонение

$$\sigma(V_{D,k}) = \sigma(V_{0,k}) \cdot (1 - a_k \cdot \ln D_i / D_{0,k}), \quad (\text{П4.3})$$

где $V_{0,k}$ и $\sigma(V_{0,k})$ – математическое ожидание скорости свободного движения людей в потоке (при $D_i \leq D_{0,k}$) и ее среднее квадратичное отклонение, м/мин; $D_{0,k}$ – предельное значение плотности людского потока, до достижения которого возможно свободное движение людей по k -му виду пути (плотность не влияет на скорость движения людей); a_k – коэффициент адаптации людей к изменениям плотности потока при движении по k -му виду пути; D_i – значение плотности людского потока на i -м отрезке (Δl) участка пути шириной b_i , чел/м²; m – коэффициент влияния проема.

Значения перечисленных параметров следует принимать по таблице П4.1. При $D = 9$ чел/м² значения $q_i = V_i D_{0,k}$ определяются по формуле

$$q_i = 10(2,5 + 3,75b_i), \text{ м/мин.}$$

При любом возможном значении V^{t_0} люди в количестве $N_i^{t_0}$, находящиеся в момент t_0 на i -м элементарном участке, двигаются по нему и начинают переходить на последующий участок ($i + 1$)

(рис. П4.1). На участок i , в свою очередь, переходит часть людей с предыдущего $(i - 1)$ элементарного участка и из источника j .

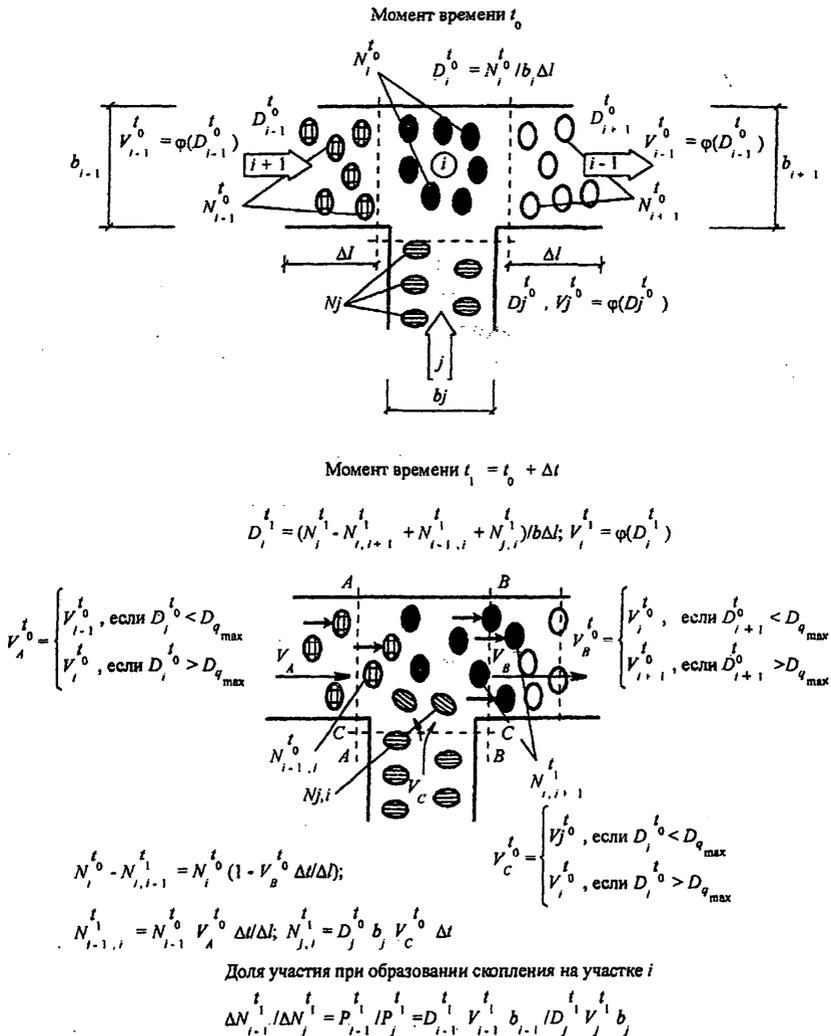


Рис. П4.1. Изменения состояния потока в последовательные моменты времени

Характеристики движения людского потока

Вид пути, к	$V_{0,k}$, м/мин	Сигма ($V_{0,k}$), м/мин	$D_{0,k}$, чел/м ²	a_k	m
Горизонтальный в здании	100	5	0,51	0,295	1
Горизонтальный вне здания	100	5	0,70	0,407	1
Проем*	100	5	0,65	0,295	1,25–0,05D, при $D \geq 5$
Лестница вниз	80	5	0,89	0,400	1
Лестница вверх	50	5	0,67	0,305	1

По прошествии времени Δt к моменту $t_1 = t_0 + \Delta t$ только часть людей $N_{i,i+1}^{t_0}$ с участка i успеет перейти на участок $(i + 1)$. К этому моменту времени из $N_i^{t_0}$ людей, бывших на участке i в момент t_0 , останется $(N_i^{t_0} - N_{i,i+1}^{t_0})$ людей. Их число пополняется за счет людей, успевших за этот интервал времени перейти на него с предыдущего участка $N_{i-1,i}^{t_0}$ и из источника $N_{j,i}^{t_0}$. Тогда плотность потока на участке i в момент t_1 будет равна:

$$D_i^{t_1} = \frac{N_i^{t_0} - N_{i,i+1}^{t_0} + N_{i-1,i}^{t_0} + N_{j,i}^{t_0}}{b_i \cdot \Delta t}. \quad (\text{П4.4})$$

Скорость движения людей, оказавшихся на участке i в момент t_1 , определяется по формуле

$$V_i^{t_1} = V_{0,k} (1 - a_k \cdot \ln D_i^{t_1} / D_{0,k}). \quad (\text{П4.5})$$

Следует учитывать, что изменение плотности потока на каждом участке в различные моменты времени отражает процесс реформирования различных частей потока, и как частный случай, процесс растекания потока.

Изменение плотности потока на каждом из элементарных участков в последовательные моменты времени зависит от количества людей, переходящих через границы участков. В общем случае количество людей, переходящих за интервал времени Δt с участка i на последующий участок $i + 1$, составляет:

$$N_{i,i+1}^{t_1} = D_i^{t_0} \cdot b_i V_{\text{пер}} \cdot \Delta t. \quad (\text{П4.6})$$

Скорость перехода $V_{\text{пер}}$ через границы смежных элементарных участков следует принимать, руководствуясь следующими формулами:

$$V_{\text{пер}} = \begin{cases} V_i^{i0}, & \text{если } D_{i+1}^{i0} \leq D \text{ при } \max V_{D_{i,k}} \cdot D = q_{\text{max}}, \\ V_{i+1}^{i0}, & \text{если } D_{i+1}^{i0} > D \text{ при } \max V_{D_{i,k}} \cdot D = q_{\text{max}}. \end{cases} \quad (\text{П4.7})$$

Необходимо учитывать, что в тот момент времени t_n , когда плотность потока на участке i достигла максимальной величины, на этот участок не может прийти ни один человек ни с предшествующего участка, ни из источника. В результате перед участком i задерживается соответственно $\Delta N_{i-1}^{m,i}$ и $\Delta N_{j,i}^{m,i}$ людей. В следующий момент времени t_{n+1} часть людей с участка i переходит на участок $i+1$, плотность людского потока на нем уменьшится, и часть скопившихся перед его границей людей сможет перейти на него. Доля их участия в пополнении людьми участка i в момент t_{n+1} определяется формулой

$$\Delta N_{i-1}^{m,m+1} / \Delta N_j^{m,m+1} = D_{i-1}^{m,m+1} \cdot V_{i-1}^{m,m+1} \cdot b_{i-1} / D_j^{m,m+1} \cdot V_j^{m,m+1} \cdot b_j. \quad (\text{П4.8})$$

Формулы (П4.4)–(П4.8) полностью описывают состояние людского потока на элементарных участках и их переходы в последовательные моменты времени. Совокупность значений расчетного времени эвакуации, полученных при различных значениях $V_{0,k}$, формирует эмпирическое распределение вероятностей значений Σt_p . По этому распределению следует рассчитывать значение времени завершения эвакуации, соответствующее вероятности $P(t_{\text{р.эв}}) = 0,999$.

Приложение № 5

Данные для определения расчетного времени эвакуации

1. Значение времени начала эвакуации $t_{\text{нэ}}$, с, для помещения очага пожара следует определять по формуле

$$t_{\text{нэ}} = 5 + 0,01F,$$

где F – площадь помещения, м².

Для остальных помещений значение времени начала эвакуации $t_{\text{нэ}}$ следует определять по таблице П5.1.

2. *Принципы составления расчетной схемы эвакуации.* Расчетная схема эвакуации представляет собой отдельно выполненную или нанесенную на план здания схему, на которой отражены:

- количество людей на начальных участках – источниках (проходы между рабочими местами, оборудованием, рядами кресел и т. п.);
- направление их движения (маршруты);
- геометрические параметры участков пути (длина, ширина) и виды участков пути.

Время начала эвакуации

Класс функциональной пожарной опасности зданий и характеристика контингента людей	Значение времени начала эвакуации людей $t_{нэ}$, мин		
	Здания, оборудованные системой оповещения и управления эвакуацией людей		Здания, не оборудованные системой оповещения и управления эвакуацией людей
	I–II типа	III–V типа	
1. Гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпингов, мотелей и пансионатов. (Ф1-2). Жильцы могут находиться в состоянии сна и недостаточно знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	3,0	2,0	6,0
2. Здания зрелищных и культурно-просветительных учреждений; здания организаций по обслуживанию населения (Ф2, Ф3). Посетители находятся в бодрствующем состоянии, но могут быть не знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	3,0	1,0	6,0
3. Здания научных и образовательных учреждений, научных и проектных организаций, органов управления учреждений (Ф4). Посетители находятся в бодрствующем состоянии и хорошо знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	3,0	1,5	6,0

Расчетная схема эвакуации должна учитывать ситуацию, при которой хотя бы один человек находится в наиболее удаленной от выхода из здания, сооружения или строения точке.

Пути движения людей и выходы высотой менее 1,9 м и шириной менее 0,7 м при составлении расчетной схемы эвакуации не учитываются, за исключением случаев, установленных в нормативных документах по пожарной безопасности.

Рассмотрев количество людей на начальных участках пути, следует определить направление их движения. Установлены следующие наблюдаемые правила выбора людьми направления (маршрута) движения при эвакуации:

- а) движение по тому пути, которым люди попали в здание;
- б) исключение путей движения, проходящих рядом с зоной горения, хотя люди могут эвакуироваться через задымленные коридоры;
- в) влияние персонала. В общественных зданиях, как правило, посетители при пожаре следуют указаниям персонала, даже если эти указания не соответствуют оптимальным;
- г) при эвакуации с первого этажа – движение к открытому выходу наружу из здания;
- д) сложная логистическая зависимость, описывающая выбор выхода с этажа зрительного зала (рис. П5.5);
- е) при прочих равных условиях – движение к ближайшему выходу.

Кроме того, имеющиеся данные показывают, что фактором выбора направления может быть место парковки личного автомобиля, место встречи членов семьи и т. п. Определение ширины пути вызывает затруднение только при выходе людей на участок «неограниченной» ширины, например в вестибюль. В таком случае ширина потока (b) зависит от количества людей (N) и длины (l) участка: $b = 4$ м при $N < 100$ чел и $l \leq 6$ м; $b = 6$ м – в остальных случаях.

Согласно данным натуральных наблюдений, установлено, что повороты пути не влияют на параметры движения людского потока.

Определение длины (вдоль оси пути) отличается для горизонтальных и наклонных путей. К наклонным путям относятся лестницы и пандусы. Свободная ширина b наклонного пути, например, лестничного марша, принимается в свету: от перил до стены. Длина наклонного пути L (рис. П5.1) принимается по истинному его значению. Этажные и междуэтажные площадки в целях упрощения и облегчения вычислений, учитывая их небольшие размеры и меньшую сложность движения по ним в сравнении с лестничными маршами, допускается отнести к наклонным путям.

Тогда средняя длина наклонного пути в пределах одного этажа с учетом движения по площадкам составит:

– для двухмаршевых лестниц

$$L = \frac{L'}{\cos \alpha},$$

где L' – горизонтальная проекция длины наклонного пути, м; α – угол наклона к горизонту.

Не допуская серьезной погрешности, длину пути по двухмаршевой лестнице можно принимать равной его утроенной высоте H , т. е. $L = 3H$;

– для трехмаршевых лестниц

$$L = \frac{2 \cdot L'}{\cos \alpha} + \frac{L''}{\cos \alpha} + L'' + 4 \cdot b.$$

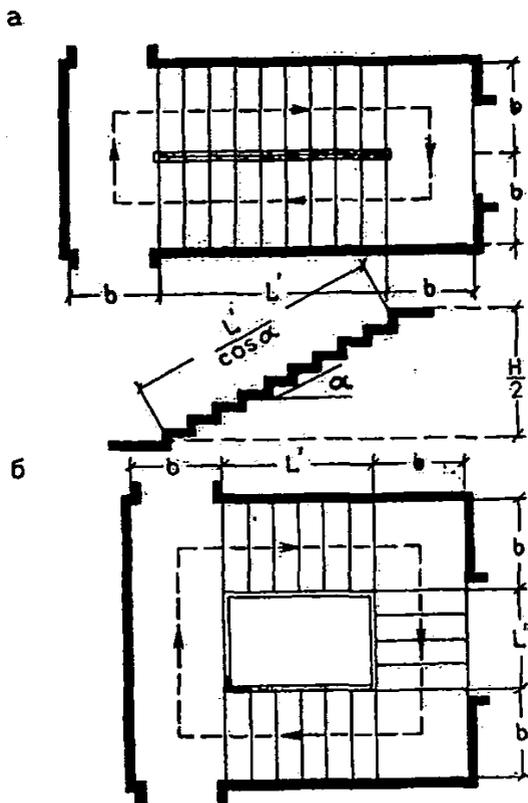


Рис. П5.1. Расчетная длина пути по лестнице:
a — двухмаршевая лестница; *б* — трехмаршевая лестница

Пандусы, если их наклон незначителен (меньше 1:8), можно относить к горизонтальным путям, при более значительных наклонах — к лестницам. Длина наклонного пути также определяется по его оси.

Пути движения в пределах здания обычно пересекаются дверными проемами, декоративными порталами, имеют сужения за счет различных архитектурных или технологических элементов, выступающих из плоскости ограждений. Такие местные сужения независимо от их характера в дальнейшем называются проемами шириной b . Длина пути L в проеме может не учитываться, если она не превышает 0,7 м, т. е. длины одного шага, в противном случае движение в проеме следует рассматривать как движение на самостоятельном расчетном участке горизонтального пути.

Лестничные клетки являются центрами тяготения людских потоков (для первого этажа — выходы наружу), на входе в которые заканчи-

вается второй этап эвакуации. Поэтому расчетные схемы целесообразно составлять для каждой части этажа, по которой люди эвакуируются через предусмотренную для них лестничную клетку (выход наружу). На рис. П5.2 приведен пример составления расчетной схемы эвакуации людей по части этажа до входа в лестничную клетку.

В зрительных залах с постоянными местами для посетителей распределение людей по направлениям движения к эвакуационным выходам показано на рис. П5.3 и П5.4.

Если в дальнейшем люди выходят в фойе или вестибюль, т. е. через помещения, не ограничивающие, как коридор, ширины людского потока, то распределение людских потоков между возможными эвакуационными выходами, когда они не блокированы, происходит согласно закономерностям, приведенным на рис. П5.5, а, б.

3. При однородном составе людского потока групп мобильности М2, М3 и М4 значения величин D , V и q следует принимать в соответствии с данными таблицы П5.2.

4. Площадь горизонтальной проекции человека f , м²/чел, принимается в зависимости от состава людей в потоке в соответствии с приведенными ниже данными.

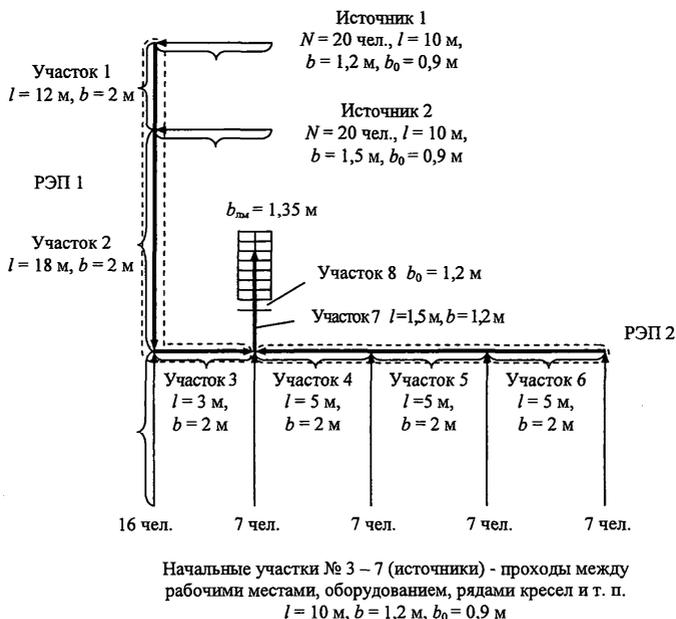


Рис. П5.2. Пример составления расчетной схемы эвакуации людей по части этажа до входа в лестничную клетку: N – количество людей; b – ширина; l – длина; b_0 – ширина проема

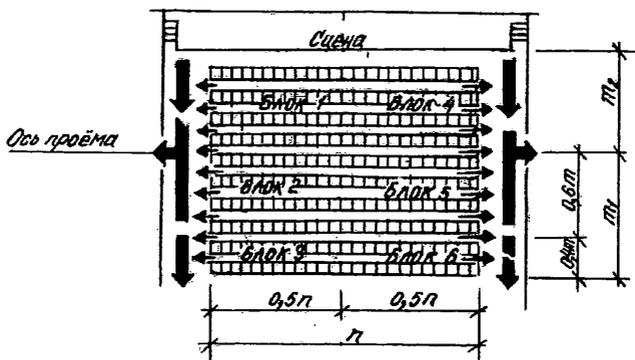


Рис. П5.3. Маршрутизация движения людских потоков при эвакуации из зрительных залов с боковыми (продольными) проходами

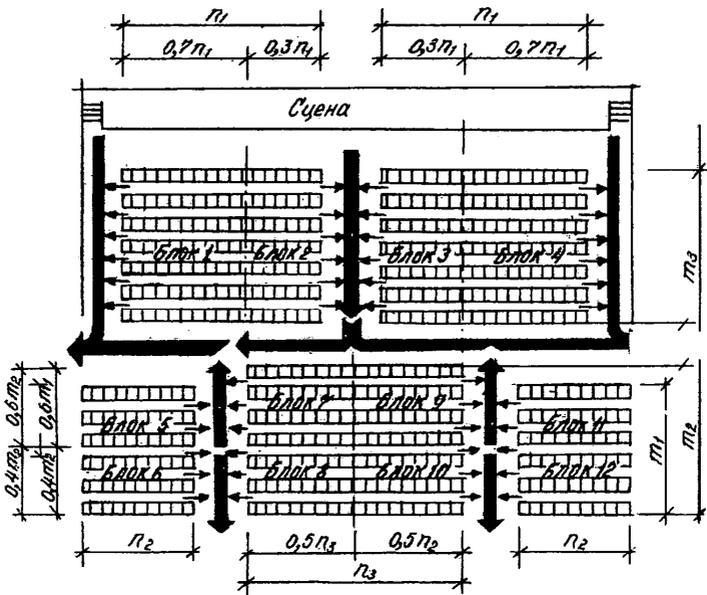
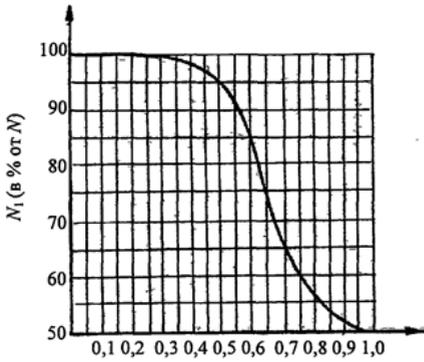


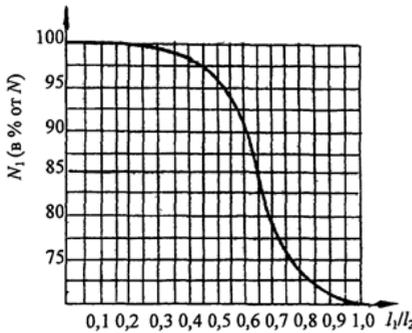
Рис. П5.4. Маршрутизация движения людских потоков при эвакуации из зрительных залов с поперечным проходом



Выходы с этажа в лестничные клетки (из здания)



a



Выход с этажа на открытую лестницу Выход с этажа на лестничную клетку



б

Рис. П5.5. Число зрителей и выбор выхода при эвакуации:

a – в две лестничные клетки либо в две открытые лестницы или в два выхода из здания: N – общее количество эвакуирующихся; N_1 – число эвакуирующихся через ближний выход; N_2 – число эвакуирующихся через дальний выход; l_1 – длина пути до ближнего выхода; l_2 – длина пути до дальнего выхода; *б* – по открытой лестнице: N – общее количество эвакуирующихся; N_1 – число эвакуирующихся по открытой лестнице; l_1 – длина пути до открытой лестницы; l_2 – длина пути до выхода на лестничную клетку

Таблица П5.2

Расчетные значения параметров для групп мобильности М2–М4

Группа мобильности	Вид пути										
	$D, \text{ м}^2/\text{м}^2$	Горизонтальный		Лестница вниз		Лестница вверх		Пандус вниз		Пандус вверх	
		$V, \text{ м/мин}$	$q, \text{ м}^2/\text{м} \times \text{мин}$	$V, \text{ м/мин}$	$q, \text{ м}^2/\text{м} \times \text{мин}$	$V, \text{ м/мин}$	$q, \text{ м}^2/\text{м} \times \text{мин}$	$V, \text{ м/мин}$	$q, \text{ м}^2/\text{м} \times \text{мин}$	$V, \text{ м/мин}$	$q, \text{ м}^2/\text{м} \times \text{мин}$
М2	0,01	30,00	0,30	30,00	0,30	20,00	0,20	45,00	0,45	25,00	0,25
	0,05	30,00	1,50	30,00	1,50	20,00	1,00	45,00	2,25	25,00	1,25
	0,1	30,00	3,00	30,00	3,00	20,00	2,00	45,00	4,50	25,00	2,50
	0,2	26,05	5,21	26,22	5,24	16,78	3,36	41,91	8,38	21,98	4,40
	0,3	21,97	6,59	22,01	6,60	13,96	4,19	33,92	10,18	18,09	5,43
	0,4	19,08	7,63	19,03	7,61	11,96	4,78	28,25	11,30	15,32	6,13
	0,5	16,84	8,42	16,71	8,36	10,41	5,20	23,85	11,93	13,18	6,59
	0,6	15,01	9,01	14,82	8,89	9,14	5,48	20,26	12,16	11,43	6,86
	0,7	13,46	9,42	13,22	9,25	8,07	5,65	17,22	12,05	9,95	6,97
	0,8	12,12	9,69	11,83	9,47	7,14	5,71	14,59	11,67	8,67	6,94
0,9	10,93	9,84	10,61	9,55	6,32	5,68	12,27	11,04	7,54	6,79	
М3	0,01	70,00	0,70	20,00	0,20	25,00	0,25	105,00	1,05	55,00	0,55
	0,05	70,00	3,50	20,00	1,00	25,00	1,25	105,00	5,25	55,00	2,75
	0,1	70,00	7,00	20,00	2,00	25,00	2,50	105,00	10,50	55,00	5,50
	0,2	53,50	10,70	20,00	4,00	20,57	4,11	83,41	16,68	45,54	9,11
	0,3	43,57	13,07	16,67	5,00	17,05	5,12	65,70	19,71	35,59	10,68
	0,4	36,52	14,61	14,06	5,62	14,56	5,82	53,13	21,25	28,54	11,41
	0,5	31,05	15,53	12,04	6,02	12,62	6,31	43,39	21,69	23,06	11,53
	0,6	26,59	15,95	10,38	6,23	11,04	6,62	35,42	21,25	18,59	11,15
	0,7	22,81	15,97	8,98	6,29	9,70	6,79	28,69	20,08	14,81	10,37
	0,8	19,54	15,63	7,77	6,21	8,54	6,83	22,86	18,28	11,53	9,23
0,9	16,65	14,99	6,70	6,03	7,52	6,77	17,71	15,94	8,64	7,78	

Группа мобильности	Вид пути										
	$D, \text{м}^2/\text{м}^2$	Горизонтальный		Лестница вниз		Лестница вверх		Пандус вниз		Пандус вверх	
		$V, \text{м}/\text{мин}$	$q, \text{м}^2/\text{м} \times \text{мин}$								
М4	0,01	60,00	0,60	–	–	–	–	115,00	1,15	40,00	0,40
	0,05	60,00	3,00	–	–	–	–	115,00	5,75	40,00	2,00
	0,1	60,00	6,00	–	–	–	–	115,00	11,50	40,00	4,00
	0,2	50,57	10,11	–	–	–	–	99,65	19,93	35,17	7,03
	0,3	40,84	12,25	–	–	–	–	79,88	23,97	28,36	8,51
	0,4	33,93	13,57	–	–	–	–	65,86	26,34	23,52	9,41
	0,5	28,58	14,29	–	–	–	–	54,98	27,49	19,77	9,89
	0,6	24,20	14,52	–	–	–	–	46,09	27,65	16,71	10,03
	0,7	20,50	14,35	–	–	–	–	38,57	27,00	14,12	9,88
	0,8	17,30	13,84	–	–	–	–	32,06	25,65	11,88	9,50
0,9	14,47	13,02	–	–	–	–	26,32	23,68	9,90	8,91	

М2 – немощные люди, мобильность которых снижена из-за старения организма (инвалиды по старости); инвалиды на протезах; инвалиды с недостатками зрения, пользующиеся белой тростью; люди с психическими отклонениями;

М3 – инвалиды, использующие при движении дополнительные опоры (костыли, палки);

М4 – инвалиды, передвигающиеся на креслах-колясках, приводимых в движение вручную.

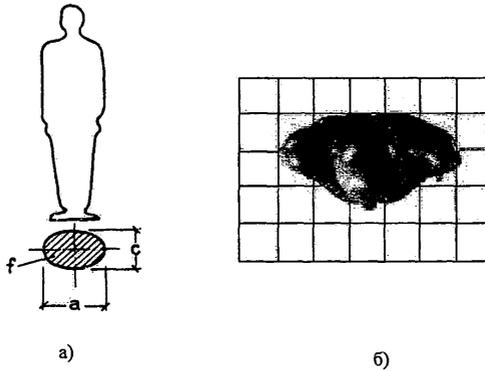


Рис. П5.6. Площадь горизонтальной проекции человека:
a – расчетная; *б* – действительная

$f_{cp} = 0,29$	$f_{cp} = 0,26$	$f_{cp} = 0,18$	$f_{cp} = 0,24$	$f_{cp} = 0,36$
$f_{cp} = 0,38$	$f_{cp} = 0,26$	$f_{cp} = 0,39$	$f_{cp} = 0,39$	$f_{cp} = 0,39$
$f_{cp} = 0,29$	$f_{cp} = 0,20$	$f_{cp} = 0,32$	$f_{cp} = 0,26$	$f_{cp} = 0,18$

Рис. П5.7. Площадь горизонтальной проекции людей с различным грузом

Размеры людей изменяются в зависимости от физических данных, возраста и одежды. В таблицах П5.3, П5.4, П5.5 и на рис. П5.7 приводятся усредненные размеры людей разного возраста, в различной одежде и с различным грузом. При этом даны значения площади горизонтальной проекции инвалидов с нарушением опорно-двигательного аппарата.

Таблица П5.3

Площади горизонтальной проекции взрослых людей

Тип одежды	Ширина a , м	Толщина c , м	Площадь горизонтальной проекции, м ² /чел
Летняя	0,46	0,28	0,100
Весенне-осенняя	0,48	0,30	0,113
Зимняя	0,50	0,32	0,125

Таблица П5.4

Площади горизонтальной проекции детей и подростков

Тип одежды	Возрастные группы		
	Младшая до 9 лет	Средняя 10–13 лет	Старшая 14–16 лет
Домашняя одежда	0,04	0,06	0,08
Домашняя одежда со школьной сумкой	0,07	0,10	0,14
Уличная одежда	0,09	0,13	0,16

Таблица П5.5

Площадь горизонтальной проекции людей с ограниченной мобильностью, м²/чел

Здоровые люди, слабобольшащие, с ограничением умственной деятельности	Слепые	С поражением опорно-двигательного аппарата					
		передвигающиеся без дополнительных опор	передвигающиеся с одной дополнительной опорой	передвигающиеся с двумя дополнительными опорами	передвигающиеся на креслах-колясках	транспортируемые на носилках	транспортируемые на каталках
1	2	3	4	5	6	7	8
$a = 0,28$	$a_1 = 0,72$	$a_2 = 0,40$	$a_3 = 0,50$	$a_4 = 0,50$	$a_5 = 0,80$	$b_1 = 0,50$	$b_2 = 0,75$
$c = 0,46$	$c_1 = 0,82$	$c_2 = 0,75$	$c_3 = 0,65$	$c_4 = 0,90$	$c_5 = 1,20$	$l_1 = 2,10$	$l_2 = 2,10$
$f = 0,10$	$f = 0,40$	$f = 0,25$	$f = 0,20$	$f = 0,30$	$f = 0,96$	$f = 1,05$	$f = 1,58$

Время задержки t_3 движения на i -м участке из-за образовавшегося скопления людей на границе с последующим участком ($i + 1$) определяется по формуле

$$t = N \cdot f \left(\frac{1}{q_{\text{при } D=0,9} \cdot b_{i+1}} - \frac{1}{q_i \cdot b_i} \right), \quad (\text{П5.1})$$

где N – количество людей, чел; f – площадь горизонтальной проекции, м²; $q_{\text{при } D=0,9}$ – интенсивность движения через участок $i + 1$ при плотности 0,9 и более, м/мин; b_{i+1} – ширина участка, м, при вхождении на который образовалось скопление людей; q_{i+1} – интенсивность движения на i -м участке, м/мин; b_i – ширина i -го предшествующего участка, м.

Время существования скопления людей $t_{\text{ск}}$ на i -м участке определяется по формуле

$$t_{\text{ск}} = \frac{N \cdot f}{q_{\text{при } D=0,9} \cdot b_{i+1}}. \quad (\text{П5.2})$$

Расчетное время эвакуации по i -му участку, в конце которого на границе с участком ($i + 1$) образовалось скопление людей, равно времени существования скопления $t_{\text{ск}}$. Расчетное время эвакуации по i -му участку допускается вычислять по формуле

$$t_i = \frac{l_i}{V_i} + t_3. \quad (\text{П5.3})$$

Приложение № 6

Порядок проведения расчета и математические модели для определения времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара

I. Порядок проведения расчета

Производится экспертный выбор сценария или сценариев пожара, при которых ожидаются наихудшие последствия для находящихся в здании людей.

Формулировка сценария развития пожара включает следующие этапы:

- выбор места нахождения первоначального очага пожара и закономерностей его развития;
- задание расчетной области (выбор рассматриваемой при расчете системы помещений, определение учитываемых при расчете элементов внутренней структуры помещений, задание состояния проемов);
- задание параметров окружающей среды и начальных значений параметров внутри помещений.

Выбор места нахождения очага пожара производится экспертным путем. При этом учитывается количество горючей нагрузки, ее свойства и расположение, вероятность возникновения пожара, возможная динамика его развития, расположение эвакуационных путей и выходов.

Наиболее часто при расчетах 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:

$$\psi = \begin{cases} \psi_{уд} \cdot \pi \cdot v^2 \cdot t^2 & \text{— для кругового распространения пожара;} \\ \psi_{уд} \cdot 2 \cdot v \cdot t \cdot b & \text{— для линейного распространения пожара;} \\ \psi_{уд} \cdot F \cdot \sqrt{\frac{t}{t_{ст}}} & \text{— для неустановившегося горения ГЖ,} \end{cases} \quad (\text{Пб.1})$$

где $\psi_{уд}$ — удельная скорость выгорания (для жидкостей установившаяся), кг/(с·м²); 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.

С учетом положений [раздела II](#) данного приложения выбирается метод моделирования, формулируется математическая модель, соответствующая этому сценарию, и производится моделирование динамики развития пожара. На основании полученных результатов рассчитывается время достижения каждым из опасных факторов пожара предельно допустимого значения на путях эвакуации.

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: по СО₂ — 0,11 кг/м³; по СО — 1,16 кг/м³; по HCl — 23·10⁻⁶ кг/м³.

Необходимо отметить, что 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 $t_{\text{бл}}$:

$$t_{\text{бл}} = \min \left\{ t_{\text{кр}}^{\text{п.в}}, t_{\text{кр}}^{\text{Т}}, t_{\text{кр}}^{\text{т.г}}, t_{\text{кр}}^{\text{O}_2}, t_{\text{кр}}^{\text{т.п}} \right\}. \quad (\text{П6.2})$$

II. Классификация и область применения методов математического моделирования пожара

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

Выбор конкретной модели расчета времени блокирования путей эвакуации следует осуществлять исходя из следующих предпосылок:

- 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.).

При использовании интегральной и зонной моделей для помещения, один из линейных размеров которого более чем в пять раз превышает хотя бы один из двух других линейных размеров, необходимо это помещение делить на участки, размеры которых соизмеримы между собой, и рассматривать участки как отдельные помещения, сообщающиеся проемами, площадь которых равна площади сечения на границе участков. Использование аналогичной процедуры в случае, когда два линейных размера превышают третий более чем в 5 раз, не допускается.

III. Интегральная математическая модель расчета газообмена в здании при пожаре

Для расчета распространения продуктов горения по зданию составляются и решаются уравнения аэрации, тепло- и массообмена как для каждого помещения в отдельности, так и для всего здания в целом.

Уравнения движения, связывающие значения перепадов давлений на проемах с расходами газов через проемы, имеют вид:

$$G_{ji} = \text{sign}(\Delta P_{ji}) \cdot \xi \cdot F \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot |\Delta P_{ji}|}, \quad (\text{П6.3})$$

где G_{ji} – расход газов через проем между двумя (j -м и i -м) смежными помещениями, кг/с; ξ – коэффициент расхода проема ($\xi = 0,8$ для закрытых проемов и $\xi = 0,64$ для открытых); F – площадь сечения проема, м²; ρ – плотность газов, проходящих через проем, кг/м³; ΔP_{ji} – средний перепад полных давлений между j -м и i -м помещениями, Па.

Направление (знак) расхода определяется знаком разности давлений ΔP_{ji} . В зависимости от этого плотность ρ принимает различные значения. Знак расхода газов (входящий в помещение расход считается положительным, выходящий – отрицательным) и значение ρ зависят от знака перепада давлений:

$$\text{sign}(\Delta P), \rho = \begin{cases} -1, \rho = \rho_j, & \text{при } \Delta P < 0; \\ +1, \rho = \rho_i, & \text{при } \Delta P > 0. \end{cases} \quad (\text{П6.4})$$

Для прогнозирования параметров продуктов горения (температуры, концентраций токсичных компонентов продуктов горения) в помещениях многоэтажного здания на этажах, расположенных выше этажа, на котором может возникнуть пожар, рассматриваются процессы распространения продуктов горения в вертикальных каналах (лестничные клетки, шахты лифтов и т. п.).

Вертикальную шахту по высоте разделяют на зоны, которые представляют узлы в гидравлической схеме здания. Зона по высоте может охватывать несколько этажей здания. В этом случае расход газа между зонами можно выразить формулой

$$G = \sqrt{\frac{\Delta p}{S}}, \quad (\text{П6.5})$$

где характеристика гидравлического сопротивления на границе зон равна

$$S = \frac{1}{2 \cdot g \cdot \rho \cdot k \cdot F^2},$$

где F – площадь поперечного сечения шахты; k – коэффициент (допускается принимать равным $0,05 \text{ с}^2/\text{м}$); $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; Δp – перепад давлений между узлами.

Здание представляют в виде гидравлической схемы, узлы которой моделируют помещения, а связи – пути движения продуктов горения и воздуха. Каждое помещение здания описывается системой уравнений, состоящей из уравнения баланса массы, уравнения сохранения энергии и уравнения основного газового закона (Менделеева – Клайперона).

Уравнение баланса массы выражается формулой

$$d(\rho_j \cdot V_j) / dt = \psi + \sum_k G_k - \sum_i G_i, \quad (\text{П6.6})$$

где V_j – объем помещения, м^3 ; t – время, с ; $\sum_k G_k$ – сумма расходов, входящих в помещение, кг/с ; $\sum_i G_i$ – сумма расходов, выходящих из помещения, кг/с ; ψ – скорость выгорания пожарной нагрузки, кг/с .

Уравнение сохранения энергии выражается формулой

$$d(C_v \cdot \rho_j \cdot V_j \cdot T_j) / dt = C_p \cdot \sum_k (T_k \cdot G_k) - C_p \cdot T_j \cdot \sum_i (G_i + Q_\Gamma - Q_w), \quad (\text{П6.7})$$

где C_v, C_p – удельная изохорная и изобарная теплоемкости, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; T_i, T_j – температуры газов в i -м и j -м помещениях, К ; Q_Γ – количество тепла, выделяемого в помещении при горении, кВт ; Q_w – тепловой поток, поглощаемый конструкциями и излучаемый через проемы, кВт .

Для помещения очага пожара величина Q_{Γ} определяется по формуле

$$Q_{\Gamma} = (\eta \cdot Q_{\text{н}} + I) \Psi,$$

где η – коэффициент полноты горения; $Q_{\text{н}}$ – низшая теплота сгорания, кДж/кг; $I = c_p \cdot T$ – энтальпия газифицированной горючей нагрузки, кДж/кг; c_p – удельная теплоемкость продуктов пиролиза, кДж/(кг·К); T – температура продуктов пиролиза, К.

Для остальных помещений $Q_{\Gamma} = 0$.

Коэффициент полноты горения η определяется по формуле

$$\eta = \eta_0 \cdot K + (1 - K) \frac{\sum X_{0x,k} \cdot G_k}{\Psi \cdot L_{ox}}, \quad (\text{П6.8})$$

где η_0 – коэффициент полноты горения в режиме пожара, регулируемом горючей нагрузкой, определяемый формулой

$$\eta_0 = 0,63 + 0,2 \cdot X_{ox,0} + 1500 \cdot X_{ox,0}^6. \quad (\text{П6.9})$$

Коэффициент K рассчитывается по формуле

$$K = \left(\frac{X_{ox,m}}{X_{ox,0}} \right)^B \exp \left(B \cdot \left(1 - \frac{X_{ox,m}}{X_{ox,0}} \right) \right); \quad (\text{П6.10})$$

$$B = \left(\frac{X_{ox,0}}{X_{ox,0-0,01}} \right)^2,$$

где $X_{ox,0}$ – начальная концентрация кислорода в помещении очага пожара, кг/кг; $X_{ox,m}$ – текущая концентрация кислорода в помещении очага пожара, кг/кг; L_{ox} – количество кислорода, поглощаемого при сгорании 1 кг горючей нагрузки, кг/кг.

Уравнение Менделеева – Клайперона выражается формулой

$$P_j = \rho_j \cdot T_j \cdot \frac{R}{M}, \quad (\text{П6.11})$$

где P_j – давление газа в j -м помещении, Па; T_j – температура газа в j -м помещении, К; $R = 8,31$ – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); M – молярная масса газа, моль.

Параметры газа в помещении определяются из уравнения баланса масс отдельных компонентов продуктов горения и кислорода и уравнения баланса оптической плотности дыма.

Уравнение баланса масс отдельных компонентов продуктов горения и кислорода:

$$d(X_{L,j} \cdot \rho_j \cdot V_j) / dt = \Psi \cdot L_L + \sum_k (X_{L,k} \cdot G_k) - X_{L,j} \cdot \sum_i G_i, \quad (\text{П6.12}) \quad (\text{П6.12})$$

где $X_{L,i}$, $X_{L,j}$ – концентрация L -го компонента продуктов горения в i -м и j -м помещениях, кг/кг; L_L – количество L -го компонента продуктов горения (кислорода), выделяющегося (поглощающегося) при сгорании одного килограмма пожарной нагрузки, кг/кг.

Уравнение баланса оптической плотности дыма:

$$V_j \cdot d\mu_j/dt = \psi \cdot D_m + \sum_k (\mu_k \cdot G_k) / \rho_k - \mu_j \cdot \sum_i G_i / \rho_j, \quad (\text{Пб.13})$$

где μ_i , μ_j – оптическая плотность дыма в i -м и j -м помещениях, Нп·м⁻¹; D_m – дымообразующая способность пожарной нагрузки, Нп·м²/кг.

Оптическая плотность дыма при обычных условиях связана с расстоянием предельной видимости в дыму формулой

$$l_{\text{пр}} = 2,38/\mu. \quad (\text{Пб.14})$$

Для помещений без источника тепла система уравнений (Пб.6), (Пб.7) и (Пб.8) упрощается и представляется в виде:

$$\begin{cases} G_{ij}(\tau) = \text{sign}(\Delta P_{ij}(\tau)) \cdot \mu \cdot F \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_k \cdot |\Delta P_{ij}(\tau)|} \\ \sum_{i=1}^n \frac{G_{ij}(\tau)}{\rho_k} = 0 \end{cases} \quad (\text{Пб.15})$$

где $\rho_k = \frac{1}{2} \cdot [\rho_i + \text{sign}(\Delta P_{ij}) \cdot \rho_i + \rho_j - \text{sign}(\Delta P_{ij}) \cdot \rho_j]$.

Первое уравнение связывает перепады давлений на соединяющих помещение проемах с расходом газа через эти проемы. Второе выражает постоянство объема для данного помещения. Таким образом, для всего здания требуется решать систему, состоящую из $(m_{\text{гс}} + m_{\text{вс}}) \cdot n_{\text{эт}}$ нелинейных уравнений вида (Пб.12) и $n_y \cdot n_{\text{эт}}$ линейных уравнений вида (Пб.13). Здесь $m_{\text{гс}}$ и $m_{\text{вс}}$ – соответственно число горизонтальных и вертикальных связей на этаже; n_y – число узлов; $n_{\text{эт}}$ – число этажей.

Система уравнений, включающая уравнения (Пб.6), (Пб.7) для помещения очага пожара и (Пб.12), (Пб.13) для остальных помещений и уравнение (Пб.11), описывающая гидравлическую схему здания, решается численно методом итерации в совокупности с методом секущих.

Основные уравнения для определения температуры газа и концентрации продуктов горения в помещениях здания получены из уравнений сохранения энергии и массы.

Температура газа в помещении, где отсутствует очаг пожара, определяется из уравнения теплового баланса, которое можно получить из уравнения сохранения энергии (Пб.7). Формула для опре-

деления температуры газа в j -м помещении здания в n -й момент времени:

$$\begin{aligned}
 T_{nj} = & \frac{\sum_{k=1}^n (C_{\text{PB}} \cdot G_k \cdot T_k) + Q_j}{C_{\text{vr}} \cdot \left(\sum_{k=1}^n G_k - \sum_{i=1}^m G_i \right) + C_{\text{pr}} \cdot \sum_{i=1}^m G_i + \alpha_{jn}^* \cdot F_{jn} + \alpha_{j\text{ст}}^* \cdot F_{j\text{ст}}} + \\
 & + \left[T_{(n-1)j} - \frac{\sum_{k=1}^n (C_{\text{PB}} \cdot G_k \cdot T_k) + Q_j}{C_{\text{vr}} \cdot \left(\sum_{k=1}^n G_k - \sum_{i=1}^m G_i \right) + C_{\text{pr}} \cdot \sum_{i=1}^m G_i + \alpha_{jn}^* \cdot F_{jn} + \alpha_{j\text{ст}}^* \cdot F_{j\text{ст}}} \right] \times \quad (\text{П6.16}) \\
 & \times \exp \left[- \frac{C_{\text{vr}} \cdot \left(\sum_{k=1}^n G_k - \sum_{i=1}^m G_i \right) + C_{\text{pr}} \cdot \sum_{i=1}^m G_i + \alpha_{jn}^* \cdot F_{jn} + \alpha_{j\text{ст}}^* \cdot F_{j\text{ст}}}{C_{\text{vr}} \cdot \rho_j \cdot V_j} \cdot \Delta\tau \right],
 \end{aligned}$$

где Q_j – сумма источников (стоков) тепла в объеме j -го помещения и тепла, уходящего в ограждающие конструкции; приведенный коэффициент теплоотдачи равен

$$\alpha^* = \alpha \cdot \left[\frac{T(\tau) - T_w(\tau)}{T(\tau) - T_0} \right];$$

T_0 – начальная температура в помещении; $F_{j\text{ст}}$ – площадь поверхности ограждающих конструкций в j -м помещении.

Коэффициент теплоотдачи α может быть рассчитан по эмпирической формуле

$$\alpha = \begin{cases} 4,07 \cdot \sqrt[3]{T_m - T_w} & \text{при } T_m \leq 60^\circ\text{C}, \\ 11,63 \cdot \exp[0,0023 \cdot (T_m - T_0)] & \text{при } T_m > 60^\circ\text{C}. \end{cases} \quad (\text{П6.17})$$

Концентрация отдельных компонентов газовых смесей в помещениях здания вычисляется из уравнения баланса массы данного компонента (П6.12). Концентрация L -го компонента продуктов горения в j -м помещении в n -й момент времени определяется уравнением

$$X_{Lj(n)} = \frac{\sum_{k=1}^n (X_{Lk} \cdot G_k)}{\sum_{k=1}^n G_k} + \left(X_{Lj(n-1)} - \frac{\sum_{k=1}^n (X_{Lk} \cdot G_k)}{\sum_{k=1}^n G_k} \right) \cdot \exp \left(- \frac{\sum_{k=1}^n G_k}{\rho_j \cdot V_j} \cdot \Delta\tau \right). \quad (\text{П6.18})$$

Оптическая концентрация дыма в помещениях определяется из балансового уравнения (П6.13). Натуральный показатель ослабления среды в j -м помещении в n -й момент времени определяется уравнением

$$\mu_{(n)j} = \frac{\sum_{k=1}^n (\mu_k \cdot G_k)}{\sum_{k=1}^n G_k} + \left(\mu_{(n-1)j} - \frac{\sum_{k=1}^n (\mu_k \cdot G_k)}{\sum_{k=1}^n G_k} \right) \cdot \exp \left(- \frac{\sum_{k=1}^n G_k}{\rho_j \cdot V_j} \cdot \Delta \tau \right). \quad (\text{П6.19})$$

Аналитические соотношения для определения критической продолжительности пожара

Для одиночного помещения высотой не более 6 м, удовлетворяющего условиям применения интегральной модели, при отсутствии систем противопожарной защиты, влияющих на развитие пожара, допускается определять критические времена по каждому из опасных факторов пожара с помощью аналитических соотношений:

– по повышенной температуре:

$$t_{\text{кр}}^T = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 + \frac{70 - t_0}{(273 + t_0) \cdot z} \right] \right\}^{\frac{1}{n}}; \quad (\text{П6.20})$$

– по потере видимости:

$$t_{\text{кр}}^{\text{п.в}} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 - \frac{V \cdot \ln(1,05 \cdot \alpha \cdot E)}{l_{\text{нр}} \cdot B \cdot D_m \cdot z} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{n}}; \quad (\text{П6.21})$$

– по пониженному содержанию кислорода:

$$t_{\text{кр}}^{\text{O}_2} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 - \frac{0,044}{\left(\frac{B \cdot L_{\text{O}_2}}{V} + 0,27 \right) \cdot z} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{n}}; \quad (\text{П6.22})$$

– по каждому из газообразных токсичных продуктов горения:

$$t_{\text{кр}}^{\text{т.г}} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 - \frac{V \cdot X}{B \cdot L \cdot z} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{n}}, \quad (\text{П6.23})$$

где B – размерный комплекс, зависящий от теплоты сгорания материала и свободного объема помещения, кг,

$$B = \frac{353 \cdot c_p \cdot V}{(1 - \varphi) \cdot \eta \cdot Q_n};$$

t_0 – начальная температура воздуха в помещении, °С; n – показатель степени, учитывающий изменение массы выгорающего материала во времени; A – размерный параметр, учитывающий удельную массовую скорость выгорания горючего материала и площадь пожара, кг/сⁿ; Z – безразмерный параметр, учитывающий неравномерность распределения ОФП по высоте помещения; Q_n – низшая теплота сгорания материала, МДж/кг; C_p – удельная изобарная теплоемкость дымовых газов, МДж/(кг·К) (допускается принимать равной теплоемкости воздуха при 45 °С); φ – коэффициент теплопотерь (принимается по данным справочной литературы, при отсутствии данных может быть принят равным 0,55); η – коэффициент полноты горения (определяется по формуле (П6.9)); V – свободный объем помещения, м³; a – коэффициент отражения предметов на путях эвакуации; E – начальная освещенность, лк; l_{np} – предельная дальность видимости в дыму, м; D_m – дымообразующая способность горящего материала, Нп/(м²·кг); L – удельный выход токсичных газов при сгорании 1 кг материала, кг/кг; L_{O_2} – удельный расход кислорода, кг/кг; X – предельно допустимое содержание токсичного газа в помещении, кг/м³:

$$X_{CO_2} = 0,11 \text{ кг/м}^3; X_{CO} = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3; X_{HCL} = 23 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3.$$

Если под знаком логарифма получается отрицательное число, то данный ОФП не представляет опасности.

Параметр z вычисляются по формуле

$$z = \frac{h}{H} \cdot \exp\left(1,4 \cdot \frac{h}{H}\right) \text{ при } H \leq 6 \text{ м}, \quad (\text{П6.24})$$

где h – высота рабочей зоны, м; H – высота помещения, м.

Определяется высота рабочей зоны:

$$h = h_{пл} + 1,7 - 0,5 \cdot \delta, \quad (\text{П6.25})$$

где $h_{пл}$ – высота площадки, на которой находятся люди, над полом помещения, м; δ – разность высот пола, равная нулю при горизонтальном его расположении, м.

Следует иметь в виду, что наибольшей опасности при пожаре подвергаются люди, находящиеся на более высокой отметке. Поэтому, например, при определении необходимого времени эвакуации людей из партера зрительного зала с наклонным полом значение h следует находить, ориентируясь на наиболее высоко расположенные ряды кресел.

Параметры A и n вычисляются так:

– для случая горения жидкости с установившейся скоростью:

$$A = \psi_{уд} \cdot F \quad n = 1,$$

где $\psi_{уд}$ – удельная массовая скорость выгорания жидкости, кг/(м²·с);

– для случая горения жидкости с неустановившейся скоростью:

$$A = \frac{0,67 \cdot \psi_{уд} \cdot F}{\sqrt{t_{ст}}} \quad n = 1,5;$$

– для кругового распространения пожара:

$$A = 1,05 \cdot \psi_{уд} \cdot V^2 \quad n = 3,$$

где V – линейная скорость распространения пламени, м/с;

– для вертикальной или горизонтальной поверхности горения в виде прямоугольника, одна из сторон которого увеличивается в двух направлениях за счет распространения пламени (например, распространение огня в горизонтальном направлении по занавесу после охвата его пламенем по всей высоте):

$$A = \psi_{уд} \cdot V \cdot b \quad n = 2,$$

где b – перпендикулярный к направлению движения пламени размер зоны горения, м.

При отсутствии специальных требований значения a и E принимаются равными 0,3 и 50 лк соответственно, а значение $l_{пр} = 20$ м.

IV. Математическая двухзонная модель пожара в здании

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

– T – температура среды в задымленной зоне, К;

– μ – оптическая плотность дыма, Нп/м;

– x_i – массовая концентрация i -го токсичного продукта горения в задымленной зоне, кг/кг;

– x_k – массовая концентрация кислорода, кг/кг;

– Z – высота нижней границы слоя дыма, м.

В свою очередь, перечисленные параметры выражаются через основные интегральные параметры задымленной зоны с помощью следующих формул:

$$Q_3 = \int_0^T m \cdot c_p(T) \cdot dT; \quad (\text{П6.26})$$

$$x_i = \frac{m_i}{m}, \quad x_k = \frac{m_k}{m}; \quad (\text{П6.27})$$

$$\mu = \frac{S}{V_{\text{Д}}}; \quad (\text{П6.28})$$

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{Д}}}, Z = H - \frac{V_{\text{Д}}}{A}, \quad (\text{П6.29})$$

где m , m_i – общая масса дыма и, соответственно, i -го токсичного продукта горения в задымленной зоне, кг; $m_{\text{к}}$ – масса кислорода в задымленной зоне, кг; $Q_{\text{з}}$ – энтальпия продуктов горения в задымленной зоне, кДж; S – оптическое количество дыма, Нп·м²; ρ – плотность дыма при температуре T , кг/м³; $V_{\text{Д}}$ – объем задымленной зоны, м³; H , A – высота и площадь помещения, м; c_p – удельная теплоемкость дыма, кДж/(К·кг).

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

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

$$\frac{dm}{dt} = G_{\text{к}} - G_{\text{п}}, \quad (\text{П6.30})$$

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

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

$$\frac{dQ}{dt} = Q_{\text{к}} - Q_{\text{п}} - Q_{\text{кон}}, \quad (\text{П6.31})$$

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

– массы кислорода с учетом потерь на окисление продуктов пиролиза горючих веществ:

$$\frac{dm_{\text{ox}}}{dt} = 0,23 \cdot (G_{\text{к}} - \eta \cdot \psi \cdot L_{\text{ox}}) - x_{\text{ox}} \cdot G_{\text{п}}, \quad (\text{П6.32})$$

где η – полнота сгорания горючего материала, кг/кг; ψ – скорость выгорания горючего материала, кг/с; L_{ox} – потребление кислорода при сгорании единицы массы горючего материала, кг/кг;

– оптического количества дыма с учетом дымообразующей способности горящего материала:

$$\frac{dS}{dt} = \psi \cdot D_m - G_{\Gamma} \cdot \frac{\mu}{\rho}, \quad (\text{П6.33})$$

где D_m – дымообразующая способность горючего материала, Нп/(м²·кг);

– массы i -го токсичного продукта горения:

$$\frac{dm_i}{dt} = \psi \cdot L_i - x_i \cdot G_{\Gamma}, \quad (\text{П6.34})$$

где L_i – массовый выход i -го токсичного продукта горения, кг/кг.

Масса компонентов дыма G_K , вносимых 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 компонентов дыма через осесимметричную конвективную колонку на высоте нижнего уровня задымленной зоны Z (в зависимости от того, какая область конвективной колонки или факела погружена в задымленную зону) задается полуэмпирической формулой

$$G_K = \begin{cases} 0,011 \cdot Q \cdot \left(\frac{Z}{Q^{2/5}} \right)^{0,566} & \text{для области факела,} \\ 0,026 \cdot Q \cdot \left(\frac{Z}{Q^{2/5}} \right)^{0,909} & \text{для переходной области,} \\ 0,124 \cdot Q \cdot \left(\frac{Z}{Q^{2/5}} \right)^{1,895} & \text{для области колонки,} \end{cases} \quad (\text{П6.35})$$

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:

$$Q = \eta \cdot \psi_{\text{уд}} \cdot Q_{\text{н}} \cdot F(t). \quad (\text{П6.36})$$

Потери тепла в ограждающих конструкциях рассчитываются с учетом температуры горячей струи T_s , 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

$$\frac{\partial T_i(y)}{\partial \tau} = \frac{1}{C(T) \cdot \rho} \cdot \frac{\partial \lambda(T) \cdot \partial T_i(y)}{\partial^2 \cdot y}, \quad (\text{П6.37})$$

с граничными и начальными условиями:

$$(\alpha_k + \alpha_l) \cdot (T_c + T_w) = -\lambda_w \cdot \left. \frac{\partial T_i(y)}{\partial y} \right|_{y=0}; \quad (\text{П6.38})$$

$$(\alpha_k + \alpha_l) \cdot (T_0 + T_i(\delta)) = -\lambda_T \cdot \left. \frac{\partial T_i(y)}{\partial y} \right|_{y=\delta}; \quad (\text{П6.39})$$

$$T_i(0, y) = T_0, \quad 0 \leq y \leq \delta, \quad (\text{П6.40})$$

где α_k, α_l — соответственно конвективный и лучистый коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м²·К); δ — толщина ограждающей конструкции, м; $C(T)$ — теплоемкость материала конструкции при температуре $T(y)$, Дж/(кг²·К); $\lambda(T)$ — теплопроводность материала конструкции при температуре $T(y)$, Вт/(м·К); T_w, T_0 — температура соответственно обогреваемой части конструкции и среды у необогреваемой поверхности, К; ρ — плотность материала конструкции, кг/м.

Тепловые и массовые потоки через проем в каждый момент времени рассчитываются с учетом текущего перепада давления по высоте проема, состава и температуры газовой среды по обе стороны проема (схема расчета на рис. Пб.1). Так, массовый расход дыма из помещения очага пожара в соседнее помещение рассчитывается следующим образом:

$$G_{\Pi} = B \cdot \xi \cdot \int_{Y_{\min}}^{Y_{\max}} \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (P(h) - P_2(h))} \cdot dh, \quad (\text{П6.41})$$

где B — ширина проема, м; ξ — аэродинамический коэффициент проема; $P(h) - P_2(h)$ — разница давлений в помещениях на высоте h ; ρ — плотность дыма в задымленной зоне соседнего помещения при температуре дыма T .

Пределы интегрирования Y_{\max} и Y_{\min} выбираются по диапазону створа проема, слоя дыма у очага пожара и там, где избыточное давление $\Delta P = (P(h) - P(h_2)) > 0$, как это указано на рис. Пб.1.

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

$$P_i(h) = \begin{cases} P_{i0} - \rho_0 \cdot g \cdot h & \text{если } h \leq Z_i, \\ P_{i0} - \rho_0 \cdot g \cdot Z_i - \rho_i \cdot g \cdot h & \text{если } h > Z_i, \end{cases} \quad (\text{П6.42})$$

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 ; Z_i — текущая высота незадымленной зоны в i -м помещении.

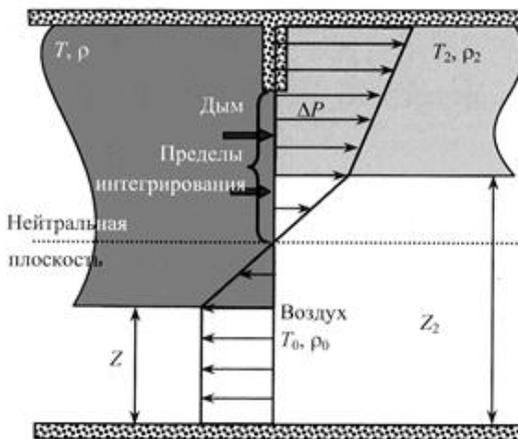


Рис. П6.1. Массопотоки через проем

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

В. Полевой метод моделирования пожара в здании

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

Уравнение сохранения массы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \cdot u_j) = 0. \quad (\text{П6.43})(\text{П6.43})$$

Уравнение сохранения импульса:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \cdot u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \cdot u_j \cdot u_i) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho \cdot g_i. \quad (\text{П6.44})$$

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

$$\tau_{ij} = \mu \cdot \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \cdot \delta_{ij}. \quad (\text{П6.45})$$

Уравнение энергии:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \cdot h) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \cdot u_j \cdot h) = \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\lambda}{c_p} \cdot \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial q_j^R}{\partial x_j}, \quad (\text{П6.46})$$

где h – статическая энтальпия смеси

$$h = h_0 + \int_{T_0}^T c_p \cdot dT + \sum_k (Y_k \cdot H_k);$$

H_k – теплота образования k -го компонента; q_j^R – радиационный поток энергии в направлении x_j ; теплоемкость смеси при постоянном давлении

$$c_p = \sum_k Y_k \cdot c_{p,k}.$$

Уравнение сохранения химического компонента k :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot Y_k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \cdot u_j \cdot Y_k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho \cdot D \cdot \frac{\partial Y_k}{\partial x_j} \right) + S_k. \quad (\text{П6.47})$$

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

$$P = \rho \cdot R_0 \cdot T \cdot \sum_k \frac{Y_k}{M_k}, \quad (\text{П6.48})$$

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

Пример расчета пожарного риска для здания класса функциональной пожарной опасности Ф1.2

1. Анализ пожарной опасности здания

Рассматриваемое здание [5] расположено по адресу: ..., предназначено для временного проживания людей общей численностью до 160 человек.

Здание II степени огнестойкости – имеет два надземных этажа.

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

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

На втором 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 здания 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 – 0,8 м (п. 5.3.5 СП 1.13130.2009).

2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций

Согласно [приложению № 1](#) к Методике для рассматриваемого здания гостиницы частота возникновения пожара в течение года составляет $2,81 \cdot 10^{-2}$.

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

3.1. Описание сценариев развития пожара

Сформулируем сценарии развития пожара. На рис. 1.1 и 1.2 представлены планы этажей рассматриваемого здания.

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.

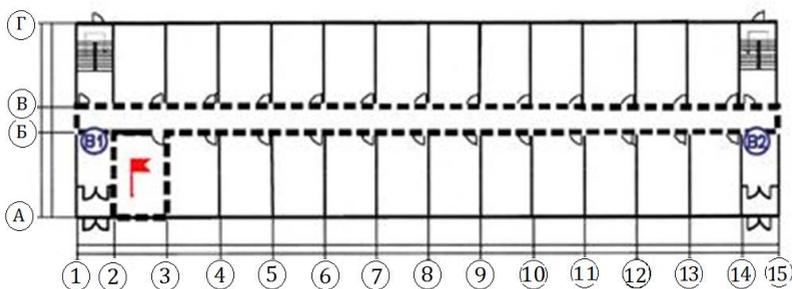


Рис. 1.1. План первого этажа здания:

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

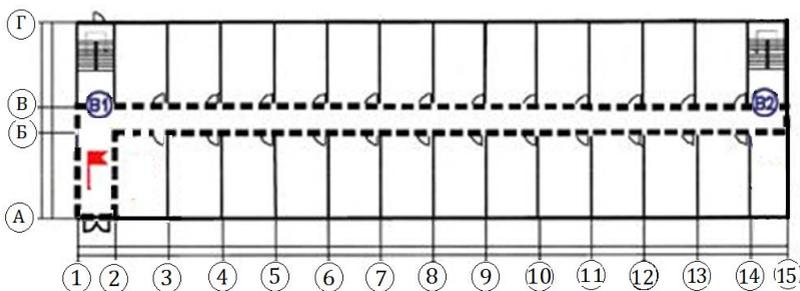


Рис. 1.2. План второго этажа здания:

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

Сценарий 1. Пожар возникает в помещении гостиничного номера, расположенном на первом этаже в осях А-В/2-3, на уровне пола (рис. 1.1). Месторасположение очага пожара способствует быстрому распространению ОФП с последующим блокированием эвакуационных выходов.

При проведении расчетов рассматривались помещение очага пожара и коридор в осях В-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-В/1-2, на уровне пола (рис. 1.2). Месторасположение очага пожара способствует быстрому распространению ОФП с последующим блокированием эвакуационных выходов.

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

3.2. Выбор метода математического моделирования пожара

Согласно [приложению № 6](#) Методики сформулируем математическую модель развития пожара.

Для описания термогазодинамических параметров пожара применяются три основные 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.

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

Согласно [приложению № 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:

$$\psi = \begin{cases} \psi_{\text{уд}} \cdot \pi \cdot v^2 \cdot t^2 & \text{— для кругового распространения пожара;} \\ \psi_{\text{уд}} \cdot 2 \cdot v \cdot t \cdot b & \text{— для линейного распространения пожара;} \\ \psi_{\text{уд}} \cdot F \cdot \sqrt{\frac{t}{t_{\text{ст}}}} & \text{— для неустановившегося горения ГЖ,} \end{cases}$$

где $\psi_{\text{уд}}$ — удельная скорость выгорания (для жидкостей установившаяся), $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$; v — скорость распространения пламени, $\text{м}/\text{с}$; b — ширина полосы горючей нагрузки, м ; $t_{\text{ст}}$ — 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 — $1400 \text{ Вт}/\text{м}^2$;
- 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 — $0,226 \text{ кг}/\text{м}^3$;
- по каждому из токсичных газообразных продуктов горения: CO_2 — $0,11 \text{ кг}/\text{м}^3$; CO — $1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{м}^3$; HCl — $23 \cdot 10^{-6} \text{ кг}/\text{м}^3$.

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 горизонталь-

ными размерами критическое время определяется как максимальное из критических времен для эвакуационных выходов из данного помещения (время блокирования последнего выхода).

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

$$t_{\text{бл}} = \min \left\{ t_{\text{кр}}^{\text{п.в}}, t_{\text{кр}}^{\text{T}}, t_{\text{кр}}^{\text{т.г}}, t_{\text{кр}}^{\text{O}_2}, t_{\text{кр}}^{\text{т.п}} \right\}.$$

При проведении расчета ОФП исходя из функционального назначения помещения очага пожара для сценариев 1 и 2 используем физико-химические свойства горючей нагрузки (жилые помещения гостиниц, общежитий и т. д.) в соответствии с табл. 1.1.

Таблица 1.1

Значения показателей пожарной опасности типовой горючей нагрузки в помещениях

Материал	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Дымообразующая способность, Нп · 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
Жилые помещения гостиниц, общежитий и т. д.	13,8	270	0,0145	0,0045	1,03	0,203	0,0022	0,014

3.4. Описание полевого метода моделирования пожара в здании

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

Использованная математическая модель включает следующие основные уравнения:

– уравнение сохранения массы:

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

– уравнение сохранения импульса:

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

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

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

Уравнение энергии:

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

$$h = h_0 + \int_{T_0}^T c_p \cdot dT + \sum_k (Y_k \cdot H_k),$$

где H_k – теплота образования k -го компонента; q_j^R – радиационный поток энергии в направлении x_j ; теплоемкость смеси при постоянном давлении

$$c_p = \sum_k Y_k \cdot c_{p,k}.$$

Уравнение сохранения химического компонента k :

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

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

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

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

3.5. 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 (при расчете с использованием программных средств) 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, опуска-

- ется ниже отметки 1,7 м от уровня пола, блокируется по признаку потери видимости выход из помещения очага пожара;
- 80 с – на части площади коридора дым опускается ниже отметки 1,7 м от уровня пола;
 - 160 с – блокируется по признаку потери видимости эвакуационный выход В1;
 - 300 с – на большей части площади коридора дым с концентрацией, превышающей критическое значение, опускается ниже отметки 1,7 м от уровня пола;
 - 360 с – происходит блокирование всех рассматриваемых эвакуационных выходов по следующим признакам: потеря видимости (рис. 1.3), повышение температуры (рис. 1.4), повышение концентрации HCl (рис. 1.5), понижение концентрации O₂ (рис. 1.6); блокирование эвакуационных выходов по признаку повышения концентрации CO₂ не происходит (рис. 1.7).

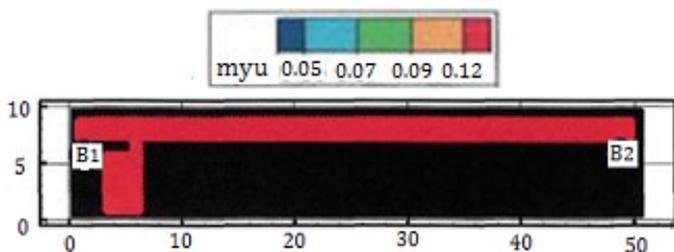


Рис. 1.3. Поля оптической плотности дыма (Нп/м) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 360 с

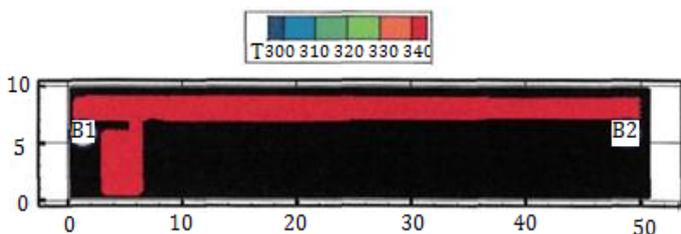


Рис. 1.4. Поля температуры (К) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 360 с

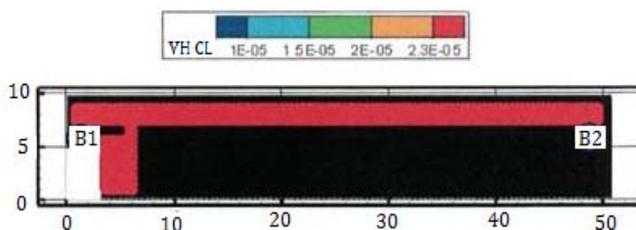


Рис. 1.5. Концентрация HCl (кг/м³) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 360 с

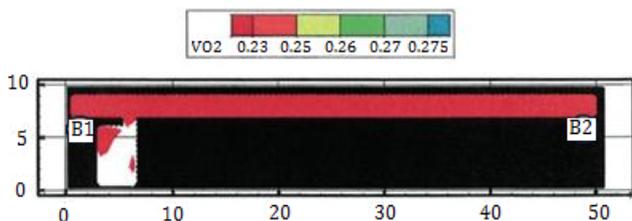


Рис. 1.6. Концентрация O₂ (кг/м³) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 360 с

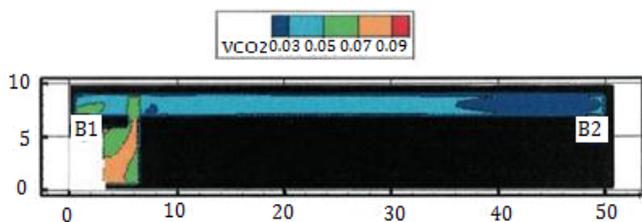


Рис. 1.7. Концентрация CO₂ (кг/м³) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 360 с

Более подробная информация о времени блокирования отдельных эвакуационных выходов представлена в табл.1.2.

Таблица 1.2

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

№ вы- хода	Путь эва- куации	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

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

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

Динамику этого варианта развития пожара можно проиллюстрировать (при расчете с использованием программных средств) 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 отметки 1,7 м от уровня пола, блокирование выхода из помещения очага пожара не происходит;
- 80 с – на отдельных участках площади коридора дым с концентрацией, превышающей критическое значение, опускается ниже отметки 1,7 м от уровня пола, блокируется по признаку потери видимости эвакуационный выход В1;
- 160 с – блокируются по признаку потери видимости выходы из жилых комнат в осях 2-3/А-Г; на отдельных участках площади коридора наблюдается повышение температуры выше критического значения; на отдельных участках площади коридора наблюдается повышение концентрации HCl выше критического значения;
- 280 с – на большей части площади коридора дым с концентрацией, превышающей критическое значение, опускается ниже отметки 1,7 м от уровня пола;
- 340 с – блокируются по признаку потери видимости все рассматриваемые эвакуационные выходы второго этажа (рис. 1.8); блокируется по признаку повышения температуры эвакуационный выход В2 (рис. 1.9); блокирование эвакуационного выхода В2 по признаку повышения концентрации CO_2 не происходит (рис. 1.10); блокируется эвакуационный выход В2 по признаку повышения концентрации HCl (рис. 1.11); блокирование эвакуационного выхода В2 по признаку понижения концентрации O_2 не происходит (рис. 1.12).

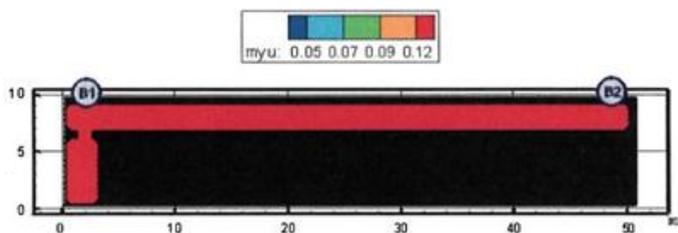


Рис. 1.8. Оптическая плотность дыма (Нп/м) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 340 с

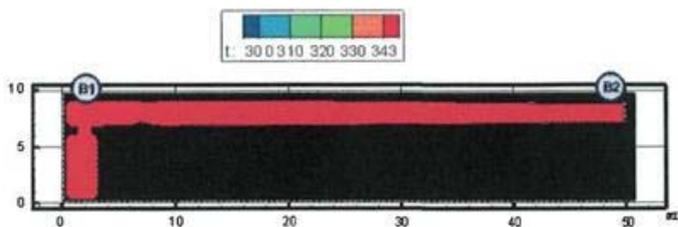


Рис. 1.9. Поля температуры (К) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 340 с

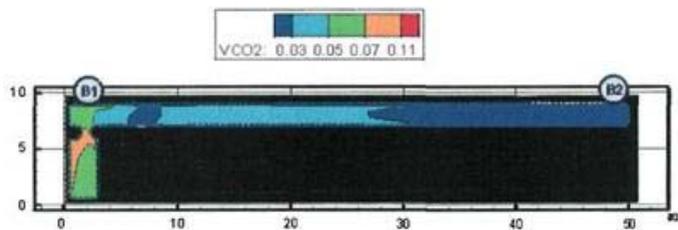


Рис. 1.10. Концентрация CO_2 ($\text{кг}/\text{м}^3$) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 340 с

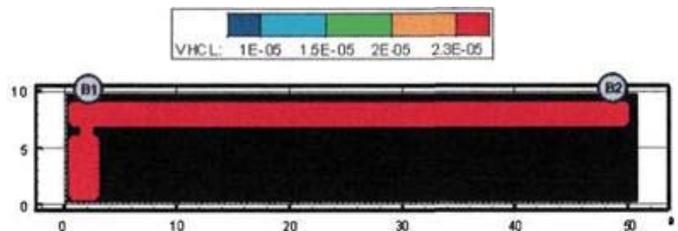


Рис. 1.11. Концентрация HCl ($\text{кг}/\text{м}^3$) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 340 с

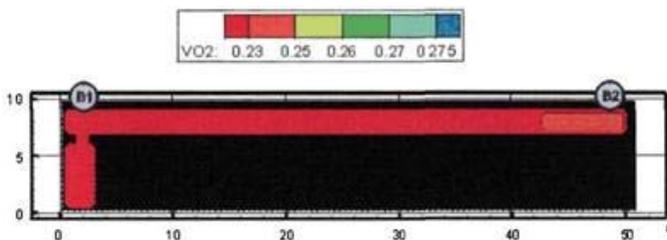


Рис. 1.12. Концентрация O_2 ($кг/м^3$) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола в момент времени 340 с

Более подробная информация о времени блокирования отдельных эвакуационных выходов представлена в табл. 1.3.

Таблица 1.3

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

№ вы- хода	Путь эва- куации	Время блокирования, с					потеря ви- димости
		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

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

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

4.1. Выбор математической модели эвакуации людей

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

Расчетное время эвакуации людей определяется по математической модели индивидуально-поточного движения людей из здания, приведенной в [приложении № 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 . Дли-

на 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. 1.13). 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. 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.

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.

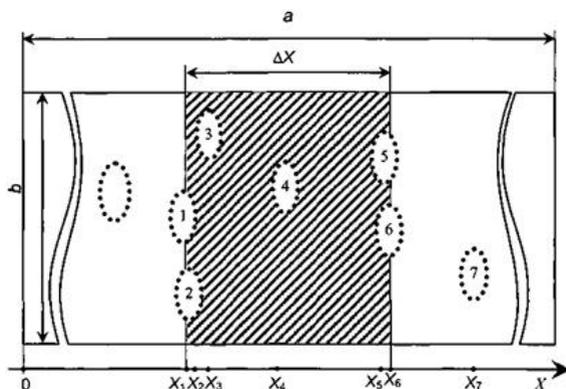


Рис. 1.13. Координатная схема размещения людей на путях эвакуации

Координата каждого человека в момент времени t определяется по формуле

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

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 таблице П2.1 [приложения № 2](#) Методики 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

$$D_i(t) = \frac{(n(t) - 1) \cdot f}{b \cdot \Delta x},$$

где n – количество людей в группе, чел; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, 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 вышеприведенной формуле, 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 формулой (П3.3) из приложения № 3 Методики:

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

где $x_i(t - dt)$ – координата i -го человека в предыдущий момент времени на $(j - 1)$ эвакуационном участке, м; $V_i(t)$ – скорость i -го человека на $(j - 1)$ -м эвакуационном участке в момент времени t , м/с; a_j – длина j -го эвакуационного участка, м; l_j – координата места слияния j -го и $(j - 1)$ -го эвакуационных участков – расстояние от начала j -го эвакуационного участка до места слияния его с $(j - 1)$ -м эвакуационным участком, м.

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

$$Q_j(t) = \frac{q_j(t) \cdot c_j \cdot dt}{f \cdot 60},$$

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

$$Dv_j t = \frac{N_j \cdot f \cdot dt}{a_j \cdot b_j},$$

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 $x_i(t)$. Если значение $m \leq Q_j(t)$, то все m человек переходят на следующий эвакуационный участок и их координаты определяются в соответствии с формулой (ПЗ.3) Методики. 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 (ПЗ.3), а количество человек, равное значению $(m - Q_j(t))$, не переходят на следующий эвакуационный участок (остаются на данном эвакуационном участке), а их координатам присваиваются значения $x_i(t) = 0,25k + 0,25$, где k – номер ряда, в котором будут находиться люди (максимально возможное количество человек в одном ряду сбоку друг от друга для каждого эвакуационного участка определяется перед началом расчетов). Таким образом, возникает скопление людей перед выходом с эвакуационного участка.

На основании заданных начальных условий (начальных координат людей, параметров эвакуационных участков) определяются плотности людских потоков на путях эвакуации и пропускные спо-

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.

4.2. Результаты расчета времени эвакуации

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.

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. 1.14 и 1.15 соответственно.

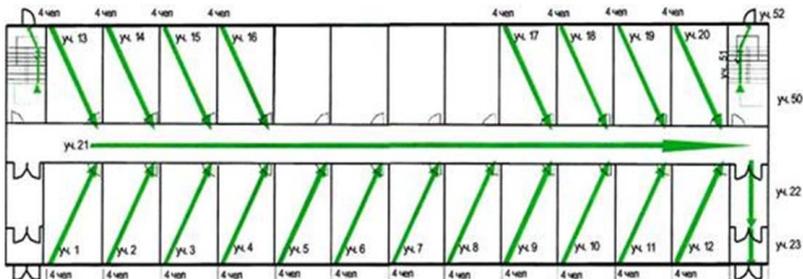


Рис. 1.14. Расчетная схема эвакуации для сценария 1

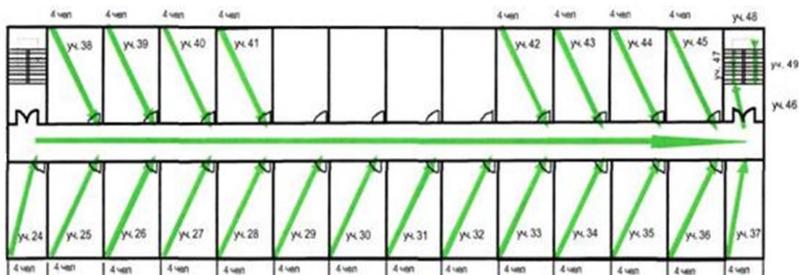


Рис. 1.15. Расчетная схема эвакуации для сценария 2

Описание эвакуационного сценария. В данном расчетном сценарии рассматривался процесс эвакуации людей из жилых помещений первого и второго этажей здания. Расчет этого 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. 1.4.

Таблица 1.4

Параметры эвакуационных выходов

№ п/п	Тип выхода	Оси расположения	Ширина выхода не менее, м
Уровень 1			
В1	Наружу из здания	Б/1-2	1,2
В2	Наружу из здания	Б/14-15	1,2
Уровень 2			
В1	В лестничную клетку	В/1-2	1,2
В2	В лестничную клетку	В/14-15	1,2

Ширина лестничных маршей эвакуационных лестничных клеток, а также ширина лестничных площадок – 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 втором этаже – 82 чел, на первом этаже – 78 чел.

Дополнительные условия – отсутствуют.

Описание процесса эвакуации. Эвакуацию 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 задается наиболее предпочтительное (наиболее вероятное) направление движения людей к эвакуационным выходам. Предполагается, 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. 1.5, а характеристики процесса эвакуации представлены на рис. 1.16 и 1.17.

Таблица 1.5

Время эвакуации людей

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

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

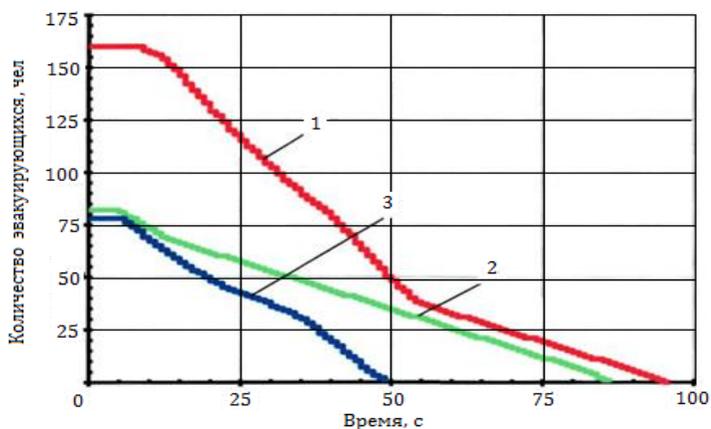


Рис. 1.16. Динамика эвакуации людей из жилого здания:
 1 — всех людей наружу из здания; 2 — из помещения второго этажа в выход В2; 3 — из помещений первого этажа наружу в выход В2

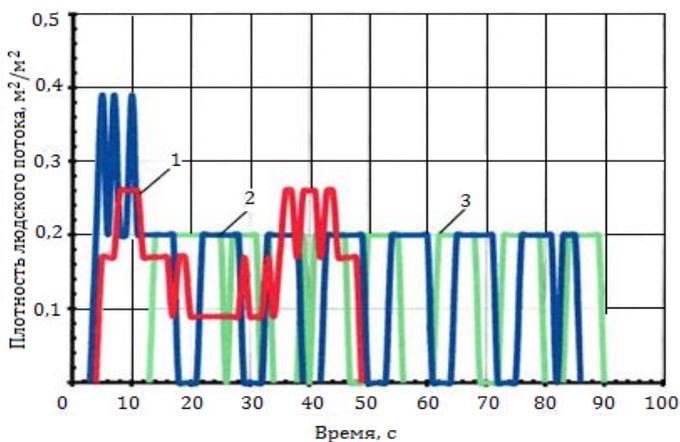


Рис. 1.17. Плотность людского потока на путях эвакуации:
 1 — перед выходом в осях Б/14-15 на отм. 0,000;
 2 — перед выходом в лестничную клетку в осях В/14-15 на отм. 2,500;
 3 — перед выходом в осях Г/14-15 на отм. 0,000

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

Вероятность эвакуации людей из здания при пожаре $P_э$ рассчитывают по формуле

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

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).

В табл. 1.6 приведены значения параметров, необходимых для расчета $P_э$ для различных частей здания. Во втором столбце таблицы приведено время блокирования соответствующего выхода или помещения в случае пожара $t_{\text{бл}}$ (согласно Методике, критическое время по каждому из опасных факторов пожара определяется как время достижения этим фактором предельно допустимого значения на путях эвакуации), в третьем столбце – необходимое время эвакуации людей $0,8t_{\text{бл}}$, в четвертом столбце – расчетное время эвакуации людей из соответствующей зоны t_p . В пятом столбце приведено время начала эвакуации $t_{\text{нз}}$, определенное в соответствии с [приложением № 5](#) к Методике. В шестом столбце указано максимальное время существования скоплений людей на различных эвакуационных участках $t_{\text{ск}}$, определенное на основе раздела 5 и рис. 1.16 и 1.17. В седьмом столбце приведено рассчитанное значение вероятности эвакуации людей из здания $P_э$.

Таблица 1.6

Определение вероятности эвакуации людей из здания

Сценарий пожара	$t_{\text{бл}},$ с	$0,8t_{\text{бл}},$ с	$t_{\text{р}},$ с	$t_{\text{нэ}},$ с	$t_{\text{ск}},$ с	$P_{\text{э}}$
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

5. Анализ наличия систем обеспечения пожарной безопасности здания

Коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов по пожарной безопасности срабатывания установок автоматического пожаротушения, согласно [разделу II](#) Методики составляет $K_{\text{анп}} = 0,9$.

Коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, определяется по формуле

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

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.

При этом согласно [разделу IV](#) Методики $K_{\text{обн}} = 0,8$; $K_{\text{СОУЭ}} = 0,8$; $K_{\text{ПДЗ}} = 0,8$. Следовательно, для двух сценариев развития пожара $K_{\text{п.з1}} = 0,8704$, $K_{\text{п.з2}} = 0,8704$.

6. Определение расчетных величин индивидуального пожарного риска

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

$$Q_{B,i} = Q_{п,i} \cdot (1 - K_{ап,i}) \cdot P_{пр,i} \cdot (1 - P_{э,i}) \cdot (1 - K_{п.э,i})$$

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

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

Значение вероятности эвакуации людей $P_{э1} = 0,999$, $P_{э2} = 0,999$ (табл. 1.6). Подставляя полученные значения в формулу, получаем $Q_{в1} = 0,673 \cdot 10^{-6}$, $Q_{в2} = 0,673 \cdot 10^{-6}$.

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

$$Q_{в} = \max\{Q_{в1}, \dots, Q_{вr}, \dots, Q_{вn}\},$$

$$Q_{в} = Q_{в1} = Q_{в2} = 0,673 \cdot 10^{-6} < Q_{н} = 10^{-6}.$$

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

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».

Структура и цель практикума

Цель практикума – изучить нормативно-правовую базу и основные методы оценки расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности.

Практикум рассчитан на 14 аудиторных часов и состоит из взаимосвязанных практических работ.

1. Анализ пожарной опасности зданий (1 час).
2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций (1 час).
3. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития (4 часа).
4. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития (4 часа).

5. Анализ наличия систем обеспечения пожарной безопасности здания (2 часа).
6. Определение расчетных величин индивидуального пожарного риска (2 часа).

В результате выполнения практикума студент должен *знать*:

- нормативно-правовую документацию, регламентирующую порядок и методы оценки пожарного риска;
- основные методы определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности;
- основные методы моделирования движения людей при эвакуации из зданий, сооружений и строений различных классов функциональной пожарной опасности;

уметь:

- производить анализ пожарной опасности объекта защиты;
- определять частоту реализации пожароопасных ситуаций;
- определять расчетное время эвакуации из зданий, сооружений и строений различных классов функциональной пожарной опасности;

владеть:

- методами построения полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;
- методами и навыками оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития.

Все работы оформляются в единый отчет по практикуму в соответствии с требованиями [приложения А](#) пособия.

Структура отчета по практикуму

Титульный лист

1. Анализ пожарной опасности здания.
2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций.
3. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития.
4. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития.

5. Анализ наличия систем обеспечения пожарной безопасности здания.
6. Определение расчетных величин индивидуального пожарного риска.
7. Список используемой литературы

Конечным результатом всех выполненных работ практикума должна стать найденная величина индивидуального пожарного риска в здании, которая сопоставляется с нормативным значением пожарного риска, установленным Техническим регламентом, и делается вывод о соответствии (несоответствии) пожарной безопасности здания требованиям регламента.

Исходные данные для определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности выбираются по вариантам ([приложение Б](#)).

Пример определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности представлен выше в настоящем учебно-методическом пособии, а также в других источниках [5].

Практическая работа 1

Анализ пожарной опасности зданий

В соответствии с Методикой ([раздел III](#)) для проведения анализа пожарной опасности осуществляется сбор необходимых данных о здании.

Определяются класс функциональной пожарной опасности здания ([раздел I](#)), степень огнестойкости и класс конструктивной пожарной опасности (таблицы 1.7–1.9) в соответствии с требованиями СП 2.13130.2012 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты».

Степень огнестойкости, класс конструктивной пожарной опасности, допустимую высоту зданий и площадь этажа в пределах пожарного отсека общественных зданий следует принимать по табл. 1.7, зданий предприятий бытового обслуживания (Ф3.5) – по табл. 1.8, предприятий торговли (Ф3.1) – по табл. 1.9.

Таблица 1.7

Требования к общественным зданиям

Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности	Допустимая высота здания, м	Площадь этажа в пределах пожарного отсека, м ² , при числе этажей					
			1	2	3	4, 5	6–9	10–16
I	C0	50	6000	5000	5000	5000	5000	2500
II	C0	50	6000	4000	4000	4000	4000	2200
II	C1	28	5000	3000	3000	2000	1200	—
III	C0	15	3000	2000	2000	1200	—	—
III	C1	12	2000	1400	1200	800	—	—
IV	C0	9	2000	1400	—	—	—	—
IV	C1	6	2000	1400	—	—	—	—
IV	C2, C3	6	1200	800	—	—	—	—
V	C1–C3	6	1200	800	—	—	—	—

Примечания.

1. Прочерк в таблице означает, что здание данной степени огнестойкости не может иметь указанное число этажей.
2. В зданиях IV степени огнестойкости высотой два этажа несущие элементы здания должны иметь предел огнестойкости не ниже R 45.

Таблица 1.8

Требования к зданиям бытового обслуживания

Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности	Допустимая высота здания	Площадь этажа в пределах пожарного отсека зданий, м ²	
			одноэтажных	многоэтажных (не более 6 этажей)
I	C0	18	3000	2500
II	C0	18	3000	2500
II	C1	6	2500	1000
III	C0	6	2500	1000
III	C1	5	1000	—
IV	C0, C1	5	1000	—
IV	C2, C3	5	500	—
V	C1–C3	5	500	—

Таблица 1.9

Требования к зданиям объектов торговли

Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности	Допустимая высота здания, м	Площадь этажа в пределах пожарного отсека зданий, м ²		
			одно-этажных	двух-этажных	3–5-этажных
I, II	C0	28	3500	3000	2500
III	C0–C1	8	2000	1000	–
IV	C0	3	1000	–	–
IV, V	C1–C3	3	500	–	–

Примечания.

1. В одноэтажных зданиях объектов торговли, за исключением объектов торговли лакокрасочными, строительными (отделочными) материалами, автозапчастями, принадлежностями для автомобилей, ковровыми изделиями, мебелью, III степени огнестойкости площадь этажа между противопожарными стенами I-го типа может быть увеличена вдвое, при условии отделения торгового зала от других помещений магазина противопожарной стеной 2-го типа.
2. При размещении кладовых, служебных, бытовых и технических помещений на верхних этажах зданий магазинов I и II степеней огнестойкости высота зданий может быть увеличена на один этаж.

Степень огнестойкости, класс конструктивной пожарной опасности и наибольшую высоту зданий школ (общеобразовательных и дополнительного образования детей) следует принимать в зависимости от числа учащихся или мест в здании по табл. 1.10.

Таблица 1.10

Требования к зданиям школ

Число учащихся или мест в здании	Класс конструктивной пожарной опасности	Степень огнестойкости, не ниже	Допустимая высота здания, м (этажность)
До 270	Не норм.	Не норм.	3 <*> (1)
	C1	III	3 <*> (1)
До 350	C0	III	7 (2)
	C1	II	7 (2)
До 600	C0	II	11 (3)
До 1600	C1	I	11 (3)
Не норм.	C0	I	15 (4)

Степень огнестойкости, класс конструктивной пожарной опасности и наибольшую высоту зданий зрелищных и культурно-просветительных учреждений класса функциональной пожарной опасности Ф2.1 и Ф2.2 следует принимать в зависимости от их вместимости по табл. 1.11.

Таблица 1.11

Требования к зданиям зрелищных и культурно-просветительных учреждений

Класс функциональной пожарной опасности здания (сооружения)	Степень огнестойкости	Класс конструктивной пожарной опасности	Допустимая высота здания, м (этажность)	Наибольшая вместимость зала или сооружения, мест
Ф2.1	I	C0	50	Не норм.
	II	C0	9 (3)	До 800
	II	C1	6 (2)	До 600
	III	C0	3 (1)	До 400
	IV, V	C0–C3	3 (1)	До 300
Ф2.2	I	C0	50	Не норм.
	II	C0	50	До 800
	II	C1	28	До 600
	III	C0	9 (3)	До 400
	III	C1	6 (2)	До 300
	IV, V	C0–C3	3 (1)	До 300

Степень огнестойкости, класс конструктивной пожарной опасности, допустимую высоту зданий и площадь этажа в пределах пожарного отсека для административно-бытовых зданий предприятий и складов (отдельно стоящих зданий, пристроек и вставок класса Ф4.3) следует принимать по табл. 1.7.

Далее определяются 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. 1.12. При отсутствии данных значения свойств допускается принимать по табл. 1.12.

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

Таблица 1.12

Значения показателей пожарной опасности типовой
горючей нагрузки в помещениях

Материал	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Дымобразующая способность, Нп · 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
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
Магазины	15,8	270	0,015	0,0055	1,25	0,85	0,043	0,023
Зал вокзала	13,8	270	0,0145	0,0055	1,03	0,203	0,0022	0,014
Стоянки легковых автомобилей	31,7	487	0,023	0,0068	2,64	1,3	0,097	0,011
Стоянки легковых автомобилей с двухуровневым хранением	31,7	487	0,023	0,0136	2,64	1,3	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	—

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.

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.

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

На основании проведенного анализа делается вывод о необходимости или отсутствии необходимости проведения расчета риска.

Алгоритм выполнения работы

1. Выбрать вариант выполнения работы ([приложение Б](#)).
2. Изучить содержание [разделов I и III](#) и [приложения 6](#) Методики, представленной в основных теоретических сведениях модуля 1.
3. Изучить [раздел I примера расчета](#) пожарного риска.
4. Выполнить необходимые действия для анализа пожарной опасности зданий в соответствии с указаниями Методики и рекомендациями, изложенными в данной практической работе.
5. Проверить соответствие объекта нормативным требованиям по пожарной безопасности.
6. На основании проведенного анализа сделать вывод о необходимости или отсутствии необходимости проведения расчета риска.
7. Заполнить соответствующий раздел обобщенного отчета по практике согласно изученному примеру и требованиям настоящего пособия ([приложение А](#)).
8. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. На какие классы функциональной пожарной опасности зданий распространяется «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности»?

2. Сбор каких данных необходим для проведения анализа пожарной опасности объекта?
3. Какие сведения нужны при проведении анализа пожарной опасности здания?
4. Как принимается для анализа максимальная площадь пожара?
5. Как определяются свойства горючей нагрузки в очаге пожара?

Практическая работа 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 [разделе II](#) и [приложении № 1](#) к Методике.

Алгоритм выполнения работы

1. Изучить содержание [раздела II](#) и [приложения № 1](#) Методики, представленной в основных теоретических сведениях модуля 1.
2. Изучить [раздел 2 примера расчета](#) пожарного риска.
3. Выполнить необходимые действия для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций для анализируемого объекта из практической работы 1 в соответствии с указаниями Методики.
4. Заполнить соответствующий раздел обобщенного отчета по практике согласно изученному примеру и требованиям настоящего пособия ([приложение А](#)).
5. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Как определяется возможный сценарий пожара?
2. На основе каких данных определяется частота возникновения пожара в здании в течение года?
3. Каков численный порядок частоты возникновения пожаров в зданиях?

Практическая работа 3

Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития

Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития осуществляется в соответствии с рекомендациями [раздела III](#) и [приложением № 6](#) к Методике.

Согласно [приложению № 6](#) 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 – $70\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 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 – $23 \cdot 10^{-6}\text{ кг/м}^3$.

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.

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.

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.

Для каждого сценария в соответствии с [раздела II приложения № 6](#) 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.

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

Алгоритм выполнения работы

1. Изучить содержание [раздела III](#) и [приложения № 6](#) Методики, представленной в основных теоретических сведениях модуля 1.
2. Изучить [раздел 3 примера расчета](#) пожарного риска.
3. Выбрать и описать минимум два сценария развития пожара для анализа объекта по данным, полученным из практических работ 1 и 2.
4. Описать метод моделирования пожара для выбранных сценариев его развития.
5. Описать необходимые исходные данные для выбранного метода моделирования пожара.
6. По полученным исходным данным из *варианта задания* для различных сценариев развития пожара в соответствии с указаниями Методики и рекомендациями, изложенными в данной практической работе, выбрать (расчет производить не требуется) время блокирования путей эвакуации вблизи эвакуационных выходов (при необходимости и в других контрольных точках).
7. Заполнить соответствующий раздел обобщенного отчета по практике согласно изученному примеру и требованиям пособия ([приложение А](#)).
8. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие основные действия включает построение полей опасных факторов пожара?
2. Что такое сценарий пожара?
3. Классификация методов математического моделирования пожара.
4. Из каких предпосылок выбираются методы моделирования пожара?
5. Как при отсутствии систем противопожарной защиты допускается определять критические времена по каждому из опасных факторов пожара?

Практическая работа 4

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

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития производится в соответствии с [разделом III](#) и [приложениями № 2–5](#) Методики.

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

В соответствии с [приложениями № 2–5](#) Методики определяется расчетное время эвакуации людей t_p . При этом фиксируется время 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.

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

Алгоритм выполнения работы

1. Изучить содержание [раздела III](#) и [приложений № 2–5](#) Методики, представленной в основных теоретических сведениях модуля 1.
2. Изучить [раздел 4 примера расчета](#) пожарного риска.
3. Выбрать для анализа метод моделирования движения людей до выхода наружу из здания по данным, полученным из практических работ 1–3.
4. Описать выбранную математическую модель эвакуации и определить время начала эвакуации.
5. Составить расчетные схемы эвакуации для выбранных сценариев развития пожара.
6. По образцу изученного примера описать:
 - эвакуационный сценарий;
 - параметры эвакуационных путей и выходов;
 - количество людей и направление движения людей;
 - процесс эвакуации и особенности процесса эвакуации;
 - движение людей по лестничным клеткам.

7. По исходным данным, полученным *из варианта задания*, определить вероятность эвакуации людей для различных сценариев развития пожара в соответствии с указаниями Методики и рекомендациями, изложенными в данной практической работе.
8. Заполнить соответствующий раздел обобщенного отчета по практике согласно изученному примеру и требованиям пособия ([приложение А](#)).
9. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей?
2. Как определяется время эвакуации людей при пожаре?
3. Какие основные модели движения людского потока используются при оценке пожарного риска?
4. Как определяется время начала эвакуации?
5. Как определить вероятность эвакуации?

Практическая работа 5 **Анализ наличия систем обеспечения пожарной безопасности здания**

Наличие систем обеспечения пожарной безопасности здания учитывается в соответствии с положениями [разделов III](#) и [IV](#) Методики.

Здания должны обеспечиваться СОУЭ согласно СП 3.13130.2009 «Свод правил «Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре» (табл. 1.13, 1.14).

Таблица 1.13

Оснащение зданий СОУЭ

Здания (наименование нормативного показателя)	Значение нормативного показателя	Наибольшее число этажей	Тип СОУЭ					Примечания
			1	2	3	4	5	
1. Детские дошкольные образовательные учреждения (число мест)	До 100	1	*					В дошкольных учреждениях при применении 3-го типа СОУЭ и выше оповещаются только работники
	100–150	2		*				
	151–350	3			*			

Здания (наименование нормативного показателя)	Значение нормативного показателя	Наибольшее число этажей	Тип СОУЭ					Примечания
			1	2	3	4	5	
								учреждений при помощи специального текста оповещения. Такой текст не должен содержать слов, способных вызвать панику
2. Спальные корпуса образовательных учреждений интернатного типа и детских учреждений (число мест в здании)	До 100 101–200 Более 200	1 3 4	*	*	*			
3. Больницы, специализированные дома престарелых и инвалидов (число койко-мест)	До 60 60 и более	—		*	*			При применении 3-го типа СОУЭ и выше оповещаются только работники учреждений при помощи специального текста оповещения. Такой текст не должен содержать слов, способных вызвать панику
3.1. Психиатрические больницы	До 60 60 и более				*	*	*	Оповещаются только работники учреждений при помощи специального текста оповещения. Такой текст не должен содержать слов, способных вызвать панику
4. Гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпинги, мотели и пансионаты (вместимость, чел.)	Более 50 До 50	До 3 3–9 Более 9		*	*	*	*	
5. Жилые здания: секционного типа коридорного типа		11–25 До 10 10–25	*	*	*			В СОУЭ со звуковыми оповещателями возможно применять нарастающий во времени звуковой сигнал, а также производить периодическое отключение звукового сигнала для «пауз тишины», которые

Здания (наименование нормативного показателя)	Значение нормативного показателя	Наибольшее число этажей	Тип СОУЭ					Примечания
			1	2	3	4	5	
								не должны превышать 1 минуты
6. Театры, кинотеатры, концертные залы, клубы, цирки, спортивные сооружения с трибунами, библиотеки и другие подобные учреждения с расчетным количеством посадочных мест для посетителей в закрытых помещениях (вместимость зала, чел.)	До 100 100–300 300–1500 Более 1500	—	*	*	*	*	*	
6.1. Театры, кинотеатры, концертные залы, клубы, цирки, спортивные сооружения с трибунами и другие подобные учреждения с расчетным количеством посадочных мест для посетителей на открытом воздухе (вместимость зала, чел.)	До 600 Более 600	—	*	*				
7. Музеи, выставки, танцевальные залы и другие подобные учреждения в закрытых помещениях (число посетителей)	До 500 500–1000 Более 1000	3 Более 3		*	*	*	*	
8. Организации торговли (площадь этажа пожарного отсека, м ²)	До 500 500–3500 Более 3500	1 2 5	*	*	*	*	*	
8.1. Торговые залы без естественного освещения (площадь торгового зала, м ²)	До 150 Более 150			*	*			

Здания (наименование нормативного показателя)	Значение нормативного показателя	Наибольшее число этажей	Тип СОУЭ					Примечания
			1	2	3	4	5	
9. Организации общественного питания (вместимость, чел.)	До 50 50–200 200–1000 Более 1000	2 Более 2	*	*	*	*	*	
9.1. Организации общественного питания, находящиеся в подвальном или цокольном этаже (вместимость, чел.)	До 50 Более 50	—		*	*			
10. Вокзалы		1 Более 1			*	*	*	
11. Поликлиники и амбулатории (посещения в смену, чел.)	До 90 90 и более	—		*	*			
12. Организации бытового и коммунального обслуживания с нерасчетным количеством посадочных мест для посетителей (площадь пожарного отсека, м ²)	До 500 500–1000 Более 1000	—	*	*	*			
13. Физкультурно-оздоровительные комплексы и спортивно-тренировочные учреждения с помещениями без трибун для зрителей, бытовые помещения, бани (число посетителей)	До 50 50–150 150–500 Более 500	—	*	*	*	*	*	
14. Общеобразовательные учреждения, образовательные учреждения дополнительного образования детей, образовательные учреждения начального профессионального и среднего профессионального	До 270 270–350 351–1600 Более 1600	1 2 3 Более 3	*	*	*	*	*	

Здания (наименование нормативного показателя)	Значение нормативного показателя	Наибольшее число этажей	Тип СОУЭ					Примечания	
			1	2	3	4	5		
образования (число мест)									
15. Образовательные учреждения высшего профессионального образования и дополнительного профессионального образования специалистов	—	До 4 4–9 Более 9		*		*		*	*
16. Учреждения органов управления, проектно-конструкторские организации, информационные и редакционно-издательские организации, научные организации, банки, конторы, офисы	—	До 6 Более 6		*		*			
17. Производственные и складские здания, стоянки для автомобилей, архивы, книгохранилища (категория здания по взрывопожарной и пожарной опасности)	А, Б, В, Г, Д А, Б В Г, Д	1 2–6 2–8 2–10	*		*				1-й тип СОУЭ допускается совмещать с селекторной связью. СОУЭ зданий с категориями А и Б должны быть заблокированы с технологической или пожарной автоматикой

Примечания.

1. Требуемый тип СОУЭ определяется по значению нормативного показателя. Если число этажей более, чем допускает данный тип СОУЭ для зданий данного функционального назначения, или в табл. 1.13 нет значения нормативного показателя, то требуемый тип СОУЭ определяется по числу этажей здания.
2. Под нормативным показателем площади пожарного отсека в настоящих нормах понимается площадь этажа между противопожарными стенами.
3. На объектах защиты, где в соответствии с табл. 1.13 требуется оборудование здания СОУЭ 4 или 5 типа, окончательное решение по выбору СОУЭ принимается проектной организацией.
4. В помещениях и зданиях, где находятся (работают, проживают, проводят досуг) люди с пониженным слухом или зрением, СОУЭ должна учитывать эти особенности.

5. Для зданий категорий А и Б по взрывопожарной и пожарной опасности, в которых предусмотрено устройство СОУЭ 3-го типа, в дополнение к речевым пожарным оповещателям, установленным внутри зданий, должна быть предусмотрена установка речевых пожарных оповещателей снаружи этих зданий. Способ прокладки соединительных линий СОУЭ и расстановка пожарных оповещателей снаружи зданий определяется проектной организацией.
6. В учреждениях, где требуется оповещение только обслуживающего персонала, расстановку речевых оповещателей следует производить в соответствии с требованиями настоящего свода правил.
7. Одноэтажные складские и производственные здания, состоящие из одного помещения (категории по взрывопожарной и пожарной опасности В4, Г, Д) площадью не более 50 м² без постоянных рабочих мест или постоянного присутствия людей, допускается не оснащать СОУЭ.

Таблица 1.14

Характеристика СОУЭ

Характеристика СОУЭ	Наличие указанных характеристик у различных типов СОУЭ				
	1	2	3	4	5
1. Способы оповещения: — звуковой (сирена, тонированный сигнал и др.); — речевой (передача специальных текстов); — световой: а) световые мигающие оповещатели; б) световые оповещатели «Выход»; в) эвакуационные знаки пожарной безопасности, указывающие направление движения; г) световые оповещатели, указывающие направление движения людей, с изменяющимся смысловым значением	+	+	*	*	*
2. Разделение здания на зоны пожарного оповещения	—	—	*	+	+
3. Обратная связь зон пожарного оповещения с помещением пожарного поста-диспетчерской	—	—	*	+	+
4. Возможность реализации нескольких вариантов эвакуации из каждой зоны пожарного оповещения	—	—	—	*	+
5. Координированное управление из одного пожарного поста-диспетчерской всеми системами здания, связанными с обеспечением безопасности людей при пожаре	—	—	—	—	+

Примечания.

1. «+» — требуется; «*» — допускается; «—» — не требуется.
2. Допускается использование звукового способа оповещения для СОУЭ 3—5 типов в отдельных зонах пожарного оповещения (технических эта-

жах, чердаках, подвалах, закрытых рампах автостоянок и других помещениях, не предназначенных для постоянного пребывания людей).

3. В зданиях с постоянным пребыванием людей с ограниченными возможностями по слуху и зрению должны применяться световые мигающие оповещатели или специализированные оповещатели (в том числе системы специализированного оповещения, обеспечивающие выдачу звуковых сигналов определенной частоты и световых импульсных сигналов повышенной яркости, а также другие технические средства индивидуального оповещения людей). Выбор типа оповещателей определяется проектной организацией в зависимости от физического состояния находящихся в здании людей. При этом указанные оповещатели должны исключать возможность негативного воздействия на здоровье людей и приборы жизнеобеспечения людей.
4. Выбор типа эвакуационных знаков пожарной безопасности, указывающих направление движения людей при пожаре (фотолюминесцентные знаки пожарной безопасности, световые пожарные оповещатели, другие эвакуационные знаки пожарной безопасности), осуществляется организацией-проектировщиком.

Здания оборудуются АУПТ (АУПС) в соответствии с требованиями СП 5.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования» (табл. 1.15).

Таблица 1.15

Оснащение объектов АУПТ (АУПС)

Объект защиты	АУПТ	АУПС
	Нормативный показатель	
Помещения складского назначения		
1. Категории А и Б по взрывопожарной опасности (кроме помещений, расположенных в зданиях и сооружениях по переработке и хранению зерна)	300 кв. м и более	Менее 300 кв. м
2. Для хранения каучука, целлулоида и изделий из него, спичек, щелочных металлов, пиротехнических изделий	Независимо от площади	
3. Для хранения шерсти, меха и изделий из него; фото-, кино-, аудио пленки на горючей основе	Независимо от площади	
4. Категории В1 по пожарной опасности (кроме помещений, расположенных в зданиях и сооружениях по переработке и хранению зерна) при их размещении в этажах:		
4.1. В цокольном и подвальном	Независимо от площади	

Объект защиты	АУПТ	АУПС
	Нормативный показатель	
4.2. В надземных	300 кв. м и более	Менее 300 кв. м
5. Категории В2–В3 по пожарной опасности (кроме указанных в п. 2, 3 и помещений, расположенных в зданиях и сооружениях по переработке и хранению зерна) при их размещении в этажах:		
5.1. В цокольном и подвальном	300 кв. м и более	Менее 300 кв. м
5.2. В надземных	1000 кв. м и более	Менее 1000 кв. м
Производственные помещения		
6. Категории А и Б по взрывопожарной опасности с обращением легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, сжиженных горючих газов, горючих пылей и волокон (кроме указанных в п. 11 и помещений, расположенных в зданиях и сооружениях по переработке и хранению зерна)	300 кв. м и более	Менее 300 кв. м
7. С наличием щелочных металлов при размещении в этажах:		
7.1. В цокольном	300 кв. м и более	Менее 300 кв. м
7.2. В надземных	500 кв. м и более	Менее 500 кв. м
8. Категории В1 по пожарной опасности (кроме помещений, расположенных в зданиях и сооружениях по переработке и хранению зерна) при размещении в этажах:		
8.1. В цокольном и подвальном	Независимо от площади	
8.2. В надземных	300 кв. м и более	Менее 300 кв. м
9. Категории В2–В3 по пожарной опасности (кроме указанных в п. 10–18 и помещений, расположенных в зданиях и сооружениях по переработке и хранению зерна) при их размещении в этажах:		
9.1. В цокольном и подвальном:		
9.1.1. Не имеющие выходов непосредственно наружу	300 кв. м и более	Менее 300 кв. м
9.1.2. При наличии выходов непосредственно наружу	700 кв. м и более	Менее 700 кв. м

Объект защиты	АУПТ	АУПС
	Нормативный показатель	
9.2. В надземных	1000 кв. м и более	Менее 1000 кв. м
10. Маслоподвалы	Независимо от площади	
11. Помещения приготовления: суспензии из алюминиевой пудры, резиновых клеев; на основе ЛВЖ и ГЖ: лаков, красок, клеев, мастик, пропиточных составов; помещения окрасочных, полимеризации синтетического каучука, компрессорных с газотурбинными двигателями, огневых подогревателей нефти. Помещения с генераторами с приводом от двигателей, работающих на жидком топливе	Независимо от площади	
12. Помещения высоковольтных испытательных залов, помещения, экранированные горючими материалами	Независимо от площади	
Помещения связи		
13. Вентиляционные, трансформаторные помещения, помещения разделительных устройств: передающих радиостанций мощностью передатчиков 150 кВт и выше, приемных радиостанций с числом приемников от 20, стационарных станций космической связи с мощностью передающего устройства более 1 кВт, ретрансляционных телевизионных станций мощностью передатчиков 25–50 кВт, сетевых узлов, междугородных и городских телефонных станций, телеграфных станций, оконечных усилительных пунктов и районных узлов связи		Независимо от площади
14. Необслуживаемые и обслуживаемые без вечерних и ночных смен: технические цехи оконечных усилительных пунктов, промежуточных радиорелейных станций, передающих и приемных радиоцентров	Независимо от площади	
15. Необслуживаемые аппаратные базовых станций сотовой системы подвижной радиосвязи и аппаратные радиорелейных станций сотовой системы подвижной радиосвязи	24 кв. м и более	Менее 24 кв. м
16. Помещения главных касс, бюро контроля переводов и зональных вычислительных центров почтамтов, городских и районных узлов почтовой связи общим объемом зданий:		
16.1. 40 тыс. куб. м и более	24 кв. м и более	Менее 24 кв. м

Объект защиты	АУПТ	АУПС
	Нормативный показатель	
16.2. Менее 40 тыс. куб. м		
17. Автозалы АТС, где устанавливается коммутационное оборудование квазиэлектронного и электронного типов совместно с ЭВМ, используемой в качестве управляющего комплекса, устройствами ввода-вывода, помещения электронных коммутационных станций, узлов, центров документальной электросвязи емкостью:		
17.1. 10 тыс. и более номеров, каналов или точек подключения	Независимо от площади	
17.2. Менее 10 тыс. номеров, каналов или точек подключения		Независимо от площади
18. Выделенные помещения управляющих устройств на основе ЭВМ автоматических междугородных телефонных станций при емкости станций:		
18.1. 10 тыс. междугородных каналов и более	24 кв. м и более	Менее 24 кв. м
18.2. Менее 10 тыс. междугородных каналов		Независимо от площади
19. Помещения обработки, сортировки, хранения и доставки посылок, письменной корреспонденции, периодической печати, страховой почты	Более 500 кв. м	Менее 500 кв. м
Помещения транспорта		
20. Помещения железнодорожного транспорта: электромашинные, аппаратные, ремонтные, тележечные и колесные, разборки и сборки вагонов, ремонтно-комплектовочные, электровагонные, подготовки вагонов, дизельные, технического обслуживания подвижного состава, контейнерных депо, производства стрелочной продукции, горячей обработки цистерн, тепловой камеры обработки вагонов для нефтебитума, шпалопропиточные, цилиндрические отстоя пропитанной древесины	Независимо от площади	
21. Наземные и подземные помещения и сооружения метрополитенов и подземных скоростных трамваев	По нормативным документам субъектов Российской Федерации, утвержденным в установленном порядке	

Объект защиты	АУПТ	АУПС
	Нормативный показатель	
22. Помещения контрольно-диспетчерского пункта с автоматической системой, центра коммутации сообщений, дальних и ближних приводных радиостанций с радиомаркерами	Независимо от площади	
23. Помещения демонтажа и монтажа авиа-двигателей, воздушных винтов, шасси и колес самолетов и вертолетов	Независимо от площади	
24. Помещения самолетного и двигателере-монтного производств	Независимо от площади	
25. Помещения для хранения транспортных средств, размещаемые в зданиях иного назначения (за исключением индивидуальных жилых домов), при их расположении:		
25.1. В подвальных и подземных этажах (в том числе под мостами)	Независимо от площади	
25.2. В цокольных и надземных этажах <1>	При хранении 3 и более автомобилей	При хранении менее 3 автомобилей
Общественные помещения		
26. Помещения хранения и выдачи уникальных изданий, отчетов, рукописей и другой документации особой ценности (в том числе архивов операционных отделов)	Независимо от площади	
27. Помещения хранилищ и помещения хранения служебных каталогов и описей в библиотеках и архивах с общим фондом хранения:		
27.1. 500 тыс. единиц и более	Независимо от площади	
27.2. Менее 500 тыс. единиц		Независимо от площади
28. Выставочные залы <2>	1000 кв. м и более	Менее 1000 кв. м
29. Помещения хранения музейных ценностей <2>	Независимо от площади	
30. В зданиях культурно-зрелищного назначения:		
30.1. В кинотеатрах и клубах с эстрадами при вместимости зала более 700 мест при наличии колосников <3>	Независимо от площади	

Объект защиты	АУПТ	АУПС
	Нормативный показатель	
30.2. В клубах со сценами размерами, м: 12,5×7,5; 15×7,5; 18×9 и 21×12 при вместимости зала до 700 мест <3>	Независимо от площади	
30.3. В клубах со сценами размерами 18×9; 21×12 при вместимости зрительного зала более 700 мест, со сценами 18×12 и 21×15 независимо от вместимости, а также в театрах <3, 4>	Независимо от площади	
30.4. В концертных и киноконцертных залах филармоний вместимостью 800 мест и более	Независимо от площади	
30.5. Склады декораций, бутафории и реквизита, столярные мастерские, фуражные инвентарные и хозяйственные кладовые, помещения хранения и изготовления рекламы, помещения производственного назначения и обслуживания сцены, помещения для животных, чердачное подкупольное пространство над зрительным залом	Независимо от площади	
31. Помещения хранилищ ценностей:		
31.1. В банках	По [22]	
31.2. В ломбардах	Независимо от площади	
32. Съёмочные павильоны киностудий	1000 кв. м и более	Менее 1000 кв. м
33. Помещения (камеры) хранения багажа ручной клади (кроме оборудованных автоматическими ячейками) и склады горючих материалов в зданиях вокзалов (в том числе аэровокзалов) в этажах:		
33.1. В цокольном и подвальном	Независимо от площади	
33.2. В надземных	Более 300 кв. м	Менее 300 кв. м
34. Помещения для хранения горючих материалов или негорючих материалов в горючей упаковке при расположении их:		
34.1. Под трибунами любой вместимости в крытых спортивных сооружениях	100 кв. м и более	Менее 100 кв. м
34.2. В зданиях крытых спортивных сооружений вместимостью 800 и более зрителей	100 кв. м и более	Менее 100 кв. м
34.3. Под трибунами вместимостью 3000 и более зрителей при открытых спортивных сооружениях	100 кв. м и более	Менее 100 кв. м

Объект защиты	АУПТ	АУПС
	Нормативный показатель	
35. Помещения для размещения: (в ред. Изменения № 1, утв. Приказом МЧС РФ от 01.06.2011 № 274)		
35.1. Электронно-вычислительных машин (ЭВМ), оборудования АСУ ТП, работающих в системах управления сложными технологическими процессами, нарушение которых влияет на безопасность людей <5>	Независимо от площади	
35.2. Связных процессоров (серверные), архивов магнитных носителей, графопостроителей, печати информации на бумажных носителях (принтерные) <5>	24 м ² и более	Менее 24 м ²
35.3. Для размещения персональных ЭВМ на рабочих столах пользователей		Независимо от площади
36. Помещения предприятий торговли, встроенные и встроенно-пристроенные в здания другого назначения:		
36.1. Подвальные и цокольные этажи	200 кв. м и более	Менее 200 кв. м
36.2. Надземные этажи	Более 500 кв. м	Менее 500 кв. м
37. Помещения производственного и складского назначения, расположенные в научно-исследовательских учреждениях и других общественных зданиях	Оборудуются в соответствии с табл. А.3 СП 5.13130.2009	
38. Помещения иного административного и общественного назначения, в том числе встроенные и пристроенные		Независимо от площади

<1> При размещении автомобилей в выставочных и торговых залах помещения данных выставочных и торговых залов оборудуются АУПТ в соответствии с 28 и 36 данной таблицы.

<2> Данное требование не распространяется на помещения, временно используемые для выставок (фойе, вестибюли и т. д.), а также на помещения, где хранение ценностей производится в металлических сейфах.

<3> Дренчеры устанавливаются под колосниками сцены и арьерсцены, под нижним ярусом рабочих галерей и соединяющими их нижними переходными мостиками, в сейфах скатанных декораций и во всех проемах сцены, включая проемы портала, карманов и арьерсцены, а также части трюма, занятой конструкциями встроенного оборудования сцены и подъемно-опускных устройств.

<4> Спринклерными установками оборудуются: покрытия сцены и арьерсцены, все рабочие галереи и переходные мостики, кроме нижних, трюм

(кроме встроенного оборудования сцены), карманы сцены, аръерсцена, а также складские помещения, кладовые, мастерские, помещения станковых и объемных декораций, камера пылеудаления.

<5> В случаях, предусмотренных пунктом 8.15.1 СП 5.13130.2009, для помещений, требующих оснащения автоматическими установками газового пожаротушения, допускается не применять такие установки при условии, что все электронное и электротехническое оборудование защищено автономными установками пожаротушения, а в помещениях установлена автоматическая пожарная сигнализация.

Алгоритм выполнения работы

1. Изучить содержание [разделов III](#) и [IV](#) Методики, представленной в основных теоретических сведениях модуля 1.
2. Изучить [раздел 5 примера расчета](#) пожарного риска.
3. В соответствии с теоретическими сведениями, представленными в указаниях к работе, определить требования к обеспечению анализируемого объекта СОУЭ, АУПТ, АУПС и учесть полученные сведения при анализе наличия систем обеспечения пожарной безопасности здания.
4. Выполнить анализ наличия систем обеспечения пожарной безопасности здания в соответствии с указаниями Методики.
5. Определить коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты на объекте требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.
6. Заполнить соответствующий раздел обобщенного отчета по практике согласно изученному примеру и требованиям пособия ([приложение А](#)).
7. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие величины определяют коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты на объекте требованиям нормативных документов по пожарной безопасности?
2. Что относится к числу противопожарных мероприятий, направленных на снижение величины пожарного риска?
3. Как определяется эффективность каждого из противопожарных мероприятий при оценке пожарного риска?

Практическая работа 6

Определение расчетных величин индивидуального пожарного риска

В соответствии с [разделом II](#) Методики проводится определение расчетной величины индивидуального пожарного риска Q_v и сопоставление ее с нормативным значением пожарного риска $Q_{вн}$, установленным Техническим регламентом.

Алгоритм выполнения работы

1. Изучить содержание [раздела II](#) Методики, представленной в основных теоретических сведениях модуля 1.
2. Изучить [раздел 6 примера расчета](#) пожарного риска.
3. По данным, полученным из практических работ 1–5, выполнить необходимые действия для определения расчетных величин индивидуального пожарного риска в соответствии с указаниями Методики.
4. Сравнить полученное значение индивидуального пожарного риска с нормативным значением, установленным Техническим регламентом.
5. Сделать вывод о соответствии (несоответствии) пожарной безопасности здания требованиям Технического регламента.
6. Заполнить соответствующий раздел обобщенного отчета по практике согласно изученному примеру и требованиям пособия ([приложение А](#)).
7. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие параметры определяют расчетную величину индивидуального пожарного риска?
2. Как определить вероятность присутствия людей в здании?
3. Чему равно нормативное значение пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности?

Модуль 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Теоретические сведения

Оценка пожарного риска на производственных объектах производится в соответствии с Приказом МЧС РФ от 10.07.2009 № 404 (ред. от 14.12.2010) «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» [4].

I. Общие положения

Настоящая методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (далее – Методика) устанавливает порядок расчета величин пожарного риска на производственных объектах (далее – объект).

Положения настоящей Методики не распространяются на определение расчетных величин пожарного риска на производственных объектах специального назначения, в том числе объектах военного назначения, объектах производства, переработки, хранения радиоактивных и взрывчатых веществ и материалов, объектах уничтожения и хранения химического оружия и средств взрывания, наземных космических объектах и стартовых комплексах, горных выработках, объектах, расположенных в лесах.

Расчеты по оценке пожарного риска проводятся путем сопоставления расчетных величин пожарного риска с соответствующими нормативными значениями пожарных рисков, установленными ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Определение расчетных величин пожарного риска на объекте осуществляется на основании:

- а) анализа пожарной опасности объекта;
- б) вычисления 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, сооружений и строений.

Расчетные величины пожарного риска являются количественной мерой возможности реализации пожарной опасности объекта и ее последствий для людей.

Количественной мерой возможности реализации пожарной опасности объекта является риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара, в том числе:

- риск гибели работника объекта;
- риск гибели людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта.

Риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара на объекте характеризуется числовыми значениями индивидуального и социального пожарных рисков.

II. Общие требования к определению расчетных величин пожарного риска

Анализ пожарной опасности объекта

Анализ пожарной опасности объекта предусматривает:

- а) анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на объекте;
- б) определение перечня пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса;
- в) определение для каждого технологического процесса перечня причин, возникновение которых позволяет характеризовать ситуацию как пожароопасную;
- г) построение сценариев возникновения и развития пожаров, влекущих за собой гибель людей.

Анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на объекте предусматривает сопоставление показателей пожарной опасности веществ и материалов, обращающихся в технологическом процессе, с параметрами технологического процесса.

Перечень потенциальных источников зажигания пожароопасной технологической среды определяется посредством сопоставления параметров технологического процесса и иных источников зажигания с показателями пожарной опасности веществ и материалов.

Определение перечня пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса осуществляется

на основе анализа пожарной опасности каждого из технологических процессов, предусматривающего выбор ситуаций, при реализации которых возникает опасность для людей, находящихся в зоне поражения опасными факторами пожара, взрыва и сопутствующими проявлениями опасных факторов пожара.

Не подлежат рассмотрению ситуации, в результате которых не возникает опасность для жизни и здоровья людей. Эти ситуации не учитываются при расчете пожарного риска.

Для каждой пожароопасной ситуации на объекте приводится описание причин возникновения и развития пожароопасных ситуаций, мест их возникновения и факторов пожара, представляющих опасность для жизни и здоровья людей в местах их пребывания.

Для определения причин возникновения пожароопасных ситуаций рассматриваются события, реализация которых может привести к образованию горючей среды и появлению источника зажигания.

Наиболее вероятными событиями, которые могут являться причинами пожароопасных ситуаций на объектах, считаются следующие:

- выход параметров технологических процессов за критические значения из-за нарушения технологического регламента (например, перелив жидкости при сливноналивных операциях, разрушение оборудования вследствие превышения давления по технологическим причинам, появление источников зажигания в местах образования горючих газопаровоздушных смесей);
- разгерметизация технологического оборудования, вызванная механическим (влияние повышенного или пониженного давления, динамических нагрузок и т. п.), температурным (влияние повышенных или пониженных температур) и агрессивным химическим (влияние кислородной, сероводородной, электрохимической и биохимической коррозии) воздействиями;
- механическое повреждение оборудования в результате ошибок работника, падения предметов, некачественного проведения ремонтных и регламентных работ и т. п. (например, разгерметизация оборудования или выход из строя элементов его защиты в результате повреждения при ремонте или столкновения с железнодорожным или автомобильным транспортом).

На основе анализа пожарной опасности объекта при необходимости проводится определение комплекса дополнительных меро-

приятый, изменяющих параметры технологического процесса до уровня, обеспечивающего допустимый пожарный риск.

Для выявления пожароопасных ситуаций осуществляется деление технологического оборудования, технологических систем при их наличии на объекте на участки. Деление выполняется исходя из возможности раздельной герметизации этих участков при возникновении аварии. Рассматриваются пожароопасные ситуации как на основном, так и вспомогательном технологическом оборудовании. Учитывается также возможность возникновения пожара в зданиях, сооружениях и строениях (далее – здания) различного назначения, расположенных на территории объекта.

В перечне пожароопасных ситуаций применительно к каждому участку, технологической установке, зданию объекта выделяются группы пожароопасных ситуаций, которым соответствуют одинаковые модели процессов возникновения и развития.

При анализе пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией технологического оборудования, рассматриваются утечки при различных диаметрах истечения (в том числе максимальные – при полном разрушении оборудования или подводящих/отводящих трубопроводов).

Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций

Для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций на объекте используется информация:

- а) об отказах оборудования, используемого на объекте;
- б) параметрах надежности используемого на объекте оборудования;
- в) ошибочных действиях работника объекта;
- г) гидрометеорологической обстановке в районе размещения объекта;
- д) географических особенностях местности в районе размещения объекта.

Для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций могут использоваться статистические данные об аварийности или расчетные данные о надежности технологического оборудования, соответствующие специфике рассматриваемого объекта.

Информация о частотах реализации пожароопасных ситуаций (в том числе возникших в результате ошибок работника), необходимая для оценки риска, может быть получена непосредственно из данных о функционировании исследуемого объекта или из данных

о функционировании других подобных объектов. Рекомендуемые сведения о частотах реализации иницирующих пожароопасные ситуации событий для некоторых типов оборудования объектов, частотах утечек из технологических трубопроводов, а также частотах возникновения пожаров в зданиях приведены в [приложении № 1](#) к настоящей Методике.

Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития

При построении полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития учитываются:

- тепловое излучение при факельном горении, пожарах проливов горючих веществ на поверхность и огненных шарах;
- избыточное давление и импульс волны давления при сгорании газопаровоздушной смеси в открытом пространстве;
- избыточное давление и импульс волны давления при разрыве сосуда (резервуара) в результате воздействия на него очага пожара;
- избыточное давление при сгорании газопаровоздушной смеси в помещении;
- концентрация токсичных компонентов продуктов горения в помещении;
- снижение концентрации кислорода в воздухе помещения;
- задымление атмосферы помещения;
- среднеобъемная температура в помещении;
- расширяющиеся продукты сгорания при реализации пожара-вспышки.

Оценка величин указанных факторов проводится на основе анализа физических явлений, протекающих при пожароопасных ситуациях, пожарах, взрывах. При этом рассматриваются следующие процессы, возникающие при реализации пожароопасных ситуаций и пожаров или являющиеся их последствиями (в зависимости от типа оборудования и обращающихся на объекте горючих веществ):

- истечение жидкости из отверстия;
- истечение газа из отверстия;
- двухфазное истечение из отверстия;
- растекание жидкости при разрушении оборудования;
- выброс газа при разрушении оборудования;

- формирование зон загазованности;
- сгорание газопаровоздушной смеси в открытом пространстве;
- разрушение сосуда с перегретой легковоспламеняющейся жидкостью, горючей жидкостью или сжиженным горючим газом;
- тепловое излучение от пожара пролива или огненного шара;
- реализация пожара-вспышки;
- испарение жидкости из пролива;
- образование газопаровоздушного облака (газы и пары тяжелее воздуха);
- сгорание газопаровоздушной смеси в технологическом оборудовании или помещении;
- пожар в помещении;
- факельное горение струи жидкости и/или газа;
- тепловое излучение горящего оборудования;
- вскипание и выброс горячей жидкости при пожаре в резервуаре.

При необходимости рассматриваются также иные процессы, которые могут иметь место при возникновении пожароопасных ситуаций и пожаров.

Для определения возможных сценариев возникновения и развития пожаров рекомендуется использовать метод логических деревьев событий (далее – логическое дерево).

Сценарий возникновения и развития пожароопасной ситуации (пожара) на логическом дереве отражается в виде последовательности событий от исходного до конечного события (далее – ветвь дерева событий).

Процедура построения логического дерева событий приведена в [приложении № 2](#) к настоящей Методике.

При построении логического дерева событий используются:

- условная вероятность реализации различных ветвей логического дерева событий и перехода пожароопасной ситуации или пожара на ту или иную стадию развития;
- вероятность эффективного срабатывания соответствующих средств предотвращения или локализации пожароопасной ситуации или пожара (принимается исходя из статистических данных, публикуемых в научно-техническом журнале «Пожарная безопасность» или по паспортным данным завода – изготовителя оборудования);

– вероятность поражения расположенного в зоне пожара технологического оборудования и зданий объекта в результате воздействия на них опасных факторов пожара, взрыва.

Оценка опасных факторов пожара проводится с помощью методов, приведенных в [приложении № 3](#) к настоящей Методике.

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

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара, взрыва на людей для различных сценариев их развития осуществляется на основе сопоставления информации о моделировании динамики опасных факторов пожара на территории объекта и прилегающей к нему территории и информации о критических для жизни и здоровья людей значениях опасных факторов пожара, взрыва. Для этого используются критерии поражения людей опасными факторами пожара.

При оценке последствий воздействия опасных факторов пожара, взрыва на людей для различных сценариев развития пожароопасных ситуаций предусматривается определение числа людей, попавших в зону поражения опасными факторами пожара, взрыва.

Для оценки пожарного риска используют, как правило, вероятностные критерии поражения людей опасными факторами пожара. Детерминированные критерии используются при невозможности применения вероятностных критериев.

Детерминированные и вероятностные критерии оценки поражающего действия волны давления и теплового излучения на людей приведены в [приложении № 4](#) к Методике.

Анализ наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий

При анализе влияния систем обеспечения пожарной безопасности зданий на расчетные величины пожарного риска предусматривается рассмотрение комплекса мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объекта.

При этом рассматриваются следующие мероприятия по обеспечению пожарной безопасности:

- мероприятия, направленные на предотвращение пожара;
- мероприятия по противопожарной защите;

– организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности учитываются при определении частот реализации пожароопасных ситуаций, возможных сценариев возникновения и развития пожаров и последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития.

III. Порядок вычисления расчетных величин пожарного риска на объекте

Расчет значений индивидуального и социального пожарных рисков в зданиях и на территории объекта, а также в селитебной зоне вблизи объекта проводится с использованием в качестве промежуточной величины значения соответствующего потенциального пожарного риска.

Потенциальный пожарный риск на территории объекта и в селитебной зоне вблизи объекта

Величина потенциального пожарного риска $P(a)$, год⁻¹ (далее – потенциальный риск) в определенной точке (a) как на территории объекта, так и в селитебной зоне вблизи объекта определяется по формуле

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

где J – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий); $Q_{dj}(a)$ – условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному инициирующему аварии событию; Q_j – частота реализации в течение года j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, год⁻¹.

Условные вероятности поражения человека $Q_{dj}(a)$ находятся по критериям поражения людей опасными факторами пожара, взрыва.

При расчете риска рассматриваются различные метеорологические условия с типичными направлениями ветров и ожидаемой частотой их возникновения.

При проведении расчета риска предусматривается рассмотрение различных пожароопасных ситуаций, определение зон поражения опасными факторами пожара, взрыва и частот реализации указанных пожароопасных ситуаций. Для удобства расчетов территория местности может разделяться на зоны, внутри которых величины $P(a)$ полагаются одинаковыми.

В необходимых случаях оценка условной вероятности поражения человека проводится с учетом совместного воздействия более чем одного опасного фактора. Например, для расчета условной вероятности поражения человека при реализации сценария, связанного со взрывом резервуара с легковоспламеняющейся жидкостью (далее – ЛВЖ) под давлением, находящегося в очаге пожара, необходимо учитывать, кроме теплового излучения огненного шара, воздействие волны давления.

Условная вероятность поражения человека $Q_{dj}(a)$ от совместного независимого воздействия несколькими опасными факторами в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций определяется по формуле

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

где h – число рассматриваемых опасных факторов; Q_k – вероятность реализации k -го опасного фактора; $Q_{djk}(a)$ – условная вероятность поражения k -м опасным фактором.

Потенциальный риск в зданиях объекта

Величина потенциального риска P_i , год⁻¹, в i -м помещении здания или пожарного отсека здания (далее – здания) объекта определяется по формуле

$$P_i = \sum_{j=1}^J Q_j \cdot Q_{dij}, \quad (3)$$

где J – число сценариев возникновения пожара в здании; Q_j – частота реализации в течение года j -го сценария пожара, год⁻¹; Q_{dij} – условная вероятность поражения человека при его нахождении в i -м помещении при реализации j -го сценария пожара.

Условная вероятность поражения человека Q_{dij} определяется по формуле

$$Q_{dij} = (1 - P_{\text{Э}ij}) \cdot (1 - D_{ij}), \quad (4)$$

где $P_{\text{Э}ij}$ – вероятность эвакуации людей, находящихся в i -м помещении здания, при реализации j -го сценария пожара; D_{ij} – вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению безопасности людей в i -м помещении при реализации j -го сценария пожара.

Вероятность эвакуации $P_{\text{Э}ij}$ определяется по формуле

$$P_{\text{Э}ij} = 1 - (1 - P_{\text{Э.П}ij}) \cdot (1 - P_{\text{Д.В}ij}), \quad (5)$$

где $P_{\text{Э.П}ij}$ – вероятность эвакуации людей, находящихся в i -м помещении здания, по эвакуационным путям при реализации j -го сценария пожара; $P_{\text{Д.В}ij}$ – вероятность выхода из здания людей, находящихся в i -м помещении, через аварийные или иные выходы.

При отсутствии данных вероятность $P_{\text{Д.В}ij}$ допускается принимать равной 0,03 при наличии аварийных или иных выходов и 0,001 при их отсутствии.

Вероятность эвакуации по эвакуационным путям $P_{\text{Э.П}ij}$ определяется по формуле

$$P_{\text{Э.П}ij} = \begin{cases} \frac{0,8 \cdot \tau_{\text{бл}ij} - t_{Pij}}{\tau_{\text{Н.Э}}}, & \text{если } t_{Pij} < 0,8 \cdot \tau_{\text{бл}ij} < t_{Pij} + \tau_{\text{Н.Э}ij}; \\ 0,999, & \text{если } t_{Pij} + \tau_{\text{Н.Э}ij} \leq 0,8 \cdot \tau_{\text{бл}ij}; \\ 0,001, & \text{если } t_{Pij} \geq 0,8 \cdot \tau_{\text{бл}ij}, \end{cases} \quad (6)$$

где $\tau_{\text{бл}ij}$ – время от начала реализации j -го сценария пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования эвакуационных путей), мин; t_{Pij} – расчетное время эвакуации людей из i -го помещения при j -м сценарии пожара, мин; $\tau_{\text{Н.Э}ij}$ – интервал времени от начала реализации j -го сценария пожара до начала эвакуации людей из i -го помещения, мин.

Время от начала пожара до начала эвакуации людей $\tau_{\text{Н.Э}}$ для зданий без систем оповещения определяется по результатам исследования поведения людей при пожарах в зданиях конкретного назначения.

При наличии в здании системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей в зданиях (далее – СОУЭ) $\tau_{н.э}$ принимается равным времени срабатывания системы с учетом ее инерционности. При отсутствии необходимых исходных данных для определения времени начала эвакуации в зданиях без СОУЭ $\tau_{н.э}$ допускается принимать равным 0,5 мин – для этажа пожара и 2 мин – для вышележащих этажей.

Если местом возникновения пожара является зальное помещение, где пожар может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в нем людьми, то $\tau_{н.э}$ допускается принимать равным нулю.

В этом случае вероятность $P_{э.п.ij}$ определяется по формуле

$$P_{э.п.ij} = \begin{cases} 0,999, & \text{если } t_{p.ij} < 0,8 \cdot \tau_{б.л.ij}; \\ 0,001, & \text{если } t_{p.ij} \geq 0,8 \cdot \tau_{б.л.ij}. \end{cases} \quad (7)$$

Время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара и расчетное время эвакуации определяются по методам, приведенным в [приложении № 5](#) к настоящей Методике.

Расчетное время эвакуации $t_{p.ij}$ рассчитывается при максимально возможной расчетной численности людей в здании, определяемой на основе решений по организации эксплуатации здания, от наиболее удаленной от эвакуационных выходов точки i -го помещения. Допускается определение расчетного времени эвакуации на основе экспериментальных данных.

Для определения указанных выше величин $\tau_{б.л.ij}$ и $\tau_{p.ij}$ допускается дополнительно использовать методы, содержащиеся в методиках определения расчетных величин пожарного риска, утвержденных в установленном порядке.

При определении величин потенциального риска для работников, которые находятся в здании на территории объекта, допускается рассматривать для здания в качестве расчетного один наиболее неблагоприятный сценарий возникновения пожара, характеризующийся максимальной условной вероятностью поражения человека. В этом случае расчетная частота возникновения пожара принимается равной суммарной частоте реализации всех возможных в здании сценариев возникновения пожара.

Вероятность D_{ij} эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности i -го помещения при реализации j -го сценария пожара определяется по формуле

$$D_{ij} = 1 - \prod_{k=1}^K (1 - D_{ijk}), \quad (8)$$

где K – число технических средств противопожарной защиты; D_{ijk} – вероятность эффективного срабатывания (выполнения задачи) k -го технического средства при j -м сценарии пожара для i -го помещения здания.

При отсутствии данных по эффективности технических средств величины D_{ij} допускается принимать равными нулю.

При расчете значений D_{ij} следует учитывать только технические средства, направленные на обеспечение пожарной безопасности находящихся (эвакуирующихся) в i -м помещении здания людей при реализации j -го сценария пожара. При этом учитываются следующие мероприятия:

- применение объемно-планировочных и конструктивных решений, обеспечивающих ограничение распространения пожара в безопасную зону (при организации эвакуации в безопасную зону);
- наличие систем противодымной защиты рассматриваемого помещения и путей эвакуации;
- использование автоматических установок пожарной сигнализации (далее – АУПС) в сочетании с СОУЭ;
- наличие установок пожаротушения в помещении очага пожара.

При определении условной вероятности поражения людей, находящихся в помещении очага пожара, не допускается учитывать наличие в этом помещении АУПС и СОУЭ (за исключением случаев, когда пожар не может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в помещении людьми), а также установок пожаротушения, срабатывание которых допускается только после эвакуации находящихся в защищаемом помещении людей (например, при наличии установок газового пожаротушения).

Индивидуальный пожарный риск в зданиях и на территории объекта

Индивидуальный пожарный риск (далее – индивидуальный риск) для работников объекта оценивается частотой поражения

определенного работника объекта опасными факторами пожара, взрыва в течение года.

Области, на которые разбита территория объекта, нумеруются: $i = 1, \dots, I$.

Работники объекта нумеруются: $m = 1, \dots, M$.

Номер работника m однозначно определяет наименование должности работника, его категорию и другие особенности его профессиональной деятельности, необходимой для оценки пожарной безопасности. Допускается проводить расчет индивидуального риска для работника объекта, относя его к одной категории наиболее опасной профессии.

Величина индивидуального риска R_m , год⁻¹, для работника m объекта при его нахождении на территории объекта определяется по формуле

$$R_m = \sum_{i=1}^I q_{im} \cdot P(i), \quad (9)$$

где $P(i)$ – величина потенциального риска в i -й области территории объекта, год⁻¹; q_{im} – вероятность присутствия работника m в i -й области территории объекта.

Величина индивидуального риска R_m , год⁻¹, для работника m при его нахождении в здании объекта, обусловленная опасностью пожаров в здании, определяется по формуле

$$R_m = \sum_{i=1}^N P_i \cdot q_{im}, \quad (10)$$

где P_i – величина потенциального риска в i -м помещении здания, год⁻¹; q_{im} – вероятность присутствия работника m в i -м помещении; N – число помещений в здании, сооружении и строении.

Индивидуальный риск работника m объекта определяется как сумма величин индивидуального риска при нахождении работника на территории и в зданиях объекта по формулам (9) и (10).

Вероятность q_{im} рассчитывается из доли времени нахождения рассматриваемого человека в определенной области территории и/или в i -м помещении здания в течение года на основе решений по организации эксплуатации и технического обслуживания оборудования и зданий объекта.

*Индивидуальный и социальный пожарный риск в селитебной зоне
вблизи объекта*

Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, индивидуальный пожарный риск (далее – индивидуальный риск) принимается равным величинам потенциального риска в этой зоне с учетом доли времени присутствия людей в зданиях, сооружениях и строениях вблизи производственного объекта:

- для зданий, сооружений и строений классов Ф1 по функциональной пожарной опасности – 1;
- для зданий, сооружений и строений классов Ф2, Ф3, Ф4 и Ф5 по функциональной пожарной опасности с круглосуточным режимом работы – 1, при некруглосуточном режиме работы – доля времени присутствия людей в соответствии с организационно-распорядительными документами для этих зданий, сооружений и строений.

Для объекта социальный пожарный риск (далее – социальный риск) принимается равным частоте возникновения событий, ведущих к гибели 10 и более человек.

Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, социальный риск S , год⁻¹, определяется по формуле

$$S = \sum_{j=1}^L Q_j, \quad (11)$$

где L – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров), для которых выполняется условие $N_i \geq 10$; N_i – среднее число погибших людей в селитебной зоне вблизи объекта в результате реализации j -го сценария вследствие воздействия опасных факторов пожара, взрыва.

Величина N_i определяется по формуле

$$N_i = \sum_{j=1}^I Q_{dij} \cdot n_i, \quad (12)$$

где I – количество областей, на которые разделена территория, прилегающая к объекту (i – номер области); Q_{dij} – условная вероятность поражения человека, находящегося в i -й области, опасными факторами при реализации j -го сценария; n_i – среднее число людей, находящихся в i -й области.

Индивидуальный и социальный пожарный риск для линейной части магистральных трубопроводов

Величина потенциального риска $P(r)$, год^{-1} , в определенной точке на расстоянии r от оси магистрального трубопровода вычисляется по формуле

$$P(r) = \sum_{j=1}^{J_0} \sum_{k=1}^{K_0} \lambda_j(m) Q_{jk} \int_{x_{1,jk}}^{x_{2,jk}} Q_{порjk}(x, r) dx, \quad (13)$$

где $\lambda_j(m)$ – удельная частота разгерметизации линейной части магистрального трубопровода для j -го типа разгерметизации на участке m магистрального трубопровода, $\text{год}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$; K_0 – число сценариев развития пожароопасной ситуации или пожара. При этом подлежат рассмотрению для каждого типа разгерметизации следующие сценарии: факельное горение, пожар пролива (для истечения жидкой фазы), пожар-вспышка, сгорание газопаровоздушной смеси в открытом пространстве; J_0 – число рассматриваемых типов разгерметизации; Q_{jk} – условная вероятность реализации k -го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара) для j -го типа разгерметизации; $Q_{порjk}(x, r)$ – условная вероятность поражения человека в рассматриваемой точке на расстоянии r от оси магистрального трубопровода в результате реализации k -го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара), произошедшей на участке магистрального трубопровода с координатой x , расположенной в пределах участка влияния k -го сценария развития пожара для j -го типа разгерметизации; $x_{1,jk}, x_{2,jk}$ – координаты начала и окончания участка влияния. Границы участка влияния определяются для k -го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара) из условия, что зона поражения опасными факторами пожара (взрыва) при аварии на магистральном трубопроводе за пределами этого участка не достигает рассматриваемой точки на расстоянии r от оси магистрального трубопровода. Допускается интегрирование проводить по всей длине трубопровода.

Рекомендуемый метод определения удельных частот различных типов разгерметизации магистрального трубопровода приведен в [приложении № 6](#) к настоящей Методике.

Число рассматриваемых сценариев развития пожароопасной ситуации (пожара) при разгерметизации линейной части маги-

стрального трубопровода, условные вероятности Q_{jk} и $Q_{пожк}(x,r)$ определяются в зависимости от специфики пожарной опасности магистрального трубопровода и транспортируемого вещества.

Индивидуальный риск для работников, обслуживающих линейную часть магистрального трубопровода, определяется в соответствии с пунктом [«Индивидуальный пожарный риск в зданиях и на территории объекта»](#) данного раздела Методики.

Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи линейной части магистрального трубопровода, индивидуальный риск определяется в соответствии с пунктом [«Индивидуальный и социальный пожарный риск в селитебной зоне вблизи объекта»](#) данного раздела Методики.

Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи линейной части магистрального трубопровода, социальный риск S , год⁻¹, вычисляется по формуле

$$S = \max \{ S_1, S_2, \dots, S_p, \dots, S_Q \} \quad (14)$$

где S_1, S_2, S_p, S_Q – величины социального риска для различных потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода, год⁻¹; Q – количество потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода.

Количество потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода определяется на основе анализа плана трассы магистрального трубопровода и прилегающей к ней территории. Границы потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода определяются из условия расположения вблизи них объектов, не относящихся к магистральному трубопроводу, расположенных на расстоянии менее значений, регламентированных нормативными документами по пожарной безопасности.

Приложения к методике расчета

Приложение № 1

Сведения

по частотам реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для некоторых типов оборудования объектов, частотам утечек из технологических трубопроводов, а также частотам возникновения пожаров в зданиях

Таблица П1.1

Частоты реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для некоторых типов оборудования объектов

Наименование оборудования	Иницирующее аварию событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год ⁻¹
Резервуары, емкости, сосуды и аппараты под давлением	Разгерметизация с последующим истечением жидкости, газа или двухфазной среды	5	$4,0 \times 10^{-5}$
		12,5	$1,0 \times 10^{-5}$
		25	$6,2 \times 10^{-6}$
		50	$3,8 \times 10^{-6}$
		100	$1,7 \times 10^{-6}$
		Полное разрушение	$3,0 \times 10^{-7}$
Насосы (центробежные)	Разгерметизация с последующим истечением жидкости или двухфазной среды	5	$4,3 \times 10^{-3}$
		12,5	$6,1 \times 10^{-4}$
		25	$5,1 \times 10^{-4}$
		50	$2,0 \times 10^{-4}$
		Диаметр подводящего / отводящего трубопровода	$1,0 \times 10^{-4}$
Компрессоры (центробежные)	Разгерметизация с последующим истечением газа	5	$1,1 \times 10^{-2}$
		12,5	$1,3 \times 10^{-3}$
		25	$3,9 \times 10^{-4}$
		50	$1,3 \times 10^{-4}$
		Полное разрушение	$1,0 \times 10^{-4}$
Резервуары для хранения ЛВЖ и горючих жидкостей (далее – ГЖ) при давлении, близком к атмосферному	Разгерметизация с последующим истечением жидкости в обвалование	25	$8,8 \times 10^{-5}$
		100	$1,2 \times 10^{-5}$
		Полное разрушение	$5,0 \times 10^{-6}$

Наименование оборудования	Иницилирующее аварию событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год ⁻¹
Резервуары с плавающей крышей	Пожар в кольцевом зазоре по периметру резервуара	—	$4,6 \times 10^{-3}$
	Пожар по всей поверхности резервуара	—	$9,3 \times 10^{-4}$
Резервуары со стационарной крышей	Пожар на дыхательной арматуре	—	$9,0 \times 10^{-5}$
	Пожар по всей поверхности резервуара	—	$9,0 \times 10^{-5}$

Примечание. Здесь и далее под полным разрушением подразумевается утечка с диаметром истечения, соответствующим максимальному диаметру подводящего или отводящего трубопровода, или разрушения резервуара, емкости, сосуда или аппарата.

При определении частоты разгерметизации фильтров и кожухотрубных теплообменников указанное оборудование допускается рассматривать как аппараты под давлением.

Аппараты воздушного охлаждения допускается рассматривать как участки технологических трубопроводов, длина которых соответствует суммарной длине труб в пучках теплообменника.

Таблица П1.2

Частоты утечек из технологических трубопроводов

Диаметр трубопровода, мм	Частота утечек (м ⁻² × год ⁻¹)				Разрыв
	Малая (диаметр отверстия 12,5 мм)	Средняя (диаметр отверстия 25 мм)	Значительная (диаметр отверстия 50 мм)	Большая (диаметр отверстия 100 мм)	
50	$5,7 \times 10^{-6}$	$2,4 \times 10^{-6}$	—	—	$1,4 \times 10^{-6}$
100	$2,8 \times 10^{-6}$	$1,2 \times 10^{-6}$	$4,7 \times 10^{-7}$	—	$2,4 \times 10^{-7}$
150	$1,9 \times 10^{-6}$	$7,9 \times 10^{-7}$	$3,1 \times 10^{-7}$	$1,3 \times 10^{-7}$	$2,5 \times 10^{-8}$
250	$1,1 \times 10^{-6}$	$4,7 \times 10^{-7}$	$1,9 \times 10^{-7}$	$7,8 \times 10^{-8}$	$1,5 \times 10^{-8}$
600	$4,7 \times 10^{-7}$	$2,0 \times 10^{-7}$	$7,9 \times 10^{-8}$	$3,4 \times 10^{-8}$	$6,4 \times 10^{-9}$
900	$3,1 \times 10^{-7}$	$1,3 \times 10^{-7}$	$5,2 \times 10^{-8}$	$2,2 \times 10^{-8}$	$4,2 \times 10^{-9}$
1200	$2,4 \times 10^{-7}$	$9,8 \times 10^{-8}$	$3,9 \times 10^{-8}$	$1,7 \times 10^{-8}$	$3,2 \times 10^{-9}$

Частоты возникновения пожаров в зданиях

Наименование объекта	Частота возникновения пожара ($\text{м}^{-2} \times \text{год}^{-1}$)
Электростанции	$2,2 \times 10^{-5}$
Склады химической продукции	$1,2 \times 10^{-5}$
Склады многономенклатурной продукции	$9,0 \times 10^{-5}$
Инструментально-механические цеха	$0,6 \times 10^{-5}$
Цеха по обработке синтетического каучука и искусственных волокон	$2,7 \times 10^{-5}$
Литейные и плавильные цеха	$1,9 \times 10^{-5}$
Цеха по переработке мясных и рыбных продуктов	$1,5 \times 10^{-5}$
Цеха горячей прокатки металлов	$1,9 \times 10^{-5}$
Текстильные производства	$1,5 \times 10^{-5}$

Частота реализации сценариев, связанных с образованием огненного шара на емкостном оборудовании со сжиженными газами и ЛВЖ вследствие внешнего воздействия очага пожара, определяется на основе процедуры построения логических деревьев событий, приведенной в [приложении № 2](#) к настоящей Методике. При отсутствии необходимых данных допускается принимать частоту внешнего воздействия, приводящего к реализации огненного шара, равной $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ на один аппарат (резервуар).

При использовании данных, приведенных в настоящем приложении, для какого-либо резервуара, емкости, сосуда, аппарата, технологического трубопровода следует учитывать частоты разгерметизации для всех размеров утечек, указанные для этой единицы технологического оборудования.

Приложение № 2

Процедура построения логического дерева событий

Настоящий метод позволяет определить развитие возможных пожароопасных ситуаций и пожаров, возникающих вследствие реализации иницирующих пожароопасную ситуацию событий. Анализ дерева событий представляет собой «осмысливаемый вперед» процесс, то есть процесс, при котором исследование развития пожароопасной ситуации начинается с исходного события с рассмотрением цепи последующих событий, приводящих к возникновению пожара.

При построении логических деревьев событий учитываются следующие положения:

- выбирается пожароопасная ситуация, которая может повлечь за собой возникновение аварии с пожаром с дальнейшим его развитием;
- развитие пожароопасной ситуации и пожара должно рассматриваться постадийно с учетом места ее возникновения на объекте оценки риска, уровня потенциальной опасности каждой стадии и возможности ее локализации и ликвидации. На логическом дереве событий стадии развития пожароопасной ситуации и пожара могут отображаться в виде прямоугольников или других геометрических фигур с краткими названиями этих стадий;
- переход с рассматриваемой стадии на новую определяется возможностью либо локализации пожароопасной ситуации или пожара на рассматриваемой стадии, либо развития пожара, связанного с вовлечением расположенных рядом технологического оборудования, помещений, зданий и т. п. в результате влияния на них опасных факторов пожара, возникших на рассматриваемой стадии. Условные вероятности переходов пожароопасной ситуации или пожара со стадии на стадию одной ветви или с ветви на ветвь определяются исходя из свойств вовлеченных в пожароопасную ситуацию или пожар горючих веществ (физико-химические и пожароопасные свойства, параметры, при которых вещества обращаются в технологическом процессе и т. д.), условной вероятности реализации различных метеорологических условий (температура окружающей среды, скорость и направление ветра и т. д.), наличия и условной вероятности эффективного срабатывания систем противоаварийной и противопожарной защиты, величин зон поражения опасными факторами пожара, объемно-планировочных решений и конструктивных особенностей оборудования и зданий производственного объекта. При этом каждой стадии иногда присваивается идентификационный номер, отражающий последовательность переходов со стадии на стадию;
- переход со стадии на стадию, как правило, отображается в виде соединяющих линий со стрелками, указывающими направления развития пожароопасной ситуации и последующего пожара. При этом соединения стадий должны отражать вероятностный характер события с выполнением условия «или» или «да», «нет»;
- для каждой стадии рекомендуется устанавливать уровень ее опасности, характеризующийся возможностью перехода пожароопасной ситуации или пожара на соседние с пожароопасным участки объекта;

– при повторении одним из путей части другого пути развития для упрощения построения логического дерева событий иногда вводят обозначение, представляющее собой соответствующую линию со стрелкой и надпись «на стадию (код последующей стадии)».

При анализе логических деревьев событий руководствуются следующими положениями:

- возможностью предотвращения дальнейшего развития пожароопасной ситуации и пожара – зависит от количества стадий и времени их протекания (то есть от длины пути развития пожароопасной ситуации и пожара). Это обуславливается большей вероятностью успешной ликвидации пожароопасной ситуации и пожара, связанной с увеличением времени на локализацию пожароопасной ситуации и пожара и количеством стадий, на которых эта локализация возможна;
- наличием у стадии разветвлений по принципу «или», одно из которых приходит на стадию локализации пожароопасной ситуации или пожара (например, тушение очага пожара, своевременное обнаружение утечки и ликвидация пролива, перекрытие запорной арматуры и т. п.), – свидетельствует о возможности предотвращения дальнейшего развития пожароопасной ситуации и пожара по этому пути.

Значение частоты реализации отдельной стадии дерева событий или сценария определяется путем умножения частоты возникновения инициирующего события на условную вероятность развития по конкретному сценарию.

В таблице П2.1 приводятся рекомендуемые условные вероятности мгновенного воспламенения и воспламенения с задержкой по времени в зависимости от массового расхода скорости истечения горючих газов, двухфазных сред или жидкостей при разгерметизации типового технологического оборудования на объекте.

Для легковоспламеняющихся жидкостей с температурой вспышки менее +28 °С должны использоваться условные вероятности воспламенения как для двухфазной среды.

При определении условных вероятностей реализации различных сценариев должны приниматься во внимание свойства поступающих в окружающее пространство горючих веществ, условные вероятности реализации различных метеорологических условий (температура окружающей среды, скорость и направление ветра и т. д.), наличие и условные вероятности эффективного срабатывания систем противоаварийной и противопожарной защиты и т. д.

Таблица П2.1

**Условная вероятность мгновенного воспламенения
и воспламенения с задержкой**

Массовый расход истечения, кг/с		Условная вероятность мгновенного воспламенения			Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения			Условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при образовании горячего газопаровоздушного облака и его последующем воспламенении		
Малый (<1)	0,5	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,080	0,080	0,050
Средний (1–50)	10	0,035	0,035	0,015	0,036	0,036	0,015	0,240	0,240	0,050
Большой (>50)	100	0,150	0,150	0,040	0,176	0,176	0,042	0,600	0,600	0,050
Полный разрыв	Не определено	0,200	0,200	0,050	0,240	0,240	0,061	0,600	0,600	0,100

Приложение № 3

Методы оценки опасных факторов пожара

В настоящем приложении представлены методы оценки опасных факторов, реализующихся при различных сценариях пожаров, взрывов на территории объекта и в селитебной зоне вблизи объекта.

Для оценки опасных факторов при пожарах в зданиях (помещениях) объекта используются методы, регламентированные [приложением № 5](#) к настоящей Методике.

I. Истечение жидкости и газа

Истечение жидкости

Рассматривается резервуар, находящийся в обваловании (рис. ПЗ.1).

Вводятся следующие допущения:

- истечение через отверстие однофазное;
- резервуар имеет постоянную площадь сечения по высоте;
- диаметр резервуара много больше размеров отверстия;
- размеры отверстия много больше толщины стенки;
- поверхность жидкости внутри резервуара горизонтальна;
- температура жидкости остается постоянной в течение времени истечения.

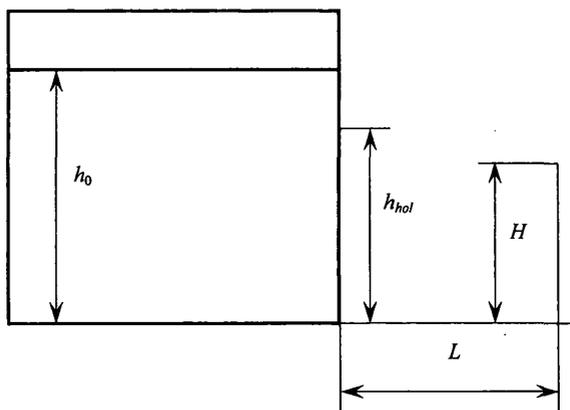


Рис. ПЗ.1. Схема для расчета истечения жидкости из отверстия в резервуаре

Массовый расход жидкости G , кг/с, через отверстие во времени t , с, определяется по формуле

$$G(t) = G_0 - \frac{\rho \cdot g \cdot \mu^2 \cdot A_{hol}^2}{A_R} \cdot t, \quad (\text{ПЗ.1})$$

где G_0 – массовый расход в начальный момент времени, кг/с, определяемый по формуле

$$G_0 = \mu \cdot \rho \cdot A_{hol} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_0 - h_{hol})}, \quad (\text{ПЗ.2})$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³; $g = 9,81$ см/с² – ускорение свободного падения; μ – коэффициент истечения; A_{hol} – площадь отверстия, м²; h_{hol} – высота расположения отверстия, м; A_R – площадь сечения резервуара, м²; h_0 – начальная высота столба жидкости в резервуаре, м.

Высота столба жидкости в резервуаре h , м, в зависимости от времени t определяется по формуле

$$h(t) = h_0 - \frac{G_0}{\rho \cdot A_R} \cdot t + \frac{g \cdot \mu^2 \cdot A_{hol}^2 \cdot t^2}{2 \cdot A_R^2}. \quad (\text{ПЗ.3})$$

Условия перелива струи жидкости (при $h_0 > h_{hol}$) через обвалованные определяются по формуле

$$h_{hol} \geq H + \frac{L}{\mu}, \quad (\text{ПЗ.4})$$

где H – высота обвалования, м; L – расстояние от стенки резервуара до обвалования, м.

Количество жидкости m , кг, перелившейся через обвалование за полное время истечения, определяется по формуле

$$m = \int_0^{t_{pour}} G(t) \cdot dt = G_0 \cdot t_{pour} - \frac{\rho \cdot g \cdot \mu^2 \cdot A_{hol}^2}{2 \cdot A_R} \cdot t_{pour}^2, \quad (\text{ПЗ.5})$$

где t_{pour} – время, в течение которого жидкость переливается через обвалование, с (т. е. время, в течение которого выполняется условие (ПЗ.4).

Величина t_{pour} находится по формуле

$$t_{pour} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}, \quad (\text{ПЗ.6})$$

где a , b , c – параметры, которые определяются по формулам:

$$a = g \cdot \mu^2 \cdot A_{hol}^2 / (2 \cdot A_R^2), \text{ м/с}^2; \quad (\text{ПЗ.7})$$

$$b = -\frac{G_0}{\rho \cdot A_R}, \text{ м/с}; \quad (\text{ПЗ.8})$$

$$c = h_0 - H - \frac{L}{\mu}, \text{ м}. \quad (\text{ПЗ.9})$$

Если жидкость в резервуаре находится под избыточным давлением ΔP , Па, величина мгновенного массового расхода G_0 , кг/с, вычисляется по формуле

$$G_0 = \mu \cdot \rho \cdot A_{hol} \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P / \rho + 2 \cdot g \cdot (h_0 - h_{hol})}. \quad (\text{ПЗ.10})$$

Для определения количества жидкости, перелившейся через обвалование, и времени перелива следует проинтегрировать соответствующую систему уравнений, где величина ΔP может быть переменной.

Истечение сжатого газа

Массовая скорость истечения сжатого газа из резервуара определяется по формулам:

– докритическое истечение:

$$\frac{P_a}{P_V} \geq \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\gamma / (\gamma - 1)}, \quad (\text{ПЗ.11})$$

при

$$G = A_{hol} \cdot \mu \left[P_V \cdot \rho_V \cdot \left(\frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} \right) \cdot \left(\frac{P_a}{P_V} \right)^{2/\gamma} \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{P_a}{P_V} \right)^{(\gamma - 1)/\gamma} \right\} \right]^{1/2}; \quad (\text{ПЗ.12})$$

– сверхкритическое истечение:

$$\frac{P_a}{P_V} < \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\gamma / (\gamma - 1)}, \quad (\text{ПЗ.13})$$

при

$$G = A_{hol} \cdot \mu \left[P_V \cdot \rho_V \cdot \gamma \cdot \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma + 1)/(\gamma - 1)} \right]^{1/2}, \quad (\text{ПЗ.14})$$

где G – массовый расход, кг/с; P_a – атмосферное давление, Па; P_V – давление газа в резервуаре, Па; γ – показатель адиабаты газа; A_{hol} – площадь отверстия, м²; μ – коэффициент истечения (при отсутствии данных допускается принимать равным 0,8); ρ_V – плотность газа в резервуаре при давлении P_V , кг/м³.

Истечение сжиженного газа из отверстия в резервуаре

Массовая скорость истечения паровой фазы G_V , кг/с, определяется по формуле

$$G_V = \mu \cdot A_{hol} \sqrt{\left(\frac{P_C M}{RT_C} \right) \cdot P_C \cdot (0,167 \cdot P_R^5 + 0,534 \cdot P_R^{1,95})}, \quad (\text{ПЗ.15})$$

где μ – коэффициент истечения; A_{hol} – площадь отверстия, м²; P_C – критическое давление сжиженного газа, Па; M – молярная масса, кг/моль; $R = 8,31$ Дж/(К·моль) – универсальная газовая постоянная; T_C – критическая температура сжиженного газа, К; $P_R = P_V/P_C$ – безразмерное давление сжиженного газа в резервуаре; P_V – давление сжиженного газа в резервуаре, Па.

Массовую скорость истечения паровой фазы можно также определять по формулам (ПЗ.11)–(ПЗ.14).

Массовая скорость истечения жидкой фазы G_L , кг/с, определяется по формуле

$$G_L = G_V \cdot \frac{\sqrt{\left(\frac{\rho_L}{\rho_V} \right) \cdot P_R}}{\left(1,22 \cdot T_R^{3/2} \right)}, \quad (\text{ПЗ.16})$$

где ρ_L – плотность жидкой фазы, кг/м³; ρ_V – плотность паровой фазы, кг/м³; $T_R = T/T_C$ – безразмерная температура сжиженного газа; T – температура сжиженного газа в резервуаре, К.

Растекание жидкости при квазимгновенном разрушении резервуара

Под квазимгновенным разрушением резервуара следует понимать внезапный (в течение секунд или долей секунд) распад резервуара на приблизительно равные по размеру части. При такой пожароопасной ситуации часть хранимой в резервуаре жидкости может перелиться через обвалование.

Ниже представлена математическая модель, позволяющая оценить долю жидкости, перелившейся через обвалование при квазимгновенном разрушении резервуара. Приняты следующие допущения:

- рассматривается плоская одномерная задача;
- время разрушения резервуара много меньше характерного времени движения гидродинамической волны до обвалования;
- жидкость является невязкой;
- трение жидкости о поверхность земли отсутствует;
- поверхность земли является плоской, горизонтальной.

Система уравнений, описывающих движение жидкости, имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(h - h_G) \cdot u] = 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u^2}{2} + g \cdot h \right) = 0, \end{cases} \quad (\text{П3.17})$$

где h – высота столба жидкости над фиксированным уровнем, м; h_G – высота подстилающей поверхности над фиксированным уровнем, м; u – средняя по высоте скорость движения столба жидкости, м/с; x – координата вдоль направления движения жидкости, м; t – время, с; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения.

Граничные условия с учетом геометрии задачи (рис. П3.2) имеют вид:

$$\left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{x=0} = 0; \quad (\text{П3.18})$$

$$u|_{x=0} = 0; \quad (\text{П3.19})$$

$$\left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{x=b} = 0; \quad (\text{П3.20})$$

$$u|_{x=b} = \begin{cases} g^{1/2} \cdot (h-a)^{3/2} / h, & \text{если } h > a, \\ 0, & \text{если } h \leq a \end{cases} \quad (\text{П3.21})$$

где a – высота обвалования.

Массовая доля жидкости Q (%), перелившейся через обвалование к моменту времени T , определяется по формуле

$$Q = 100 \cdot \frac{\int_0^T u_N \cdot (h_N - a) \cdot dt}{h_0 \cdot R}, \quad (\text{П3.22})$$

где u_N – средняя по высоте скорость движения столба жидкости при $x = b$, м/с; h_N – высота столба жидкости при $x = b$, м; h_0 – начальная высота столба жидкости в резервуаре, м; R – ширина резервуара, м.

График расчетной и экспериментальной зависимостей массовой доли перелившейся через обвалование жидкости Q от параметра a/h_0 представлен на рис. П3.3.

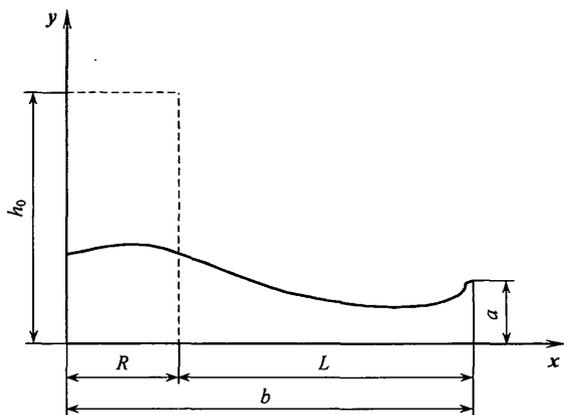


Рис. ПЗ.2. Типичная картина движения жидкости в обваловании при квазимоментальном разрушении резервуара: - - - - - уровень начального столба жидкости; _____ — уровень жидкости в промежуточный момент времени (результаты расчета)

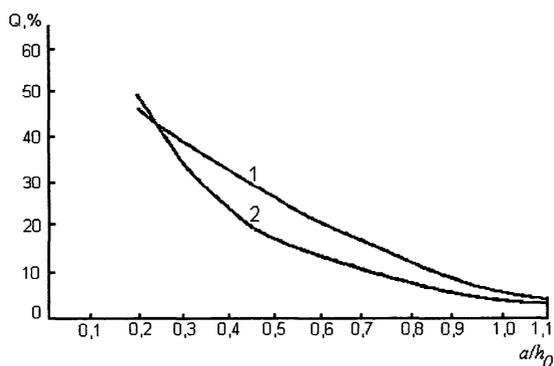


Рис. ПЗ.3. Зависимость доли перелившейся через обвалование жидкости Q от параметра a/h_0 ; 1 — расчет; 2 — эксперимент

II. Количественная оценка массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций

Количество поступивших в окружающее пространство горючих веществ, которые могут образовать взрывоопасные газопаровоздушные смеси или проливы горючих сжиженных газов, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей на подстилающей поверхности, определяется из следующих предпосылок:

а) происходит расчетная авария одного из резервуаров (аппаратов) или трубопровода;

б) все содержимое резервуара (аппарата, трубопровода) или часть продукта (при соответствующем обосновании) поступает в окружающее пространство. При этом в случае наличия на объекте нескольких аппаратов (резервуаров) расчет следует проводить для каждого резервуара (аппарата);

в) при разгерметизации резервуара (аппарата) происходит одновременно утечка веществ из трубопроводов, питающих резервуар по прямому и обратному потоку в течение времени, необходимого для отключения трубопроводов. Расчетное время отключения трубопроводов определяется в каждом конкретном случае из реальной обстановки и должно быть минимальным с учетом паспортных данных на запорные устройства и их надежности, характера технологического процесса и вида расчетной аварии.

При отсутствии данных допускается расчетное время отключения технологических трубопроводов принимать равным:

- времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики не превышает 0,000001 в год или обеспечено резервирование ее элементов;
- 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает 0,000001 в год и не обеспечено резервирование ее элементов;
- 300 с при ручном отключении;

г) в качестве расчетной температуры при пожароопасной ситуации с наземно расположенным оборудованием допускается принимать максимально возможную температуру воздуха в соответствующей климатической зоне, а при пожароопасной ситуации с подземно расположенным оборудованием – температуру грунта, условно равную максимальной среднемесячной температуре окружающего воздуха в наиболее теплое время года;

е) длительность испарения жидкости с поверхности пролива принимается равной времени ее полного испарения, но не более 3600 с. Для проливов жидкости до 20 кг время испарения допускается принимать равным 900 с.

Допускается использование показателей пожаровзрывоопасности для смесей веществ и материалов по наиболее опасному компоненту.

Разгерметизация надземного резервуара

Масса жидкости, поступившей в окружающее пространство при разгерметизации резервуара, определяется по формуле

$$m_a = \rho_L \cdot V_R, \quad (\text{П3.23})$$

где m_a – масса жидкости, кг; ρ_L – плотность жидкости, кг/м³; V_R – объем жидкости в резервуаре, м³.

Масса жидкости, поступившей самотеком при полном разрушении наземного или надземного трубопровода, выходящего из резервуара, определяется по формулам:

$$m_a = G_L \cdot \tau + \frac{\pi}{4} \cdot d_p^2 \cdot \left(\sum_{i=1}^n L_i \right) \cdot \rho_L, \quad (\text{П3.24})$$

где

$$G_L = \mu \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_p^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_L \cdot \Delta P_R}, \quad (\text{П3.25})$$

$$\Delta P_R = h_L \cdot \rho_L \cdot g, \quad (\text{П3.26})$$

где G_L – начальный расход жидкости, истекающей из резервуара через разгерметизированный трубопровод, кг/с; μ – коэффициент истечения; τ – расчетное время отключения трубопроводов, связанных с местом разгерметизации, с; d_p – диаметр трубопроводов, м (в случае различных диаметров трубопроводов, связанных с местом разгерметизации, объем выходящей жидкости рассчитывается для каждого трубопровода в отдельности); L_i – длина i -го участка трубопровода от запорного устройства до места разгерметизации, м; n – число участков трубопроводов, связанных с местом разгерметизации; ΔP_R – напор столба жидкости в резервуаре, Па; h_L – высота столба жидкости (от верхнего уровня жидкости в резервуаре до уровня места разгерметизации), м; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения.

При проливе на неограниченную поверхность площадь пролива $F_{\text{пр}}$, м², жидкости определяется по формуле

$$F_{\text{пр}} = f_p \cdot V_{\text{ж}}, \quad (\text{П3.27})$$

где f_p – коэффициент разлития, м⁻¹ (при отсутствии данных допускается принимать равным 5 м⁻¹ при проливе на неспланированную грунтовую поверхность, 20 м⁻¹ при проливе на спланированное грунтовое покрытие, 150 м⁻¹ при проливе на бетонное или асфальтовое покрытие); $V_{\text{ж}}$ – объем жидкости, поступившей в окружающее пространство при разгерметизации резервуара, м³.

Масса паров ЛВЖ, выходящих через дыхательную арматуру

В случае наполнения резервуара масса паров определяется по формуле

$$m_V = \rho_V \cdot V_R \cdot P_H / P_0, \quad (\text{П3.28})$$

где

$$\rho_V = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_0)}, \quad (\text{П3.29})$$

где m_V – масса выходящих паров ЛВЖ, кг; ρ_V – плотность паров ЛВЖ, кг/м³; P_H – давление насыщенных паров ЛВЖ при расчетной температуре, кПа, определяемое по справочным данным; P_0 – атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101); V_R – геометрический объем паровоздушного пространства резервуара (при отсутствии данных допускается принимать равным геометрическому объему резервуара), м³; M – молярная масса паров ЛВЖ, кг/кмоль; V_0 – мольный объем, равный 22,413 м³/кмоль; t_0 – расчетная температура, °С.

Масса паров ЛВЖ при испарении со свободной поверхности в резервуаре

Масса паров ЛВЖ при испарении со свободной поверхности в резервуаре определяется по формуле

$$m_V = G_V \cdot \tau_E, \quad (\text{П3.30})$$

где G_V – расход паров ЛВЖ, кг/с, который определяется по формуле

$$G_V = F_R \cdot W, \quad (\text{П3.31})$$

где τ_E – время поступления паров из резервуара, с; F_R – максимальная площадь поверхности испарения ЛВЖ в резервуаре, м²; W – интенсивность испарения ЛВЖ, кг/(м²·с) (определяется в соответствии с [разделом VIII настоящего приложения](#)).

III. Максимальные размеры взрывоопасных зон

Радиус $R_{\text{НКПР}}$ м, и высота $Z_{\text{НКПР}}$ м, зоны, ограничивающие область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (далее – НКПР), при неподвижной воздушной среде определяются по формулам:

– для горючих газов (далее – ГГ):

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33}; \quad (\text{П3.32})$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left(\frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33}, \quad (\text{П3.33})$$

– для паров ЛВЖ:

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\Pi}}{\rho_{\Pi} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33}; \quad (\text{П3.34})$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left(\frac{m_{\text{П}}}{\rho_{\text{П}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33}, \quad (\text{ПЗ.35})$$

где $m_{\text{Г}}$ — масса ГГ, поступившего в открытое пространство при пожароопасной ситуации, кг; $\rho_{\text{Г}}$ — плотность ГГ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м³; $m_{\text{П}}$ — масса паров ЛВЖ, поступивших в открытое пространство за время испарения, указана в разделе П настоящего приложения, кг; $\rho_{\text{П}}$ — плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре, кг/м³; $C_{\text{НКПР}}$ — нижний концентрационный предел распространения пламени ГГ или паров, % об.

За начало отсчета горизонтального размера зоны принимают геометрический центр пролива, а в случае, если $R_{\text{НКПР}}$ меньше габаритных размеров пролива, — внешние габаритные размеры пролива.

При необходимости может быть учтено влияние различных метеорологических условий на размеры взрывоопасных зон.

IV. Определение параметров волны давления при сгорании газо-, паро- или пылевоздушного облака

Методика количественной оценки параметров воздушных волн давления при сгорании газо-, паро- или пылевоздушного облака (далее — облако) распространяется на случаи выброса горючих газов, паров или пыли в атмосферу на производственных объектах.

Основными структурными элементами алгоритма расчетов являются:

- определение ожидаемого режима сгорания облака;
- расчет максимального избыточного давления и импульса фазы сжатия воздушных волн давления для различных режимов;
- определение дополнительных характеристик взрывной нагрузки;
- оценка поражающего воздействия.

Исходными данными для расчета параметров волн давления при сгорании облака являются:

- вид горючего вещества, содержащегося в облаке;
- концентрация горючего вещества в смеси $C_{\text{Г}}$;
- стехиометрическая концентрация горючего вещества с воздухом $C_{\text{ст}}$;
- масса $M_{\text{Г}}$ горючего вещества, содержащегося в облаке, с концентрацией между нижним и верхним концентрационным пределом распространения пламени; допускается величину $M_{\text{Г}}$ принимать равной массе горючего вещества, содержащегося в облаке, с учетом коэффициента Z участия горючего вещества во взрыве; при отсутствии данных коэффициент Z может быть принят равным 0,1; при струйном стационарном истечении горючего газа величину $M_{\text{Г}}$ следует рассчитывать с учетом стационарного распределения концентраций горючего газа в струе;

- удельная теплота сгорания горючего вещества $E_{уд}$;
- скорость звука в воздухе C_0 (обычно принимается равной 340 м/с);
- информация о степени загроможденности окружающего пространства;
- эффективный энергозапас горючей смеси E , который определяется по формуле

$$E = \begin{cases} M_T \cdot E_{уд}, & C_T \leq C_{ст} \\ M_T \cdot E_{уд} \cdot \frac{C_{ст}}{C_T}, & C_T > C_{ст} \end{cases} \quad (\text{ПЗ.36})$$

При расчете параметров сгорания облака, расположенного на поверхности земли, величина эффективного энергозапаса удваивается.

Определение ожидаемого режима сгорания облака

Ожидаемый режим сгорания облака зависит от типа горючего вещества и степени загроможденности окружающего пространства.

Классификация горючих веществ по степени чувствительности

Вещества, способные к образованию горючих смесей с воздухом, по степени своей чувствительности к возбуждению взрывных процессов разделены на четыре класса:

- класс 1 – особо чувствительные вещества (размер детонационной ячейки менее 2 см);
- класс 2 – чувствительные вещества (размер детонационной ячейки лежит в пределах от 2 до 10 см);
- класс 3 – средне чувствительные вещества (размер детонационной ячейки лежит в пределах от 10 до 40 см);
- класс 4 – слабо чувствительные вещества (размер детонационной ячейки больше 40 см).

Классификация наиболее распространенных в промышленном производстве горючих веществ приведена в таблице ПЗ.1.

Если вещество не внесено в классификацию, его следует классифицировать по аналогии с имеющимися в списке веществами, а при отсутствии информации о свойствах данного вещества его следует отнести к классу 1, т. е. рассматривать наиболее опасный случай.

При оценке масштабов поражения волнами давления должно учитываться различие химических соединений по теплоте сгорания, используемой для расчета полного запаса энерговыделения. Для типичных углеводородов принимается в расчет значение удельной теплоты сгорания $E_{уд0} = 44$ МДж/кг. Для иных горючих веществ в расчетах используется удельное энерговыделение $E_{уд} = \beta E_{уд0}$. Здесь β – корректировочный параметр. Для условно выделенных классов горючих веществ величины параметра β представлены в таблице ПЗ.2.

Классификация горючих веществ

Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4
Ацетилен	Акрилонитрил	Ацетальдегид	Бензол
Винилацетилен	Акролеин	Ацетон	Декан
Водород	Бутан	Бензин	о-Дихлорбензол
Гидразин	Бутилен	Винилацетат	Додекан
Изопропилнитрат	Бутадиен	Винилхлорид	Метан
Метилацетилен	1,3-Пентадиен	Гексан	Метилбензол
Нитрометан	Пропан	Изооктан	Метилмеркаптан
Окись пропилена	Пропилен	Метиламин	Метилхлорид
Окись этилена	Сероуглерод	Метилацетат	Окись углерода
Этилнитрат	Этан	Метилбутилкетон	Этиленбензол
	Этилен	Метилпропилкетон	
	Эфиры:	Метилэтилкетон	
	диметиловый	Октан	
	дивиниловый	Пиридин	
	метилбутиловый	Сероводород	
	Широкая фракция легких углеводородов	Спирты:	
		метиловый	
		этиловый	
		пропиловый	
		амиловый	
		изобутиловый	
		изопропиловый	
		Циклогексан	
		Этилформиат	
		Этилхлорид	

Таблица П3.2

Корректировочный параметр β

Классы горючих веществ	β	Классы горючих веществ	β
Класс 1		Класс 3	
Ацетилен	1,1	Кумол	0,84
Метилацетилен	1,05	Метиламин	0,70
Винилацетилен	1,03	Спирты:	
Окись этилена	0,62	Метиловый	0,45
Гидразин	0,44	Этиловый	0,61
Изопропилнитрат	0,41	Пропиловый	0,69
Этилнитрат	0,30	Амиловый	0,79
Водород	2,73	Циклогексан	1
Нитрометан	0,25	Ацетальдегид	0,56
Класс 2		Винилацетат	0,51
Этилен	1,07	Бензин	1
Диэтилэфир	0,77	Гексан	1
Дивинилэфир	0,77	Изооктан	1
Окись пропилена	0,7	Пиридин	0,77
Акролеин	0,62	Циклопропан	1
Сероуглерод	0,32	Этиламин	0,80
Бутан	1	Класс 4	
Бутилен	1		
Бутадиен	1	Метан	1,14
1,3-Пентадиен	1	Трихлорэтан	0,15
Этан	1	Метилхлорид	0,12
Диметилэфир	0,66	Бензол	1
Диизопропиловый эфир	0,82	Декан	1
ШФЛУ	1	Додекан	1
Пропилен	1	Метилбензол	1
Пропан	1	Метилмеркаптан	0,53
Класс 3		Окись углерода	0,23
Винилхлорид	0,42	Дихлорэтан	0,24
Сероводород	0,34	Дихлорбензол	0,42
Ацетон	0,65	Трихлорэтан	0,14

Классификация окружающего пространства по степени загроможденности

Характером загроможденности окружающего пространства в значительной степени определяется скорость распространения пламени при сгорании облака и, следовательно, параметры волны давления. Характеристики загроможденности окружающего пространства разделяются на четыре класса:

- класс I – наличие длинных труб, полостей, каверн, заполненных горючей смесью, при сгорании которой возможно ожидать формирование турбулентных струй продуктов сгорания, имеющих размеры не менее трех размеров детонационной ячейки данной смеси. Если размер детонационной ячейки для данной смеси не известен, то минимальный характерный размер струй принимается равным 5 см для веществ класса 1, 20 см для веществ класса 2, 50 см для веществ класса 3 и 150 см для веществ класса 4;
- класс II – сильно загроможденное пространство: наличие полужамкнутых объемов, высокая плотность размещения технологического оборудования, лес, большое количество повторяющихся препятствий;
- класс III – средне загроможденное пространство: отдельно стоящие технологические установки, резервуарный парк;
- класс IV – слабо загроможденное и свободное пространство.

Классификация режимов сгорания облака

Для оценки воздействия сгорания облака возможные режимы сгорания разделяются на шесть классов по диапазонам скоростей их распространения следующим образом:

- класс 1 – детонация или горение со скоростью фронта пламени 500 м/с и более;
- класс 2 – дефлаграция, скорость фронта пламени 300–500 м/с;
- класс 3 – дефлаграция, скорость фронта пламени 200–300 м/с;
- класс 4 – дефлаграция, скорость фронта пламени 150–200 м/с;
- класс 5 – дефлаграция, скорость фронта пламени определяется по формуле

$$u = k_1 \cdot M^{1/6}, \quad (\text{П3.37})$$

где $k_1 = 43$ – константа; M – масса горючего вещества, содержащегося в облаке, кг;

- класс 6 – дефлаграция, скорость фронта пламени определяется по формуле

$$u = k_2 \cdot M^{1/6}, \quad (\text{П3.38})$$

где $k_2 = 26$ – константа; M – масса горючего вещества, содержащегося в облаке, кг.

Ожидаемый режим сгорания облака определяется с помощью таблицы ПЗ.3 в зависимости от класса горючего вещества и класса загроможденности окружающего пространства.

Таблица ПЗ.3

Режимы сгорания облака

Класс горючего вещества	Класс загроможденности окружающего пространства			
	I	II	III	IV
1	1	1	2	3
2	1	2	3	4
3	2	3	4	5
4	3	4	5	6

При определении максимальной скорости фронта пламени для режимов сгорания 2–4 классов дополнительно рассчитывается видимая скорость фронта пламени по соотношению (ПЗ.37). Если полученная величина больше максимальной скорости, соответствующей данному классу, она принимается равной рассчитанной величине по формуле (ПЗ.37).

Расчет максимального избыточного давления и импульса фазы сжатия воздушных волн давления

Параметры воздушных волн давления (избыточное давление ΔP и импульс фазы сжатия I^+) в зависимости от расстояния от центра облака рассчитываются исходя из ожидаемого режима сгорания облака.

Класс 1 режима сгорания облака. Рассчитывается соответствующее безразмерное расстояние по формуле

$$R_x = R/(E/P_0)^{1/3}, \quad (\text{ПЗ.39})$$

где R – расстояние от центра облака, м; P_0 – атмосферное давление, Па; E – эффективный энергозапас смеси, Дж.

Безразмерные величины давления P_x и импульса фазы сжатия I_x определяются по формулам (для газопаровоздушных смесей):

$$\ln(P_x) = -1,124 - 1,66 \cdot (\ln(R_x)) + 0,260 \cdot (\ln(R_x))^2; \quad (\text{ПЗ.40})$$

$$\ln(I_x) = -3,4217 - 0,898 \cdot (\ln(R_x)) - 0,0096 \cdot (\ln(R_x))^2. \quad (\text{ПЗ.41})$$

Формулы (ПЗ.40, ПЗ.41) справедливы для значений R_x , более $R_k > 0,2$. Если $R_x < R_k$, то $P_x = 18$, а в формулу (ПЗ.41) вместо R_x подставляется величина $R_x = 0,14$.

Размерные величины избыточного давления и импульса фазы сжатия определяются по формулам:

$$\Delta P = P_x \cdot P_0; \quad (\text{ПЗ.42})$$

$$I^+ = I_x \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3} / C_0. \quad (\text{ПЗ.43})$$

Классы 2–6 режима сгорания облака. Рассчитывается безразмерное расстояние R_x от центра облака по формуле (ПЗ.39).

Рассчитываются величины безразмерного давления P_{x1} и импульса фазы сжатия I_{x1} по формулам:

$$P_{x1} = \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right); \quad (\text{ПЗ.44})$$

$$I_{x1} = W \cdot (1 - 0,4 \cdot W) \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right); \quad (\text{ПЗ.45})$$

$$W = \frac{u}{C_0} \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right), \quad (\text{ПЗ.46})$$

где σ – степень расширения продуктов сгорания (для газопаровоздушных смесей принимается равным 7, для пылевоздушных смесей – 4); u – видимая скорость фронта пламени, м/с.

В случае дефлаграции пылевоздушного облака величина эффективного энергозапаса умножается на коэффициент $(\sigma - 1)/\sigma$.

Формулы (ПЗ.44), (ПЗ.45) справедливы для значений R_x больших, чем величина $R_{\text{кр1}} = 0,34$. В случае, если $R_x < R_{\text{кр1}}$, в формулы (ПЗ.44), (ПЗ.45) вместо R_x подставляется величина $R_{\text{кр1}}$.

Размерные величины избыточного давления и импульса фазы сжатия определяются по формулам (ПЗ.42), (ПЗ.43). При этом в формулы (ПЗ.42), (ПЗ.43) вместо P_x и I_x подставляются величины P_{x1} и I_{x1} .

V. Параметры волны давления при взрыве резервуара с перегретой жидкостью или сжиженным газом при воздействии на него очага пожара

Избыточное давление ΔP и импульс I^+ в волне давления, образующиеся при взрыве резервуара с перегретой ЛВЖ, ГЖ или сжиженным углеводородным газом (далее – СУГ) в очаге пожара, определяются по формулам:

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(0,8 \cdot \frac{m_{\text{ГП}}^{0,33}}{r} + 3 \cdot \frac{m_{\text{ГП}}^{0,66}}{r^2} + 5 \cdot \frac{m_{\text{ГП}}}{r^3} \right); \quad (\text{ПЗ.47})$$

$$I^+ = 123 \cdot \frac{m_{\text{ГП}}^{0,66}}{r}; \quad (\text{ПЗ.48})$$

$$m_{\text{ГП}} = \left(\frac{E_{\text{eff}}}{4,52} \right) \cdot 10^{-6}, \quad (\text{ПЗ.49})$$

где r – расстояние от центра резервуара, м; E_{eff} – эффективная энергия взрыва, рассчитываемая по формуле

$$E_{eff} = k \cdot C_p \cdot m \cdot (T - T_b); \quad (\text{П3.50})$$

k – доля энергии волны давления (допускается принимать равной 0,5); C_p – удельная теплоемкость жидкости (допускается принимать равной 2000 Дж/(кг·К)); m – масса ЛВЖ, ГЖ или СУГ, содержащаяся в резервуаре, кг; T – температура жидкой фазы, К; T_b – нормальная температура кипения, К.

При наличии в резервуаре предохранительного устройства (клапана или мембраны) величина T вычисляется по формуле

$$T = \frac{B}{A - \lg P_{val}} - C_A + 273,15, \quad (\text{П3.51})$$

где P_{val} – давление срабатывания предохранительного устройства; A , B , C_A – константы уравнения зависимости давления насыщенных паров жидкости от температуры (константы Антуана), определяемые по справочной литературе. Единицы измерения P_{val} (кПа, мм рт. ст., атм) должны соответствовать используемым константам Антуана.

VI. Интенсивность теплового излучения

В настоящем разделе приводятся методы расчета интенсивности теплового излучения от пожара пролива, огненного шара, а также радиуса воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака в случае пожара-вспышки.

Пожар пролива

Интенсивность теплового излучения q , кВт/м², для пожара пролива ЛВЖ, ГЖ, сжиженного природного газа (далее – СПГ) или СУГ определяется по формуле

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \quad (\text{П3.52})$$

где E_f – среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт/м²; F_q – угловой коэффициент облученности; τ – коэффициент пропускания атмосферы.

Значение E_f принимается на основе имеющихся экспериментальных данных или по таблице П3.4.

При отсутствии данных для нефти и нефтепродуктов допускается величину E_f , кВт/м², определять по формуле

$$E_f = 140 \cdot e^{-0,12 \cdot d} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12 \cdot d}), \quad (\text{П3.53})$$

где d – эффективный диаметр пролива, м.

Таблица П3.4

Среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени в зависимости от диаметра очага и удельная массовая скорость выгорания для некоторых жидких углеводородных топлив

Топливо	E_f , кВт/м ² , при d , м					m' , кг/(м ² ·с)
	10	20	30	40	50	
СПГ	220	180	150	130	120	0,08
СУГ (пропан-бутан)	80	63	50	43	40	0,1
Бензин	60	47	35	28	25	0,06
Дизельное топливо	40	32	25	21	18	0,04

Примечание. Для диаметров очага менее 10 м или более 50 м следует принимать E_f такой же, как и для очагов диаметром 10 и 50 м соответственно.

При отсутствии данных для однокомпонентных жидкостей допускается величину E_f , кВт/м², определять по формуле

$$E_f = \frac{0,4 \cdot m' \cdot H_{\text{СТ}}}{\left(1 + 4 \cdot \frac{L}{d}\right)}, \quad (\text{П3.53.1})$$

где m' — удельная массовая скорость выгорания, кг/(м²·с); $H_{\text{СТ}}$ — удельная теплота сгорания, кДж/кг; L — длина пламени, м.

При отсутствии данных для однокомпонентных жидкостей допускается величину m' , кг/(м²·с), определять по формуле

$$m' = \frac{0,001 \cdot H_{\text{СТ}}}{L_g + C_p(T_b - T_a)}, \quad (\text{П3.53.2})$$

где L_g — удельная теплота испарения жидкости, кДж/кг; C_p — удельная теплоемкость жидкости, кДж/(кг·К); T_b — температура кипения жидкости при атмосферном давлении, К; T_a — температура окружающей среды, К.

Для многокомпонентных смесей жидкостей допускается определение значений E_f и m' по компонентам, для которых величины E_f и m' максимальны.

Угловой коэффициент облученности F_q определяется по формуле

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}, \quad (\text{П3.54})$$

где F_V , F_H — факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, определяемые для площадок, расположенных в 90° секторе в направлении наклона пламени, по следующим формулам:

$$F_v = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \operatorname{arctg} D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos \theta}{C} \cdot \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \operatorname{arctg} \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] \right\}, \quad (\text{П3.55})$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin \theta}{C} \cdot \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \operatorname{arctg} \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot (b+1 + a \cdot b \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) \right\}, \quad (\text{П3.56})$$

$$a = \frac{2 \cdot L}{d}, \quad (\text{П3.57})$$

$$b = \frac{2 \cdot X}{d}, \quad (\text{П3.57.1})$$

$$A = \sqrt{(a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot a \cdot (b+1) \cdot \sin \theta)}, \quad (\text{П3.57.2})$$

$$B = \sqrt{(a^2 + (b-1)^2 - 2 \cdot a \cdot (b-1) \cdot \sin \theta)}, \quad (\text{П3.57.3})$$

$$C = \sqrt{(1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2 \theta)}, \quad (\text{П3.57.4})$$

$$D = \sqrt{\left(\frac{b-1}{b+1} \right)}, \quad (\text{П3.57.5})$$

$$E = \frac{a \cdot \cos \theta}{b - a \cdot \sin \theta}, \quad (\text{П3.57.6})$$

$$F = \sqrt{(b^2 - 1)}, \quad (\text{П3.57.7})$$

где X – расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м; d – эффективный диаметр пролива, м; L – длина пламени, м; θ – угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра.

Для площадок, расположенных вне указанного сектора, а также в случаях отсутствия ветра факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок рассчитываются по формулам 3.55–3.57.7 и 3.59.1, принимается $\theta = 0$.

Эффективный диаметр пролива d , м, рассчитывается по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}, \quad (\text{П3.58})$$

где F – площадь пролива, м².

Длина пламени L , м, определяется по формулам:

– при $u_* \geq 1$

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21}, \quad (\text{П3.59})$$

– при $u_* < 1$

$$L = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61}, \quad (\text{П3.59.1})$$

где

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}}; \quad (\text{П3.60})$$

m' – удельная массовая скорость выгорания топлива, кг/(м²·с);
 ρ_a – плотность окружающего воздуха, кг/м³; ρ_{Π} – плотность насыщенных паров топлива при температуре кипения, кг/м³; w_0 – скорость ветра, м/с; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения.

Угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра θ рассчитывается по формуле

$$\cos \theta = \begin{cases} 1, & \text{при } u_* < 1 \\ u_*^{-0,5}, & \text{при } u_* \geq 1 \end{cases}. \quad (\text{П3.61})$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ для пожара пролива определяется по формуле

$$\tau = \exp[-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)]. \quad (\text{П3.62})$$

Огненный шар

Интенсивность теплового излучения q , кВт/м², для огненного шара определяется по формуле (П3.52).

Величина E_f высчитывается на основе имеющихся экспериментальных данных. Допускается принимать $E_f = 350$ кВт/м².

Значение F_q определяется по формуле

$$F_q = \frac{D_s^2}{4 \cdot (H^2 + r^2)}, \quad (\text{П3.63})$$

где H – высота центра огненного шара, м; D_s – эффективный диаметр огненного шара, м; r – расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром огненного шара, м.

Эффективный диаметр огненного шара D_s , м, определяется по формуле

$$D_s = 6,48 \cdot m^{0,325}, \quad (\text{ПЗ.64})$$

где m – масса продукта, поступившего в окружающее пространство, кг.

Величину H допускается принимать равной D_s .

Время существования огненного шара t_s , с, определяется по формуле

$$t_s = 0,852 \cdot m^{0,26}. \quad (\text{ПЗ.65})$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ для огненного шара рассчитывается по формуле

$$\tau = \exp \left[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\sqrt{r^2 + H^2} - \frac{D_s}{2} \right) \right]. \quad (\text{ПЗ.66})$$

VII. Определение радиуса воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака в случае пожара-вспышки

При образовании паровоздушной смеси в незагроможденном технологическим оборудованием пространстве и его зажигании относительно слабым источником (например, искрой) сгорание этой смеси происходит, как правило, с небольшими видимыми скоростями пламени. При этом амплитуды волны давления малы и могут не приниматься во внимание при оценке поражающего воздействия. В этом случае реализуется так называемый пожар-вспышка, при котором зона поражения высокотемпературными продуктами сгорания паровоздушной смеси практически совпадает с максимальным размером облака продуктов сгорания (т. е. поражаются в основном объекты, попадающие в это облако). Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания паровоздушного облака при пожаре-вспышке R_F определяется формулой

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}} \quad (\text{ПЗ.67})$$

где $R_{\text{НКПР}}$ – горизонтальный размер взрывоопасной зоны, определяемый по [разделу III настоящего приложения](#).

VIII. Испарение жидкости и СУГ из пролива

Интенсивность испарения W , кг/(м²·с), для ненагретых жидкостей определяется по формуле

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H, \quad (\text{ПЗ.68})$$

где η – коэффициент, принимаемый для помещений по таблице ПЗ.5 в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения. При проливе жидкости вне помеще-

ния допускается принимать $\dot{\eta} = 1$; M – молярная масса жидкости, кг/кмоль; P_H – давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, кПа.

При выбросе СУГ из оборудования, в котором жидкость находится под давлением, часть продукта за счет внутренней энергии мгновенно испаряется, образуя с капельками жидкости облако аэрозоля. Массовая доля мгновенно испарившейся жидкости δ определяется по формуле

$$\delta = 1 - \exp\left(-\frac{C_p \cdot (T_a - T_b)}{L_g}\right), \quad (\text{П3.69})$$

где C_p – удельная теплоемкость СУГ, Дж/(кг·К); T_a – температура окружающего воздуха, К; T_b – температура кипения СУГ при атмосферном давлении, К; L_g – удельная теплота парообразования СУГ, Дж/кг.

Таблица П3.5

Коэффициент η

Скорость воздушного потока, м/с	Значение коэффициента η при температуре t (°C) воздуха				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

Принимается, что при $\delta \geq 0,35$ вся масса жидкости, находящаяся в оборудовании, за счет взрывного характера испарения переходит в парокapельное облако.

При $\delta < 0,35$ оставшаяся часть жидкости испаряется с поверхности пролива за счет потока тепла от подстилающей поверхности и воздуха.

Интенсивность испарения жидкости W , кг/(м²·с), со свободной поверхности определяется по формуле

$$W = \frac{(\lambda_s \cdot C_s \cdot \rho_s)^{0,5} \cdot (T_o - T_b)}{L_g \cdot (\pi \cdot t)^{0,5}} + \frac{0,035 \cdot u^{0,8} \cdot \lambda_a \cdot (T_o - T_b)}{(u_a^{0,8} \cdot d^{0,2} \cdot L_g)}, \quad (\text{П3.70})$$

где λ_s – коэффициент теплопроводности материала, на поверхность которого разливается жидкость, Вт/(м·К); C_s – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К); ρ_s – плотность материала, кг/м³; T_o –

начальная температура материала, К; t – текущее время с момента начала испарения, с (но не менее 10 с); λ_a – коэффициент теплопроводности воздуха при температуре T_0 ; u – скорость воздушного потока над поверхностью испарения, м/с; d – характерный диаметр пролива, м; ν_a – кинематическая вязкость воздуха при T_0 , м²/с.

IX. Размеры факела при струйном горении

При струйном истечении сжатых горючих газов, паровой и жидкой фазы СУГ и СПГ, ЛВЖ и ГЖ под давлением возникает опасность образования диффузионных факелов.

Длина факела L_F , м, при струйном горении определяется по формуле

$$L_F = K \cdot G^{0,4}, \quad (\text{П3.71})$$

где G – расход продукта, кг/с; K – эмпирический коэффициент, который принимается равным 12,5 при истечении сжатых газов, равным 13,5 при истечении паровой фазы СУГ или СПГ, равным 15 при истечении жидкой фазы СУГ и СПГ, ЛВЖ и ГЖ под давлением.

Ширина факела D_F , м, при струйном горении рассчитывается по формуле

$$D_F = 0,15 \cdot L_F \quad (\text{П3.72})$$

При проведении оценки пожарной опасности горящего факела при струйном истечении сжатых горючих газов, паровой и жидкой фазы СУГ, СПГ, ЛВЖ и ГЖ под давлением допускается принимать следующее:

- зона непосредственного контакта пламени с окружающими объектами определяется размерами факела;
- длина факела L_F не зависит от направления истечения продукта и скорости ветра;
- наибольшую опасность представляют горизонтальные факелы, условную вероятность реализации которых следует принимать равной 0,67;
- поражение человека в горизонтальном факеле происходит в 30° секторе с радиусом, равным длине факела;
- воздействие горизонтального факела на соседнее оборудование, приводящее к его разрушению (каскадному развитию аварии), происходит в 30° секторе, ограниченном радиусом, равным L_F ;
- за пределами указанного сектора на расстояниях от L_F до $1,5 L_F$ тепловое излучение от горизонтального факела составляет 10 кВт/м²;
- тепловое излучение от вертикальных факелов может быть определено по формулам (П3.52, П3.54–П3.57.7 и П3.62), принимать $L = L_F$, $d = D_F$, $\theta = 0$, а E_f по формулам (П3.53–П3.53.2) или табли-

- це ПЗ.4 в зависимости от вида топлива. При отсутствии данных и невозможности рассчитать E_f по представленным формулам допускается эту величину принимать равной 200 кВт/м²;
- при истечении жидкой фазы СУГ или СПГ из отверстия с эквивалентным диаметром до 100 мм при мгновенном воспламенении происходит полное сгорание истекающего продукта в факеле без образования пожара пролива;
 - область возможного воздействия пожара-вспышки при струйном истечении совпадает с областью воздействия факела (30° сектор, ограниченный радиусом, равным L_f);
 - при мгновенном воспламенении струи газа возможность формирования волн давления допускается не учитывать.

Приложение № 4

Детерминированные и вероятностные критерии оценки поражающего действия волны давления и теплового излучения на людей

На объектах наиболее опасными поражающими факторами пожара являются волна давления и расширяющиеся продукты сгорания при различных режимах сгорания газо-, паро- или пылевоздушного облака, а также тепловое излучение пожаров.

Детерминированные критерии показывают значения параметров опасного фактора пожара, при которых наблюдается тот или иной уровень поражения людей.

При использовании детерминированных критериев условная вероятность поражения принимается равной 1, если значение критерия превышает предельно допустимый уровень, и равной 0, если значение критерия не превышает предельно допустимый уровень поражения людей.

Вероятностные критерии показывают, какова условная вероятность поражения людей при заданном значении опасного фактора пожара.

Ниже приведены некоторые критерии поражения людей перечисленными выше опасными факторами пожара.

I. Критерии поражения волной давления

Детерминированные критерии поражения людей, в том числе находящихся в здании, избыточным давлением при сгорании газо-, паро- или пылевоздушных смесей в помещениях или на открытом пространстве приведены в таблице П4.1.

Таблица П4.1

Детерминированные критерии поражения людей

Степень поражения	Избыточное давление, кПа
Полное разрушение зданий	100
50%-ное разрушение зданий	53
Средние повреждения зданий	28
Умеренные повреждения зданий (повреждение внутренних перегородок, рам, дверей и т. п.)	12
Нижний порог повреждения человека волной давления	5
Малые повреждения (разбита часть остекления)	3

В качестве вероятностного критерия поражения используется понятие пробит-функции. В общем случае пробит-функция P_r описывается формулой

$$P_r = a + b \cdot \ln S, \quad (\text{П4.1})$$

где a , b – константы, зависящие от степени поражения и вида объекта; S – интенсивность воздействующего фактора.

Соотношения между величиной P_r и условной вероятностью поражения человека приведены в таблице П4.2.

Таблица П4.2

Условная вероятность поражения, %	Величина пробит-функции P_r									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	–	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

При отсутствии в таблице П4.2 необходимых данных значение условной вероятности поражения человека $Q_{dij}(a)$ в зависимости от значения пробит-функции P_r определяется по формуле

$$Q_{di}(a) = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi} \int_{-\infty}^{Pr-5} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) \cdot dU. \quad (\text{П4.2})$$

Для воздействия волны давления на человека, находящегося вне здания, формулы для пробит-функции имеют вид:

$$P_r = 5,0 - 5,74 \cdot \ln S; \quad (\text{П4.3})$$

$$S = \frac{4,2}{\bar{P}} + \frac{1,3}{\bar{i}}; \quad (\text{П4.4})$$

$$\bar{P} = \frac{\Delta P}{P_0}; \quad (\text{П4.5})$$

$$\bar{i} = \frac{I^+}{P_0^{1/2} \cdot m^{1/3}}, \quad (\text{П4.6})$$

где m – масса тела человека (допускается принимать равной 70 кг), кг; ΔP – избыточное давление волны давления, Па; I^+ – импульс волн давления, Па·с; P_0 – атмосферное давление, Па.

Пробит-функции для разрушения зданий имеют вид:

– для тяжелых разрушений:

$$P_r = 5 - 0,26 \cdot \ln V; \quad (\text{П4.7})$$

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3}; \quad (\text{П4.8})$$

– для полного разрушения:

$$P_r = 5,0 - 0,22 \cdot \ln V; \quad (\text{П4.9})$$

$$V = \left(\frac{40000}{\Delta P}\right)^{7,4} + \left(\frac{460}{I^+}\right)^{11,3}. \quad (\text{П4.10})$$

При оценке условной вероятности поражения человека, находящегося в здании, следует использовать пробит-функцию, определяемую по формулам (П4.7)–(П4.8).

II. Критерии поражения тепловым излучением

При анализе воздействия теплового излучения следует различать случаи импульсного и длительного воздействия. В первом случае критерием поражения является доза излучения D (например, воздействие огненного шара), во втором – критическая интенсивность теплового излучения q_{CR} (например, воздействие пожара пролива).

Величины q_{CR} для воспламенения некоторых горючих материалов приведены в таблице П4.3, для различных степеней поражения человека – в таблице П4.4.

Таблица П4.3

Критическая интенсивность теплового излучения q_{CR}

Материалы	q_{CR} , кВт/м ²
Древесина (сосна влажностью 12 %)	13,9
Древесно-стружечные плиты (плотностью 417 кг/м ³)	8,3
Торф брикетный	13,2
Торф кусковой	9,8
Хлопок-волокно	7,5
Слоистый пластик	15,4
Стеклопластик	15,3
Пергамин	17,4
Резина	14,8
Уголь	35,0
Рулонная кровля	17,4
Картон серый	10,8
Декоративный бумажно-слоистый пластик	19,0–24,0
Металлопласт	24,0–27,0
Плита древесно-волокнистая	13,0
Плита древесно-стружечная	12,0
Плита древесно-стружечная с отделкой «Пропилен»	12,0
Плита древесно-волокнистая с лакокрасочным покрытием под ценные породы дерева	12,0–16,0
Кожа искусственная	17,9–20,0
Стеклопластик на полиэфирной основе	14,0
Лакокрасочные покрытия	25,0
Обои моющиеся ПВХ на бумажной основе	12,0
Линолеум ПВХ	10,0–12,0
Линолеум алкидный	10,0
Линолеум ПВХ на тканевой основе	6,0–12,0
Покрытие ковровое	4,0–6,0
Сено, солома (при минимальной влажности до 8 %)	7,0
Легковоспламеняющиеся, горючие и трудногорючие жидкости при температуре самовоспламенения, °С:	
300	12,1
350	15,5
400	19,9
500 и выше	28,0 и выше

Степень поражения человека и интенсивность излучения

Степень поражения	Интенсивность излучения, кВт/м ²
Без негативных последствий в течение длительного времени	1,4
Безопасно для человека в брезентовой одежде	4,2
Непереносимая боль через 20–30 с Ожог 1 степени через 15–20 с Ожог 2 степени через 30–40 с	7,0
Непереносимая боль через 3–5 с Ожог 1 степени через 6–8 с Ожог 2 степени через 12–16 с	10,5

Для поражения человека тепловым излучением величина пробит-функции описывается формулой

$$P_r = -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}), \quad (\text{П4.11})$$

где t – эффективное время экспозиции, с; q – интенсивность теплового излучения, кВт/м².

Величина эффективного времени экспозиции t определяется по формулам:

– для огненного шара:

$$t = 0,92 \cdot m^{0,303}; \quad (\text{П4.12})$$

– для пожара пролива:

$$t = t_0 + \frac{x}{u}, \quad (\text{П4.13})$$

где m – масса горючего вещества, участвующего в образовании огненного шара, кг; t_0 – характерное время, за которое человек обнаруживает пожар и принимает решение о своих дальнейших действиях, с (может быть принято равным 5); x – расстояние от места расположения человека до безопасной зоны (зона, где интенсивность теплового излучения меньше 4 кВт/м²); u – средняя скорость движения человека к безопасной зоне, м/с (принимается равной 5 м/с).

Условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени пожара пролива или факела, принимается равной 1.

Для пожара-вспышки следует принимать, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературных продуктов сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

Методы определения времени от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара и расчетного времени эвакуации

I. Метод определения времени от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара

Время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара определяется путем выбора из полученных в результате расчетов значений критической продолжительности пожара минимального времени:

$$\tau_{\text{бл}} = \min \{ t_{KP}^T, t_{KP}^{\text{П.В}}, t_{KP}^{\text{O}_2}, t_{KP}^{\text{Т.Г}} \}. \quad (\text{П5.1})$$

Критическая продолжительность пожара по каждому из опасных факторов определяется как время достижения этим фактором критического значения на путях эвакуации на высоте 1,7 м от пола. Критические значения по каждому из опасных факторов составляют:

- по повышенной температуре – +70 °С;
- по тепловому потоку – 1400 Вт/м²;
- по потере видимости – 20 м;
- по пониженному содержанию кислорода – 0,226 кг·м⁻³;
- по каждому из токсичных газообразных продуктов горения – (СО₂ – 0,11 кг·м⁻³, СО – 1,16 · 10⁻³ кг·м⁻³, НСL – 23 · 10⁻⁶ кг·м⁻³).

Для описания термогазодинамических параметров пожара могут применяться три вида моделей: интегральные, зонные (зональные) и полевые.

Выбор конкретной модели расчета времени блокирования путей эвакуации осуществляется из следующих предпосылок:

- 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 (площадки обслуживания оборудования, внутренние этажерки и т. д.);
 - полевой метод:
- для помещений сложной геометрической конфигурации, а также помещений с большим количеством внутренних преград (например, многосветные пространства с системой галерей и примыкающих коридоров);
- для помещений, в которых один из геометрических размеров гораздо больше (меньше) остальных (тоннели, закрытые галереи 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.).

При рассмотрении сценариев, связанных со сгоранием газо-, паро- или пылевоздушной смеси в помещении категории А или Б, условная вероятность поражения человека в этом помещении принимается равной 1 при сгорании газо-, паро- или пылевоздушной смеси в этом помещении до завершения эвакуации людей и 0 после завершения эвакуации людей.

Для помещения очага пожара, удовлетворяющего критериям применения интегрального метода, критическую продолжительность пожара $t_{кр}^T$, с, по условию достижения каждым из опасных факторов пожара предельно допустимых значений в зоне пребывания людей (рабочей зоне) можно оценить по формулам:

– по повышенной температуре:

$$t_{кр}^T = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 + \frac{70 - t_o}{273 + t_o \cdot Z} \right] \right\}^{1/n}; \quad (П5.2)$$

– по потере видимости:

$$t_{кр}^{п.в} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[\left(1 - \frac{V \cdot \ln(1,05 \cdot \alpha \cdot E)}{l_{пр} \cdot B \cdot D_m \cdot Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}; \quad (П5.3)$$

– по пониженному содержанию кислорода:

$$t_{\text{кр}}^{\text{O}_2} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[\left(1 - \frac{0,044}{\left(\frac{B \cdot I_{\text{O}_2}}{V} + 0,27 \right) \cdot Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}; \quad (\text{П5.4})$$

– по каждому из газообразных токсичных продуктов горения:

$$t_{\text{кр}}^{\text{т.г}} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[\left(1 - \frac{V \cdot X}{B \cdot L \cdot Z} \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}; \quad (\text{П5.5})$$

$$B = \frac{353 \cdot C_p \cdot V}{(1 - \varphi) \cdot \eta \cdot Q}, \quad (\text{П5.6})$$

где t_0 – начальная температура воздуха в помещении, °С; B – размерный комплекс, зависящий от теплоты сгорания материала и свободного объема помещения, кг; n – показатель степени, учитывающий изменение массы выгорающего материала во времени; A – размерный параметр, учитывающий удельную массовую скорость выгорания горючего вещества и площадь пожара, кг/сⁿ; Z – безразмерный параметр, учитывающий неравномерность распределения опасного фактора пожара по высоте помещения; Q – низшая теплота сгорания материала, МДж/кг; C_p – удельная изобарная теплоемкость воздуха, МДж/кг; φ – коэффициент теплопотерь; η – коэффициент полноты горения; V – свободный объем помещения, м³; α – коэффициент отражения предметов на путях эвакуации; E – начальное освещение, лк; $l_{\text{пр}}$ – предельная дальность видимости в дыму, м; D_m – дымообразующая способность горящего материала, Нп·м²/кг; L – удельный выход токсичных газов при сгорании 1 кг горючего вещества, кг/кг; X – предельно допустимое содержание токсичного газа в помещении, кг/м³; Lo_2 – удельный расход кислорода, кг/кг.

Свободный объем помещения соответствует разности между геометрическим объемом и объемом оборудования или предметов, находящихся внутри. При отсутствии данных допускается свободный объем принимать равным 80 % геометрического объема помещения.

Если под знаком логарифма получается отрицательное число, то данный опасный фактор пожара может не учитываться.

Параметр Z определяется по формуле

$$Z = \frac{h}{H} \cdot \exp\left(1,4 \cdot \frac{h}{H}\right), \text{ при } H \leq 6 \text{ м}, \quad (\text{П5.7})$$

где h – высота рабочей зоны, м; H – высота помещения, м.

Высота рабочей зоны определяется по формуле

$$h = h_{\text{пл}} + 1,7 - 0,5 \cdot \delta, \quad (\text{П5.8})$$

где $h_{\text{пл}}$ – высота площадки, на которой находятся люди, над полом помещения, м; δ – разность высот пола, равная нулю при горизонтальном его расположении, м.

Следует иметь в виду, что наибольшей опасности при пожаре подвергаются люди, находящиеся на более высокой отметке. При определении необходимого времени эвакуации следует ориентироваться на наиболее высоко расположенные в помещении участки возможного пребывания людей.

Параметры A и n рассчитываются следующим образом:

– для случая горения жидкости с установившейся скоростью при $n = 1$:

$$A = \Psi_F \cdot F; \quad (\text{П5.9})$$

– для случая горения жидкости с неустановившейся скоростью при $n = 1,5$:

$$A = \frac{0,67 \cdot \Psi_F \cdot F}{\sqrt{\tau_{\text{СТ}}}}; \quad (\text{П5.10})$$

– для случая кругового распространения пламени по поверхности горючего вещества или материала при $n = 3$:

$$A = 1,05 \cdot \Psi_F \cdot v^2; \quad (\text{П5.11})$$

– для вертикальной или горизонтальной поверхности горения в виде прямоугольника, одна из сторон которого увеличивается в двух направлениях за счет распространения пламени при $n = 2$:

$$A = \Psi_F \cdot v \cdot b, \quad (\text{П5.12})$$

где F – площадь пролива жидкости; Ψ_F – удельная массовая скорость выгорания вещества, кг/(м²·с); $\tau_{\text{СТ}}$ – время установления стационарного режима горения жидкости, с; v – линейная скорость распространения пламени, м/с; b – перпендикулярный к направлению движения пламени размер зоны горения, м.

Случай факельного горения в помещении может рассматриваться как горение жидкости с установившейся скоростью с параметром A , равным массовому расходу истечения горючего вещества из оборудованной, и показателем степени $n = 1$.

При отсутствии специальных требований значения α и E принимаются равными 0,3 и 50 лк соответственно, а $l_{\text{ПР}}$ равным 20 м.

При расположении людей на различных по высоте площадках критическую продолжительность пожара следует определять для каждой площадки.

II. Метод определения расчетного времени эвакуации

Расчетное время эвакуации людей t_p из помещений и зданий устанавливают по расчету времени движения одного или нескольких людских потоков через эвакуационные выходы от наиболее удаленных мест размещения людей непосредственно наружу или в безопасную зону.

При расчете весь путь движения людского потока подразделяют на участки (проход, коридор, дверной проем, лестничный марш, тамбур) длиной l_i и шириной δ_i . Начальными участками являются проходы между рабочими местами, оборудованием, рядами кресел и т. п. При определении расчетного времени эвакуации учитывается пропускная способность всех имеющихся в помещениях, на этажах и в здании эвакуационных выходов.

При определении расчетного времени длину и ширину каждого участка пути эвакуации для проектируемых зданий и сооружений принимают по проекту, а для существующих – по факту. Длину пути по лестничным маршам, а также по пандусам измеряют по длине марша. Длину пути в дверном проеме принимают равной нулю. Проем, расположенный в стене толщиной более 0,7 м, а также тамбур следует считать самостоятельными участками горизонтального пути, имеющими конечную длину l_i .

Расчетное время эвакуации людей t_p следует определять как сумму времени движения людского потока по отдельным участкам пути t_i по формуле

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i, \quad (\text{П5.13})$$

где t_1 – время движения людского потока на первом (начальном) участке, мин; t_2, t_3, \dots, t_i – время движения людского потока на каждом из следующих после первого участка пути, мин.

Время движения людского потока по первому участку пути t_1 , мин, определяется по формуле

$$t_1 = \frac{l_1}{v_1}, \quad (\text{П5.14})$$

где l_1 – длина первого участка пути, м; v_1 – скорость движения людского потока по горизонтальному пути на первом участке, м/мин (определяют по таблице П5.1 в зависимости от плотности D).

Плотность однородного людского потока на первом участке пути D_1 вычисляется по формуле

$$D_1 = \frac{N_1 \cdot f}{l_1 \cdot \delta_1}, \quad (\text{П5.15})$$

где N_1 – число людей на первом участке, чел; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, m^2 , принимаемая равной 0,125; δ_1 – ширина первого участка пути, м.

Скорость v_1 движения людского потока на участках пути, следующих после первого, принимают по таблице П5.1 в зависимости от интенсивности движения людского потока по каждому из этих участков пути, которая определяется для всех участков пути, в том числе и для дверных проемов, по формуле

$$q_1 = \frac{q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (\text{П5.16})$$

где δ_i, δ_{i-1} – ширина рассматриваемого i -го и предшествующего ему участка пути, м; q_i, q_{i-1} – интенсивности движения людского потока по рассматриваемому i -му и предшествующему участкам пути, м/мин.

Таблица П5.1

Интенсивность и скорость движения людского потока на разных участках путей эвакуации в зависимости от плотности

Плотность потока D , m^2/m^2	Горизонтальный путь		Дверной проем, интенсивность q , м/мин	Лестница вниз		Лестница вверх	
	Скорость v , м/мин	Интенсивность q , м/мин		Скорость v , м/мин	Интенсивность q , м/мин	Скорость v , м/мин	Интенсивность q , м/мин
0,01	100	1,0	1,0	100	1,0	60	0,6
0,05	100	5,0	5,0	100	5,0	60	3,0
0,10	80	8,0	8,7	95	9,5	53	5,3
0,20	60	12,0	13,4	68	13,6	40	8,0
0,30	47	14,1	16,5	52	15,6	32	9,6
0,40	40	16,0	18,4	40	16,0	26	10,4
0,50	33	16,5	19,6	31	15,6	22	11,0
0,60	28	16,3	19,05	24,5	14,1	18,5	10,75
0,70	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,80	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,90 и более	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

Примечание. Интенсивность движения в дверном проеме при плотности потока 0,9 и более, равная 8,5 м/мин, установлена для дверного проема шириной 1,6 м и более, а при дверном проеме меньшей ширины интенсивность движения следует определять по формуле $q_i = 2,5 + 3,75\delta$.

Интенсивность движения людского потока на первом участке пути q_1 определяют по таблице П5.1 по значению D_1 , установленному по формуле (П5.15).

Если значение q_i , определяемое по формуле (П5.16), меньше или равно q_{\max} , то время движения по участку пути t_i , мин, равно:

$$t_i = \frac{l_i}{v_i}, \quad (\text{П5.17})$$

при этом значения q_{\max} , м/мин, следует принимать равными:

- 16,5 – для горизонтальных путей;
- 19,6 – для дверных проемов;
- 16,0 – для лестницы вниз;
- 11,0 – для лестницы вверх.

Если значение q_i , определенное по формуле (П5.16), больше q_{\max} , то ширину δ_i данного участка пути следует увеличивать на такое значение, при котором соблюдается условие:

$$q_i \leq q_{\max}. \quad (\text{П5.18})$$

При невозможности выполнения условия (П5.18) интенсивность и скорость движения людского потока по участку i устанавливают по таблице П5.1 при значении $D = 0,9$ и более. При этом следует учитывать время задержки движения людей из-за образовавшегося скопления.

Время задержки $t_{\text{зад}}$ движения на участке i из-за образовавшегося скопления людей на границе с последующим участком $(i + 1)$ определяется по формуле

$$t_{\text{зад}}^i = N \cdot f \cdot \left(\frac{1}{q_D \cdot \delta_{i+1}} - \frac{1}{q_i \cdot \delta_i} \right), \quad (\text{П5.19})$$

где N – количество людей, чел; f – площадь горизонтальной проекции, м²; q_D – интенсивность движения через участок $(i + 1)$ при плотности 0,9 и более, м/мин; δ_{i+1} – ширина участка, м, при вхождении на который образовалось скопление людей; q_i – интенсивность движения на участке i , м/мин; δ_i – ширина предшествующего участка i , м.

Время существования скопления $t_{\text{СК}}$ на участке i вычисляется по формуле

$$t_{\text{СК}} = \frac{N \cdot f}{q_D \cdot b_{i+1}}. \quad (\text{П5.20})$$

Расчетное время эвакуации по участку i , в конце которого на границе с участком $(i + 1)$ образовалось скопление людей, равно времени существования скопления $t_{\text{СК}}$. Расчетное время эвакуации по участку i допускается определять по формуле

$$t_i = \frac{l_i}{v_i} + t_{\text{зад}}. \quad (\text{П5.21})$$

При слиянии в начале участка i двух и более людских потоков (рис. П5.1) интенсивность движения q_i , м/мин, определяется по формуле

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (\text{П5.22})$$

где q_{i-1} — интенсивность движения людских потоков, сливающихся в начале участка i , м/мин; δ_{i-1} — ширина участков пути слияния, м; δ_i — ширина рассматриваемого участка пути, м.

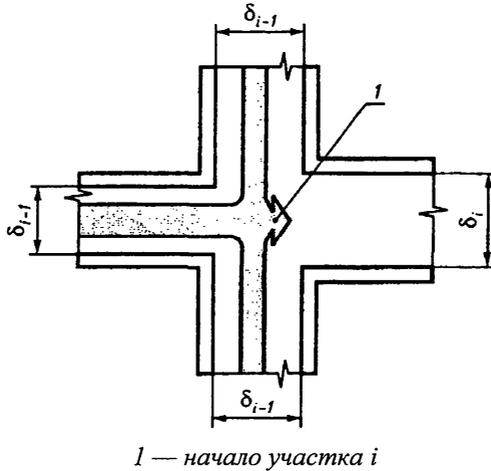


Рис. П5.1. Слияние людских потоков

Если значение q_i , найденное по формуле (П5.22), больше q_{max} , то ширину δ_i данного участка пути следует увеличивать на такое значение, чтобы соблюдалось условие (П5.18). В этом случае время движения по участку i определяется по формуле (П5.17).

*Рекомендуемый метод
определения удельных частот различных типов разгерметизации
магистрального трубопровода*

Удельная частота разгерметизации линейной части магистрального трубопровода определяется следующим образом:

а) на основе статистических данных находится базовая частота разгерметизации $\lambda_{\text{СР}}$. При отсутствии данных для вновь проектируемых магистральных трубопроводов допускается $\lambda_{\text{СР}}$ принимать равной:

- $1,4 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ — для магистральных газопроводов;
- $2,7 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ — для магистральных нефтепроводов;

б) выделяются рассматриваемые при проведении расчетов типы разгерметизации:

- для магистральных газопроводов:
 - $j = 1$ — проколы (трещины, точечные отверстия), определяемые как отверстия с диаметром 20 мм;
 - $j = 2$ — отверстия с диаметром, равным 10 % от диаметра магистрального трубопровода;
 - $j = 3$ — разрыв, определяемый как образование отверстия размером, равным диаметру магистрального трубопровода;
- для магистральных нефтепроводов:
 - $j = 1$ — «свищи» — отверстия с характерными размерами $0,3 \cdot L_p / D$ (L_p — характерный размер продольной трещины; D — условный диаметр магистрального трубопровода), площадь дефектного отверстия — $0,0072S_0$ (S_0 — площадь поперечного сечения магистрального трубопровода);
 - $j = 2$ — трещины, характерный размер $0,75 \cdot L_p / D$, площадь дефектного отверстия — $0,0448S_0$;
 - $j = 3$ — «гильотинный» разрыв, характерный размер $0,75 \cdot L_p / D$, площадь дефектного отверстия — $0,179S_0$.

Допускается при соответствующем обосновании учитывать и другие типы разгерметизации;

в) рассматриваются шесть причин разгерметизации ($i = 1 \dots 6$ — таблица Пб.1);

Таблица Пб.1

Среднестатистическая относительная доля аварий, вызванных данной причиной, на магистральных трубопроводах

Причина		Среднестатистическая относительная доля аварий, вызванных данной причиной, $f_{jcp}(m)$, %			
		проколы (трещины), точечные отверстия	отверстие	разрыв	все-го
		$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	
$i = 1$	Внешнее воздействие	13,2/16,8	26,6/26,2	9,7/6,5	49,5
$i = 2$	Брак строительства, дефект материалов	10,6/11,3	4,7/4,6	1,2/0,6	16,5
$i = 3$	Коррозия	15,2/15,2	0,2/0,2	0/0	15,4
$i = 4$	Движение грунта, вызванное природными явлениями	1,8/2,2	2,2/2,2	3,3/2,9	7,3
$i = 5$	Ошибки оператора	3,0/3,0	1,6/1,6	0/0	4,6
$i = 6$	Прочие и неизвестные причины	6,5/6,5	0,2/0,2	0/0	6,7
	Итого	50,3/55,0	35,51/35,0	14,2/10,0	100

Примечание. В числителе приведены значения для магистральных газопроводов, в знаменателе – магистральных нефтепроводов.

г) удельная частота разгерметизации линейной части магистрального трубопровода для j -го типа разгерметизации на участке m трубопровода определяется по формуле

$$\lambda_j(m) = \lambda_{CP} \sum_{i=1}^6 f_{ij}(m) / 100, \quad (\text{Пб.1})$$

где λ_{CP} – базовая частота разгерметизации магистрального трубопровода, год⁻¹; $f_{ij}(m)$ – относительная доля i -й причины разгерметизации для j -го типа разгерметизации на участке m магистрального трубопровода;

д) величины f_{ij} для различных типов разгерметизации для различных участков магистрального трубопровода определяются по формулам:

$$f_{1j} = f_{1jcp} \cdot k_{тс} \cdot k_{зт} \cdot k_{ннб} \cdot k_{пер1}; \quad (\text{Пб.2})$$

$$f_{2j} = f_{2jcp} \cdot k_{бд}; \quad (\text{Пб.3})$$

$$f_{3j} = f_{3jcp} \cdot k_{ктс} \cdot k_{кпз}; \quad (\text{Пб.4})$$

$$f_{4j} = f_{4jcp} \cdot k_{дгд} \cdot k_{пер2}; \quad (\text{П6.5})$$

$$f_{5j} = f_{5jcp} \cdot k_{оп}; \quad (\text{П6.6})$$

$$f_{6j} = f_{6jcp}, \quad (\text{П6.7})$$

где $k_{тс}$, $k_{зт}$, $k_{ннб}$, $k_{пер1}$, $k_{бд}$, $k_{кпз}$, $k_{дгд}$, $k_{пер2}$, $k_{оп}$ — поправочные коэффициенты, определяемые по таблице П6.2 с учетом технических характеристик магистрального трубопровода.

Таблица П6.2

Поправочные коэффициенты к среднестатистической относительной доли аварий

Поправочный коэффициент	Значение поправочного коэффициента
Поправочный коэффициент $k_{тс}$, зависящий от толщины стенки трубопровода дельта (мм)	$k_{тс} = \exp[-0,275(\text{дельта}-6)]$
Поправочный коэффициент $k_{зт}$, зависящий от минимальной глубины заложения трубопровода (м): менее 0,8 м от 0,8 до 1 м более 1 м	$k_{зт} = 1$ $k_{зт} = 0,93$ $k_{зт} = 0,73$
Поправочный коэффициент $k_{ннб}$ для участков переходов, выполненных методом наклонно направленного бурения (далее — ННБ): на участках этих переходов вне этих участков	$k_{ннб} = 0$ $k_{ннб} = 1$
Поправочный коэффициент $k_{пер1}$ переходов через искусственные препятствия: на переходах через автодороги, железные дороги и инженерные коммуникации вне переходов либо на них предусмотрены защитные футляры (кожухи) из стальных труб с герметизацией межтрубного пространства	$k_{пер1} = 2$ $k_{пер1} = 1$
Поправочный коэффициент $k_{бд}$, учитывающий применение материалов и средств контроля при строительстве: для трубопроводов, построенных в соответствии с требованиями нормативных документов	$k_{бд} = 1$

Поправочный коэффициент	Значение поправочного коэффициента
при использовании улучшенных материалов и дополнительных средств контроля при строительстве и последующей эксплуатации трубопроводов	$k_{\text{бл}} = 0,07$
Поправочный коэффициент $k_{\text{ктс}}$, учитывающий влияние толщины стенки трубопровода (мм) на частоту разгерметизации по причине коррозии: менее 5 от 5 до 10 более 10	$k_{\text{ктс}} = 2$ $k_{\text{ктс}} = 1$ $k_{\text{ктс}} = 0,03$
Поправочный коэффициент $k_{\text{кпз}}$, учитывающий влияние применяемых систем защиты от коррозии: для трубопроводов, построенных в соответствии с требованиями нормативных документов; при использовании улучшенной системы защиты (тип и качество изоляционного покрытия, электрохимическая защита, внутритрубная диагностика и т. п.)	$k_{\text{кпз}} = 1$ $k_{\text{кпз}} = 0,16$
Поправочный коэффициент $k_{\text{дл}}$, зависящий от диаметра трубопровода D (мм)	$k_{\text{дл}} = \exp[-0,00156(D - 274)]$
Поправочный коэффициент $k_{\text{пер2}}$, учитывающий прохождение трассы трубопровода через водные преграды и заболоченные участки: для водных преград для заболоченных участков при отсутствии переходов либо выполненных методом ННБ	$k_{\text{пер2}} = 5$ $k_{\text{пер2}} = 2$ $k_{\text{пер2}} = 1$
Поправочный коэффициент $k_{\text{оп}}$, зависящий от диаметра трубопровода D (мм)	$k_{\text{оп}} = \exp[-0,004(D - 264)]$

Пример расчета пожарного риска для производственного здания

1. Анализ пожарной опасности объекта

Рассматривается одноэтажная контроллерная управления технологическими процессами на производстве [6].

В здании расположены:

- помещение контроллерной площадью $S = 72 \text{ м}^2$;
- помещение электрооборудования площадью $S = 44 \text{ м}^2$;
- коридор;
- тамбур.

Планы рассматриваемого здания представлены на рис. 2.1.

Требуется определить расчетные величины потенциального пожарного риска в помещениях рассматриваемого здания и индивидуального пожарного риска для персонала, обслуживающего здание. Для расчета значений потенциального риска рассматриваются сценарии проектных пожаров, по которым пожар может возникнуть в каждом из помещений здания.

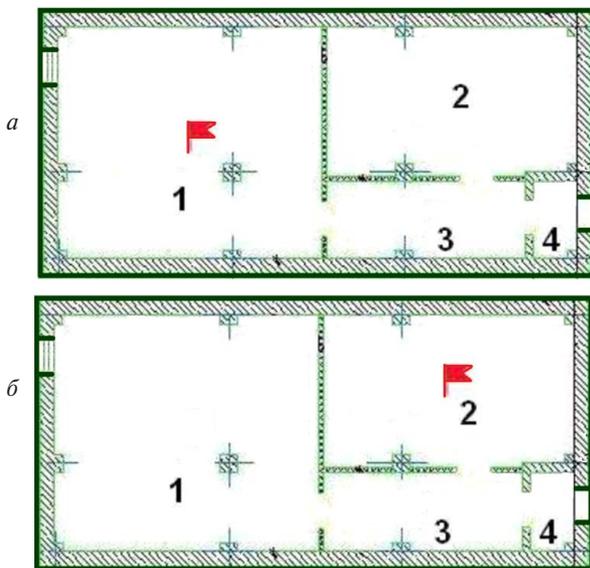


Рис. 2.1. План рассматриваемого здания с очагами пожара:
а – для сценария 1; *б* – для сценария 2; 1 – помещение контроллерной;
2 – помещение электрооборудования; 3 – коридор; 4 – тамбур

2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций

Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении контроллерной вычисляется с определенным запасом надежности согласно таблице П1.3 Методики как для электростанций

$$Q_j = 2,2 \cdot 10^{-5}/\text{м}^2,$$

что в расчете на всю площадь помещения дает:

$$Q_j = 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 72 \text{ м}^2 = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}.$$

Частота возникновения пожара в рассматриваемом помещении устанавливается с определенным запасом надежности согласно таблице П1.3 Методики как для электростанций

$$Q_j = 2,2 \cdot 10^{-5}/\text{м}^2,$$

что в расчете на всю площадь помещения дает:

$$Q_j = 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 44 \text{ м}^2 = 9,7 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

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

3.1. Выбор модели развития опасных факторов пожара

Исходя из положений Методики, для определения времени от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара допускается дополнительно использовать методы, содержащиеся в методиках определения расчетных величин пожарного риска, утвержденных в установленном порядке. Расчет распространения опасных факторов пожара производится с помощью зонной модели пожара в здании.

3.2. Выбор сценария развития пожара

Сценарий 1. Очаг пожара возникает в помещении контроллерной (поз. 1, рис. 2.1, а). Пламя распространяется по горючим материалам помещения (электротехнические материалы, трансформаторное масло), очаг пожара развивается по площади и мощности. Над очагом пожара формируется конвективная колонка. Конвективная колонка, поднимаясь над очагом пожара, достигает потолка и растекается по нему веерной струей. Формируется задымленная зона, которая распространяется по всему объему помещения. В результате распространения опасных факторов пожара блокируются эвакуационные выходы из помещения.

Параметры для расчета по зонной модели:

– низшая теплота сгорания	20,9 МДж/кг;
– линейная скорость пламени	0,0125 м/с;
– удельная скорость выгорания	0,0076 кг/м ² ·с;
– дымообразующая способность	327 Нп·м ² /кг;
– потребление кислорода O ₂	1,95 кг/кг;
– коэффициент полноты сгорания	0,95.

Выделение газа:

– углекислого газа CO ₂	0,375 кг/кг;
– угарного газа СО	0,0556 кг/кг;
– хлористого водорода HCl	0,0054 кг/кг.

Сценарий 2. Очаг пожара возникает в помещении электрооборудования (поз. 2, рис. 2.1, б). Пламя распространяется по горючим материалам помещения (электротехнические материалы, карболит, текстолит), очаг пожара развивается по площади и мощности. Над очагом пожара формируется конвективная колонка. Конвективная колонка, поднимаясь над очагом пожара, достигает потолка и растекается по нему веерной струей. Формируется задымленная зона, которая распространяется по всему объему помещения. В результате распространения опасных факторов пожара блокируются эвакуационные выходы из помещения.

Параметры для расчета по зонной модели:

– низшая теплота сгорания	20,9 МДж/кг;
– линейная скорость пламени	0,0125 м/с;
– удельная скорость выгорания	0,00760 кг/м ² ·с;
– дымообразующая способность	327 Нп·м ² /кг;
– потребление кислорода O ₂	1,95 кг/кг;
– коэффициент полноты сгорания	0,95.

Выделение газа:

– углекислого газа CO ₂	0,375 кг/кг;
– угарного газа СО	0,0556 кг/кг;
– хлористого водорода HCl	0,0054 кг/кг.

3.3. Расчет времени блокирования эвакуационных выходов

В таблицах 2.1–2.4 приведены результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещениях рассматриваемого здания в соответствии с зональным методом.

Таблица 2.1

Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении контроллерной (сценарий 1, поз. 1)

Параметр	Ед. изм.	Значение
Высота	м	1,7
Время блокирования	с	104
По повышенной температуре	с	Не достигается в течение 1800 с
По потере видимости	с	104
По пониженному содержанию кислорода	с	104
По X_{CO_2}	с	Не достигается в течение 1800 с
По X_{CO}	с	189
По X_{HCl}	с	301

Таблица 2.2

Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении электрооборудования (сценарий 1, поз. 2)

Параметр	Ед. изм.	Значение
Высота	м	1,7
Время блокирования	с	319
По повышенной температуре	с	Не достигается в течение 1800 с
По потере видимости	с	319
По пониженному содержанию кислорода	с	Не достигается в течение 1800 с
По X_{CO_2}	с	Не достигается в течение 1800 с
По X_{CO}	с	986
По X_{HCl}	с	1281

Таблица 2.3

Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении контроллерной (сценарий 2, поз. 1)

Параметр	Ед. изм.	Значение
Высота	м	1,7
Время блокирования	с	347
По повышенной температуре	с	Не достигается в течение 1800 с
По потере видимости	с	347

Параметр	Ед. изм.	Значение
По пониженному содержанию кислорода	с	Не достигается в течение 1800 с
По X_{CO_2}	с	Не достигается в течение 1800 с
По X_{CO}	с	964
По X_{HCl}	с	1313

Таблица 2.4

Результаты расчета времени блокирования эвакуационных выходов в помещении электрооборудования (сценарий 2, поз. 2)

Параметр	Ед. изм.	Значение
Высота	м	1,7
Время блокирования	с	72
По повышенной температуре	с	1008
По потере видимости	с	72
По пониженному содержанию кислорода	с	72
По X_{CO_2}	с	Не достигается в течение 1800 с
По X_{CO}	с	133
По X_{HCl}	с	206

4. Анализ наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий, сооружений и строений на производственном объекте

Принимаем вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого здания $D_{ij} = 0$.

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

Сценарий 1. Расчетное время эвакуации из помещения контроллерной (поз. 1) составляет $t_{pij} = 0,1$ мин = 6 с. Время от начала пожара до начала эвакуации людей $t_{н.эij}$ принимаем как для помещения очага пожара равным 0 с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет $P_{э.пij} = 0,999$, так как выполнено условие $t_{pij} + t_{н.эij} = 6$ с = $0,8 \cdot t_{блj} = 0,8 \cdot 104 = 83,2$ с. Принимаем вероятность выхода людей, находящихся в рассматриваемом помещении $P_{л.виj}$, через аварийные выходы равной $P_{л.виj} = 0,03$. Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении $P_{эij}$, равна

$$P_{эij} = 1 - (1 - P_{э.пij}) \cdot (1 - P_{д.вij}) = 0,999.$$

В результате условная вероятность поражения человека Q_{dij} в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара составляет

$$Q_{dij} = (1 - P_{эij}) \cdot (1 - D_{ij}) = 0,001.$$

Расчетное время эвакуации из помещения электрооборудования (поз. 2) составляет $t_{pij} = 3$ с. Время от начала пожара до начала эвакуации людей $t_{н.эij}$ принимаем 30 с. Вероятность эвакуации по эвакуационным путям составляет $P_{э.пij} = 0,999$, так как выполнено условие $t_{pij} + t_{н.эij} = 33 \text{ с} \leq 0,8 \cdot t_{бlij} = 0,8 \cdot 319 = 255 \text{ с}$. Принимаем вероятность выхода людей, находящихся в рассматриваемом помещении $P_{д.вij}$, через аварийные выходы равной $P_{д.вij} = 0,03$. Таким образом, вероятность эвакуации людей, находящихся в рассматриваемом помещении $P_{эij}$, равна

$$P_{эij} = 1 - (1 - P_{э.пij}) \cdot (1 - P_{д.вij}) = 0,999.$$

В результате условная вероятность поражения человека Q_{dij} в рассматриваемом помещении при реализации данного сценария пожара составляет

$$Q_{dij} = (1 - P_{эij}) \cdot (1 - D_{ij}) = 0,001.$$

Сценарий 2. Просчитываем все величины аналогичным образом.

Результаты всех вычислений представлены в таблицах 2.5 и 2.6.

Таблица 2.5

Вероятность эвакуации по эвакуационным путям для сценария 1

Помещение	Расч. время эвакуации t_{pij} , с	Время начала эвакуации $t_{н.эij}$, с	Проверочное условие для расчета вероятности эвакуации $t_{pij} + t_{н.эij} \leq 0,8 \cdot t_{бlij}$	Вероятность эвакуации $P_{э.пij}$
Контроллерная	6	0	$6 \text{ с} \leq 0,8 \cdot 104 = 83,2 \text{ с}$	0,999
Помещение электрооборудования	3	30	$30 + 3 = 33 \text{ с} \leq 0,8 \cdot 319 = 255 \text{ с}$	

Таблица 2.6

Вероятность эвакуации по эвакуационным путям для сценария 2

Помещение	Расч. время эвакуации t_{pij} , с	Время начала эвакуации $t_{н.эij}$, с	Проверочное условие для расчета вероятности эвакуации $t_{pij} + t_{н.эij} \leq 0,8 \cdot t_{бlij}$	Вероятность эвакуации $P_{э.lij}$
Контроллерная	6	30	$6 + 30 = 36 \text{ с} \leq 0,8 \cdot 347 = 278 \text{ с}$	0,999
Помещение электрооборудования	3	0	$3 \text{ с} \leq 0,8 \cdot 72 = 58 \text{ с}$	

6. Определение расчетных величин индивидуальных и социальных пожарных рисков на производственном объекте

6.1. Потенциальный пожарный риск

Сценарий 1. Вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении контроллерной от данного сценария пожара рассчитаем по формуле

$$P_{ij} = Q_j \cdot Q_{dij} = 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,001 = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Сценарий 2. Вклад в потенциальный пожарный риск в рассматриваемом помещении электрооборудования от данного сценария пожара рассчитаем по формуле

$$P_{ij} = Q_j \cdot Q_{dij} = 9,7 \cdot 10^{-4} \cdot 0,001 = 9,7 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Итоговый потенциальный пожарный риск определим

$$P_i = 1,6 \cdot 10^{-6} + 0,97 \cdot 10^{-6} = 2,57 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Таблица 2.7

Результаты определения потенциального пожарного риска для помещения контроллерной

№ сценария	Наименование помещения, позиция	Потенциальный пожарный риск по сценарию, год ⁻¹	Итоговый потенциальный пожарный риск, год ⁻¹
1	Помещение контроллерной (поз. 1)	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$2,57 \cdot 10^{-6}$
2		$9,7 \cdot 10^{-7}$	
1	Помещение электрооборудования (поз. 2)	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$2,57 \cdot 10^{-6}$
2		$9,7 \cdot 10^{-7}$	

6.2. Индивидуальный пожарный риск

Принимаем, что у каждого представителя той или иной профессии 200 рабочих дней в году. Принимаем, что в рассматриваемом здании работают представители следующих профессий, с указанием доли времени, которое они проводят в течение года в данном здании:

– оператор-контролер – 8 часов в рабочий день = 1600 ч/год = 0,18.

В табл. 2.8 приведены результаты определения индивидуального пожарного риска для работников в рассматриваемом здании.

Индивидуальный пожарный риск не превышает нормативное значение, так как выполняется условие

$$R_m^{\max} = 4,5 \cdot 10^{-7} \leq R_m^H = 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Таблица 2.8

Индивидуальный пожарный риск для работников в помещении контроллерной

Наименование профессии работника	Название помещения, позиция	Относительная доля времени пребывания работника в данном помещении в течение года	Индивидуальный пожарный риск работника в данном помещении, год ⁻¹	Итоговый индивидуальный риск, год ⁻¹
Оператор-контролер	Помещение контроллерной (поз. 101)	0,16	$0,4 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-7}$
	Помещение электрооборудования (поз. 102)	0,02	$0,05 \cdot 10^{-6}$	

Структура и цель практикума

Цель практикума – изучить нормативно-правовую базу и основные методы оценки расчетных величин пожарного риска на производственных объектах.

Практикум состоит из следующих практических работ.

1. Анализ пожарной опасности производственного объекта.
2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций на объекте.
3. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития на объекте.

4. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития на объекте.
5. Анализ наличия систем обеспечения пожарной безопасности на производственном объекте.
6. Определение расчетных величин индивидуального пожарного риска на производственном объекте.

В результате выполнения практикума студент должен *знать*:

- нормативно-правовую документацию, регламентирующую порядок и методы оценки пожарного риска;
- основные методы определения расчетных величин пожарного риска на производственном объекте;
- основные методы моделирования движения людей при эвакуации из зданий, сооружений и строений на производственном объекте;

уметь:

- производить анализ пожарной опасности объекта защиты;
- определять частоту реализации пожароопасных ситуаций;
- определять расчетное время эвакуации из зданий, сооружений и строений на производственном объекте;

владеть:

- методами построения полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;
- методами и навыками оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития.

Исходные данные для определения расчетных величин пожарного риска на производственном объекте выбираются из [приложения В](#).

Все работы оформляются в единый отчет по практикуму в соответствии с требованиями [приложения А](#).

Структура отчета по практикуму включает следующие разделы.

Титульный лист

1. Анализ пожарной опасности производственного объекта.
2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций на объекте.
3. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития на объекте.

4. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития на объекте.
5. Анализ наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий, сооружений и строений на производственном объекте.
6. Определение расчетных величин индивидуальных и социальных пожарных рисков на производственном объекте.

Список используемой литературы

Конечным результатом всех выполненных работ практикума должны стать найденные величины индивидуальных и социальных пожарных рисков на производственном объекте, которые сопоставляются с нормативными значениями рисков, установленных Техническим регламентом, и делается вывод о соответствии (несоответствии) пожарной безопасности объекта требованиям регламента.

Пример определения расчетных величин пожарного риска на производственном объекте представлен ниже в настоящем пособии, а также в других источниках [6].

Практическая работа 1

Анализ пожарной опасности производственного объекта

Анализ пожарной безопасности производственного объекта производится в соответствии с [разделом II](#) Методики.

Анализ пожарной опасности объекта предусматривает:

- а) анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на объекте;
- б) определение перечня пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса;
- в) определение для каждого технологического процесса перечня причин, возникновение которых позволяет характеризовать ситуацию как пожароопасную;
- г) построение сценариев возникновения и развития пожаров, влекущих за собой гибель людей.

При анализе пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на объекте используются следующие сведения:

- данные о наличии и виде горючих веществ и материалов, их количестве, физико-химических свойствах и показателях пожарной опасности;
- технологические параметры оборудования (давление, температура, уровни заполнения, материальные потоки) и подводящих/отводящих трубопроводов (диаметры, толщины стенок, расстояние до отсекающей арматуры);
- параметры исполнительных механизмов систем противоаварийной защиты (время закрытия и открытия запорной арматуры, надежность срабатывания, производительность насосов или других устройств аварийного опорожнения);
- геометрические характеристики взаимного расположения оборудования и его элементов, привязка единицы оборудования на местности.

Необходимые для анализа основные свойства и показатели пожарной опасности наиболее распространенных веществ и материалов приведены в справочниках [7–8].

Аварийные ситуации выявляются на основании изучения:

- структуры объекта, пространственного размещения его элементов;
- основных операций, осуществляемых на объекте, технологических схем, используемого оборудования;
- перечня веществ и материалов, применяемых на объекте;
- перечня основных опасностей, характерных для рассматриваемого объекта;
- перечня событий, которые могут являться причинами пожароопасных ситуаций;
- отказов оборудования, имевших место на практике ранее;
- данных о надежности используемого оборудования;
- возможных ошибочных действий персонала;
- местных метеорологических и географических характеристик.

Следует отметить, что полностью проанализировать все многообразие пожароопасных аварийных ситуаций на достаточно крупном объекте в ряде случаев может не представляться возможным. В то же время расчеты по оценке пожарного риска предполагают рассмотрение как можно более широкого перечня пожароопасных

аварийных ситуаций, учитывающего в основном события, которые имели место на практике эксплуатации рассматриваемых объектов. Поэтому при проведении расчетов пожарного риска должен быть разработан перечень пожароопасных аварийных ситуаций, который, с одной стороны, должен охватывать все технологические блоки, участки, технологические установки, здания, строения и сооружения объекта, с другой стороны, по этому перечню должны быть проведены необходимые расчеты при учете вариации различных параметров при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

Основные методы достижения этой цели: объединение пожароопасных аварийных ситуаций в группы типовых пожароопасных аварийных ситуаций и исключение ситуаций с незначительным риском.

При объединении в группы типовых пожароопасных аварийных ситуаций применительно к каждому блоку, участку, технологической установке, зданию, строению и сооружению объекта должны быть выделены типовые пожароопасные аварийные ситуации, которым соответствуют одинаковые модели возникновения и развития.

При этом выбранные для расчетов типовые ситуации должны отражать специфику пожарной опасности всех участков объекта.

Исключение ситуаций с незначительным риском направлено на то, чтобы не рассматривать те ситуации, вклад которых в расчетные величины пожарного риска незначителен и не повлияет на конечный результат. Однако подобные исключения должны быть точно определены и обоснованы, так как возможны ситуации, когда для каждой из большого количества аварий существует незначительный риск, однако при их объединении суммарный риск может стать существенным. Кроме того, учитывая различные нормативные значения пожарного риска для работников объекта и населения вблизи него, исключение ситуаций не должно приводить к занижению расчетных величин риска для населения в селитебной зоне. Также не следует без предварительного анализа исключать из рассмотрения ситуации только на основании того, что такие ситуации никогда не имели место на практике при эксплуатации схожих объектов.

Алгоритм выполнения работы

1. Выбрать вариант задания из [приложения В](#).
2. Изучить содержание [раздела II](#) Методики, представленной в основных теоретических сведениях модуля 2.
3. Изучить [раздела I примера расчета](#) пожарного риска на производственном объекте.
4. Выполнить необходимые действия для анализа пожарной опасности объекта в соответствии с указаниями Методики и рекомендациями, изложенными в данной практической работе.
5. Проверить соответствие объекта нормативным требованиям по пожарной безопасности.
6. На основании проведенного анализа сделать вывод о необходимости или отсутствии необходимости проведения расчета риска.
7. Заполнить раздел обобщенного отчета по практикуму в соответствии с примером расчета и требованиями пособия ([приложение А](#)).
8. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Описать последовательность анализа пожарной опасности объекта.
2. Порядок составления перечня пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса.
3. Какие события могут являться причинами пожароопасных ситуаций на объектах?
4. На основе каких сведений осуществляется выявление аварийных ситуаций?
5. Должен ли производиться анализ всего многообразия пожароопасных аварийных ситуаций?

Практическая работа 2

Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций на объекте

Порядок определения частоты возникновения пожара в здании приведен в [раздела II](#) и [приложении № 1](#) Методики.

Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций является одним из наиболее важных этапов проведения расчетов по оценке пожарного риска, который в значительной мере определяет достоверность полученных результатов расчета значений риска.

Рекомендуемые сведения о частоте реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для некоторых типов оборудования объектов, частоте утечек из технологических трубопроводов, а также частоте возникновения пожаров в зданиях приведены в [приложении 1](#) Методики.

При использовании данных указанного приложения для какого-либо резервуара, емкости, сосуда, аппарата, технологического трубопровода следует учитывать частоты разгерметизации для всех размеров утечек, указанные для этой единицы технологического оборудования.

Также частоты реализации пожароопасных ситуаций и возникновения пожаров могут быть получены с использованием анализа деревьев неисправностей в соответствии со стандартом [9].

Дерево неисправностей – это организованное графическое представление условий или других факторов, вызывающих нежелательное событие, называемое вершиной событий. Представление приводят в форме, которая может быть понята, проанализирована и по мере необходимости перестроена так, чтобы облегчить идентификацию:

- факторов, воздействующих на надежность и характеристики эффективности системы, например режимов неисправностей компонентов, ошибок оператора, условий окружающей среды и др.;
- противоречивых требований или спецификаций, которые могут влиять на надежность и эффективность системы;
- общих событий, воздействующих более чем на один функциональный компонент, который может уменьшить преимущества резервирования.

Анализ дерева неисправностей является в основном дедуктивным (нисходящим) методом анализа, нацеленного на точное определение причины или комбинации причин, приводящих к вершине событий.

Алгоритм выполнения работы

1. Изучить содержание [раздела II](#) и [приложения № 1](#) Методики, представленной в основных теоретических сведениях модуля 2.
2. Изучить [раздел 2 примера расчета](#) пожарного риска на производственном объекте.
3. Выполнить необходимые действия для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций для анализируемого объекта из практической работы 1 в соответствии с указаниями Методики.
4. Заполнить раздел обобщенного отчета по практикуму в соответствии с примером расчета и требованиями настоящего пособия ([приложение А](#)).
5. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Какая информация используется для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций на объекте?
2. На основе каких данных определяется частота возникновения пожара на производственном объекте в течение года?
3. Каков численный порядок частоты возникновения пожаров на производственных объектах?

Практическая работа 3 Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития на объекте

Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития осуществляется в соответствии с рекомендациями [раздела II](#) и [приложений ² 2–3](#) Методики.

В соответствии с Методикой для определения возможных сценариев возникновения и развития пожаров рекомендуется использовать метод логических деревьев событий (далее – логическое дерево). Основные принципы построения дерева событий представлены в [приложении № 2](#) Методики.

Предполагается, что каждое событие в последовательности представляет собой либо исправность, либо неисправность (ветвление «Да»/«Нет»). Следует отметить, что вероятности на дереве событий являются условными. Метод логических деревьев событий представляет собой индуктивный тип анализа, в котором основным задаваемым вопросом является «что случится, если?».

После построения дерева составляется перечень пожароопасных ситуаций, пожаров и сценариев их развития по форме, представленной в таблице 2.9.

Таблица 2.9

Перечень пожароопасных ситуаций, пожаров
и сценариев их развития

Наименование оборудования	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Сценарий развития пожароопасной ситуации/пожара	№ сценария

Для каждого сценария, описанного в такой таблице, необходимо найти частоту реализации пожароопасных ситуаций [6].

Например, на рис. 2.2 представлено одно из деревьев событий для резервуарного парка из двух резервуаров.

На указанном дереве событий возможность перехода ситуации от стадии к стадии показана с использованием вспомогательных величин – условных вероятностей P1–P8, которые определяются следующими соотношениями:

P1 – условная вероятность мгновенного воспламенения;

$P2 = P_{\text{штиля}}$ – условная вероятность безветрия (штиля);

P3 – условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения:

$P4 = P_{\text{изб.давл}}$ – условная вероятность сгорания с возникновением избыточного давления при образовании паровоздушного облака и его последующем воспламенении;

$P5 = P_{\text{ор1}} \cdot P_{\text{ор2}}$ – условная вероятность эффективной работы систем водяного орошения одновременно на двух резервуарах (резервуары № 1 и 2) парка при воздействии на них пожара пролива бензина в обваловании (ограждении) парка;

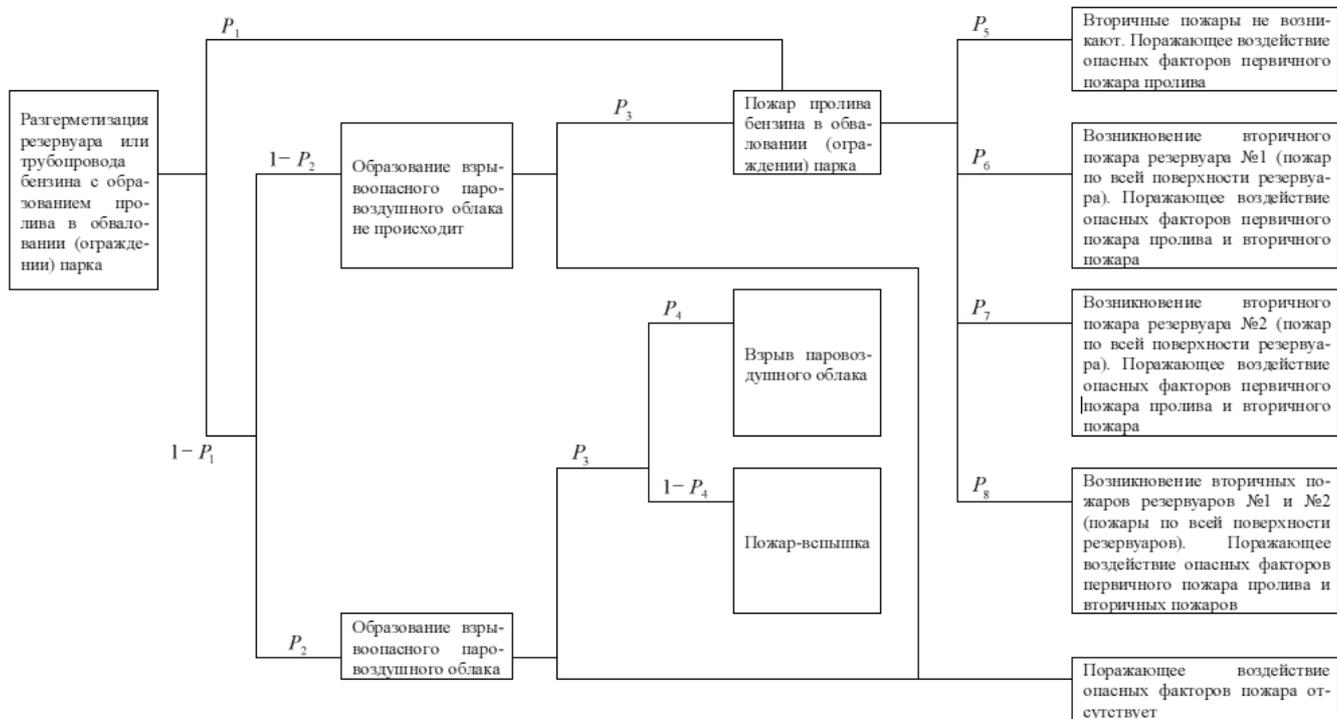


Рис. 2.2. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с полным разрушением одного из резервуаров рассматриваемого резервуарного парка

$P_6 = (1 - P_{op1}) \cdot P_{op2}$ – условная вероятность эффективной работы системы водяного орошения на резервуаре № 2 и одновременно неэффективная работа системы водяного орошения на резервуаре № 1 при воздействии на резервуары пожара пролива бензина в обваловании (ограждении) парка;

$P_7 = P_{op1} \cdot (1 - P_{op2})$ – условная вероятность эффективной работы системы водяного орошения на резервуаре № 1 и одновременно неэффективная работа системы водяного орошения на резервуаре № 2 при воздействии на резервуары пожара пролива бензина в обваловании (ограждении) парка;

$P_8 = (1 - P_{op1}) \cdot (1 - P_{op2})$ – условная вероятность неэффективной работы систем водяного орошения одновременно на резервуарах № 1 и 2 при воздействии на резервуары пожара пролива бензина в обваловании (ограждении) парка.

В таблице П2.1 ([приложение 2](#)) Методики приведены условные вероятности событий различных пожароопасных ситуаций. Согласно общепринятому определению, условная вероятность – это вероятность наступления одного события при условии, что другое событие уже произошло.

В соответствии с таблицей П2.1, например, для аварии, связанной с полным разрывом аппарата и поступлением горючего газа в окружающее пространство, с учетом основных правил теории вероятностей условные вероятности реализации различных сценариев составят (например, при вероятности реализации для района размещения объекта благоприятных для образования газопаровоздушного облака условий 20 % или 0,2):

- мгновенное воспламенение $P = 0,2$;
- последующее воспламенение при отсутствии мгновенного воспламенения $P = (1 - 0,2) \cdot 0,24 = 0,192$;
- сгорание с возникновением избыточного давления при образовании горючего газопаровоздушного облака и его последующем воспламенении при отсутствии мгновенного воспламенения $P = (1 - 0,2) \cdot 0,24 \cdot 0,2 \cdot 0,6 \cdot 0,023$;
- сгорание без возникновения избыточного давления при образовании горючего газопаровоздушного облака и его последующем воспламенении при отсутствии мгновенного воспламенения $P = (1 - 0,2) \cdot 0,24 \cdot 0,2 \cdot (1 - 0,6) \cdot 0,015$.

Оценка опасных факторов пожара проводится с помощью методов, представленных в [приложениях № 3 и 5](#) Методики.

Данные о частотах реализации иницилирующих пожароопасные ситуации событий могут приниматься в соответствии с [приложением Г](#) настоящего пособия.

Алгоритм выполнения работы

1. Изучить содержание [раздела II](#) и [приложений № 2, 3, 5](#) Методики, представленной в основных теоретических сведениях модуля 2.
2. Изучить [раздел 3 примера расчета](#) пожарного риска на производственном объекте.
3. Построить дерево событий для определения возможных сценариев возникновения и развития пожаров по данным, полученным из практических работ 1–2.
4. Составить перечень пожароопасных ситуаций, пожаров и сценариев их развития в табличной форме (таблица 2.9).
5. Определить частоту реализации пожароопасных ситуаций на основе построенного дерева и данных таблицы П2.1 ([приложение 2](#)) Методики. При необходимости сравнить полученные результаты с результатами практической работы 2.
6. Выбрать и описать конкретную модель расчета времени блокирования путей эвакуации для различных сценариев развития пожара в соответствии с указаниями [приложений № 3 и 5](#) Методики.
7. Заполнить соответствующий раздел обобщенного отчета по практике в соответствии с примером расчета и требованиями настоящего пособия ([приложение А](#)).
8. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие основные действия включает построение полей опасных факторов пожара на производственных объектах?
2. Какие факторы учитываются при построении полей опасных факторов пожара?
3. Какие положения учитываются при построении логических деревьев событий?
4. Процедура построения логического дерева событий.

5. Из каких предпосылок определяется количество поступивших в окружающее пространство горючих веществ, которые могут образовать взрывоопасные газопаровоздушные смеси или проливы горючих сжиженных газов, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей на подстилающей поверхности?

Практическая работа 4

Анализ наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий, сооружений и строений на производственном объекте

Наличие систем обеспечения пожарной безопасности здания учитывается в соответствии с положениями [раздела II](#) Методики.

Здания должны обеспечиваться СОУЭ согласно СП 3.13130.2009 «Свод правил «Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре» ([таблицы 1.13, 1.14](#) из практической работы 5 модуля 1).

Здания оборудуются АУПТ (АУПС) в соответствии с требованиями СП 5.13130.2009 «Свод правил «Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования» ([таблица 1.15](#) из практической работы 4 модуля 1).

Сведения о вероятности эффективного срабатывания некоторых систем противопожарной защиты приведены в [приложении Д](#).

Вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности i -го помещения при реализации j -го сценария пожара также определяется по формуле (8) Методики.

Алгоритм выполнения работы

1. Изучить содержание [раздела II](#) Методики, представленной в основных теоретических сведениях модуля 2.
2. Изучить [раздел 4 примера расчета](#) пожарного риска на производственном объекте.
3. В соответствии с данными, полученными из практических работ 1–4, и сведениями, представленными в указаниях к работе, определить требования к обеспечению анализируемого объекта СОУЭ, АУПТ, АУПС и учесть полученные сведения при анализе наличия систем обеспечения пожарной безопасности здания.

4. Выполнить необходимые действия для анализа наличия систем обеспечения пожарной безопасности объекта в соответствии с указаниями Методики.
5. Определить вероятность эффективного срабатывания систем противопожарной защиты на объекте.
6. Заполнить раздел обобщенного отчета по практикуму в соответствии с примером расчета и требованиями пособия ([приложение А](#)).
7. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Что относится к числу противопожарных мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности производственных объектов?
2. Как определяется эффективность каждого из противопожарных мероприятий при оценке пожарного риска производственных объектов?
3. Для чего нужен анализ наличия противопожарных мероприятий на объекте при оценке пожарного риска?

Практическая работа 5 **Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития на объекте**

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития производится в соответствии с [разделом II](#) и [приложением № 4](#) Методики.

Алгоритм выполнения работы

1. Изучить содержание [раздела II](#) и [приложение № 4](#) Методики, представленной в основных теоретических сведениях модуля 2.
2. Изучить [раздел 5 примера расчета](#) пожарного риска на производственном объекте.
3. По данным, полученным из практических работ 1–4, определить условные вероятности поражения человека опасными факторами пожара для различных сценариев его развития в соответствии с указаниями [приложения № 4](#) Методики.

4. Заполнить соответствующий раздел обобщенного отчета по практике в соответствии с примером расчета и требованиями настоящего пособия ([приложение А](#)).
5. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие критерии используются для оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на людей?
2. Назовите наиболее опасные поражающие факторы пожара.
3. Порядок определения условной вероятности поражения людей волной давления.
4. Порядок определения условной вероятности поражения людей тепловым излучением при пожарах пролива.
5. Порядок определения условной вероятности поражения людей тепловым излучением при огненном шаре.

Практическая работа 6 Определение расчетных величин индивидуальных и социальных пожарных рисков на производственном объекте

В соответствии с [разделом III](#) Методики проводится расчет значений индивидуального и социального пожарных рисков и сопоставление их с соответствующими нормативными, установленными Техническим регламентом.

В соответствии с Методикой расчет значений индивидуального и социального пожарных рисков в зданиях и на территории объекта, а также в селитебной зоне вблизи объекта проводится с использованием в качестве промежуточной величины значения соответствующего потенциального пожарного риска.

Результаты расчетов потенциального риска в соответствии с Методикой, как правило, отображаются на карте (ситуационном плане) предприятия и прилегающих районов в виде замкнутых линий равных значений (изолинии функции $P(a)$). Изолинии функции $P(a)$ называются контурами риска. Их физический смысл состоит в том, что они разделяют территорию предприятия (так же, как и местность вокруг предприятия) на области, в которых ожидаемая частота воз-

никновения опасных факторов аварии, приводящих к гибели людей, заklючена в определенных, указанных на рисунке, пределах.

Контуры риска не зависят от количества работающих на предприятии или их должностных обязанностей, а определяются исключительно используемой технологией и надежностью применяемого оборудования.

Алгоритм выполнения работы

1. Изучить содержание [раздела III](#) Методики, представленной в основных теоретических сведениях модуля 2.
2. Изучить [раздел 6 примера расчета](#) пожарного риска на производственном объекте.
3. По данным, полученным из практических работ 1–5, выполнить необходимые действия для определения расчетных величин пожарного риска в соответствии с указаниями Методики.
4. Определить промежуточную величину значения соответствующего потенциального пожарного риска.
5. Определить величину индивидуального пожарного риска в зданиях или на территории объекта.
6. При необходимости определить индивидуальный и социальный пожарные риски в селитебной зоне вблизи объекта.
7. Сравнить полученные значения индивидуальных и социальных пожарных рисков с соответствующими нормативными значениями, установленными Техническим регламентом.
8. Сделать вывод о соответствии (несоответствии) пожарной безопасности объекта требованиям Технического регламента.
9. Заполнить раздел обобщенного отчета по практикуму в соответствии с примером расчета и требованиями настоящего пособия ([приложение А](#)).
10. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие параметры определяют расчетную величину потенциального пожарного риска?
2. Какие параметры определяют расчетную величину индивидуального пожарного риска в зданиях и на территории объекта?

3. Какие параметры определяют индивидуальный и социальный пожарные риски в селитебной зоне вблизи объекта?
4. Как определить вероятность эвакуации людей из зданий?
5. Как определить расчетное время эвакуации людей?
6. Чему равно нормативное значение индивидуального пожарного риска в зданиях и на территории объекта?
7. Чему равно нормативное значение индивидуального и социального пожарных рисков в селитебной зоне вблизи объекта?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : федеральный закон № 123-ФЗ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.consultant.ru>
2. ГОСТ Р 12.3.047-2012. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.consultant.ru>
3. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС РФ от 30.06.2009 № 382 (ред. от 02.12.2015). [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.consultant.ru>
4. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приказ МЧС РФ от 10.07.2009 № 404 (ред. от 14.12.2010). [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.consultant.ru>
5. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». – М. : ВНИИПО, 2012. – 83 с.
6. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. – М. : ВНИИПО, 2012. – 242 с.
7. Корольченко, А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. / А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Пожнаука, 2004. – Ч. 1. – 713 с.
8. Корольченко, А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. / А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Пожнаука, 2004. – Ч. 2. – 774 с.
9. ГОСТ Р 51901.13-2005. Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.consultant.ru>

Требования к оформлению отчета о практикуме

Текст отчета печатается на одной стороне листа формата А4 (297×210 мм). Размеры поля страниц слева – 25 мм, сверху и снизу – 15 мм, справа – 10 мм. Абзацы в тексте начинают с отступом 1,25 см.

Текст работы должен быть набран в текстовом редакторе Word шрифтом Times New Roman 14 pt, интервал полуторный, выравнивание по ширине. Весь текст в пояснительной записке должен быть разбит на составные части. Разбивка текста производится делением его на разделы (главы) и подразделы. При необходимости подразделы могут делиться на пункты. При делении текста на разделы (согласно ГОСТ 2.105–95) их обозначают в пределах всей записки порядковыми номерами – арабскими цифрами без точки и записывают с абзацного отступа. Номер пункта должен состоять из номеров раздела, подраздела и пункта, разделённых точками. В конце номера раздела (подраздела), пункта (подпункта) точку не ставят.

Пример:

3 МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ**3.1 Приборы, материал и реактивы**

Каждый пункт, подпункт и перечисление записывают с абзацного отступа. Разделы, подразделы должны иметь заголовки. Пункты, как правило, заголовков не имеют. Наименование разделов должно быть кратким и записываться в виде заголовков (в красную строку) прописными буквами без подчеркивания и точки в конце. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов, пунктов. Заголовки подразделов, пунктов следует печатать с прописной буквы и далее строчными без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются. Расстояние между заголовком и текстом при выполнении пояснительной записки машинописным способом должно быть равно трем интервалам. Расстояние между заголовками раздела и подраздела – два интервала.

Каждый раздел отчета рекомендуется начинать с нового листа (страницы). Нумерация страниц отчета должна быть сквозная.

Рисунки и диаграммы должны иметь прямое отношение к тексту, без лишних изображений и данных, которые нигде не поясняются. На все иллюстрации должны быть ссылки в тексте отчета. Наименования, приводимые в тексте и на иллюстрациях, должны быть одинаковыми. Ссылки на иллюстрации разрешается помещать в скобках в соответствующем месте текста, без указания *см.* (смотри). Ссылки на ранее упомянутые иллюстрации записывают сокращенным словом *смотри*, например, *см. рисунок 3.*

Размещаемые в тексте иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами в пределах всего отчета, *например*: Рисунок 1, Рисунок 2 и т. д. Надписи, загромождающие рисунок, чертеж или схему, необходимо помещать в тексте или под иллюстрацией.

В формулах и уравнениях условные буквенные обозначения, изображения или знаки должны соответствовать обозначениям, принятым в действующих государственных стандартах. В тексте отчета перед обозначением параметра дают его пояснение, *например*: Временное сопротивление разрыву σ_B .

При необходимости применения условных обозначений, изображений или знаков, не установленных действующими стандартами, их следует пояснять в тексте или в перечне обозначений.

Формулы и уравнения выполняют в редакторе формул и располагают на середине строки, а связывающие их слова (*следовательно, откуда* и т. п.) – в начале строки.

Для основных формул и уравнений, на которые делаются ссылки, вводят сквозную нумерацию арабскими цифрами. После написания формулы или уравнения помещают перечень символов, применяемых в них, с пояснением их значений и размерностей. Символ отделяют от его пояснения знаком тире. Размерность буквенного обозначения отделяют от текста запятой, а в конце пояснения ставят точку с запятой.

Пример:

$$N = S_{\text{пост}} / (\text{Ц} - S_{\text{пер1}}), \quad (1)$$

где N – критический объём выпуска, шт.; $S_{\text{пост}}$ – постоянные затраты в себестоимости продукции, руб; Ц – цена единицы изделия, руб; $S_{\text{пер1}}$ – переменные затраты на одно изделие, руб.

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблиц. Их применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей. Название таблицы должно отражать её содержание, быть точным и кратким. Лишь в порядке исключения таблица может не иметь названия.

Таблицы нумеруют сквозной нумерацией арабскими цифрами, перед которыми записывают слово «Таблица». Слово «Таблица» указывают один раз слева над первой частью таблицы. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой. На все таблицы должны быть ссылки в тексте, при этом слово «таблица» в тексте пишут полностью, *например*: в таблице 4...

Приложения оформляют как продолжение отчета на последующих листах. В тексте отчета на все приложения должны быть даны ссылки, *например*: Производные единицы системы СИ (приложения 1, 2 и 5).

Каждое приложение должно начинаться с нового листа (страницы) с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения.

Пример оформления титульного листа отчета представлен на рис. А.

<p>ФГБОУ ВО Тольяттинский государственный университет</p> <p>Институт машиностроения</p> <p>Кафедра «Управление промышленной и экологической безопасностью»</p> <p>ОТЧЕТ ПО ПРАКТИКУМУ №_ по дисциплине «РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА» на тему <i>«Название практикума с названием объекта оценки»</i></p> <p>Студент: Группа: Преподаватель:</p> <p>Тольятти 20__ г.</p>
--

Рис. А. Образец оформления титульного листа

Варианты заданий для практикума по модулю 1

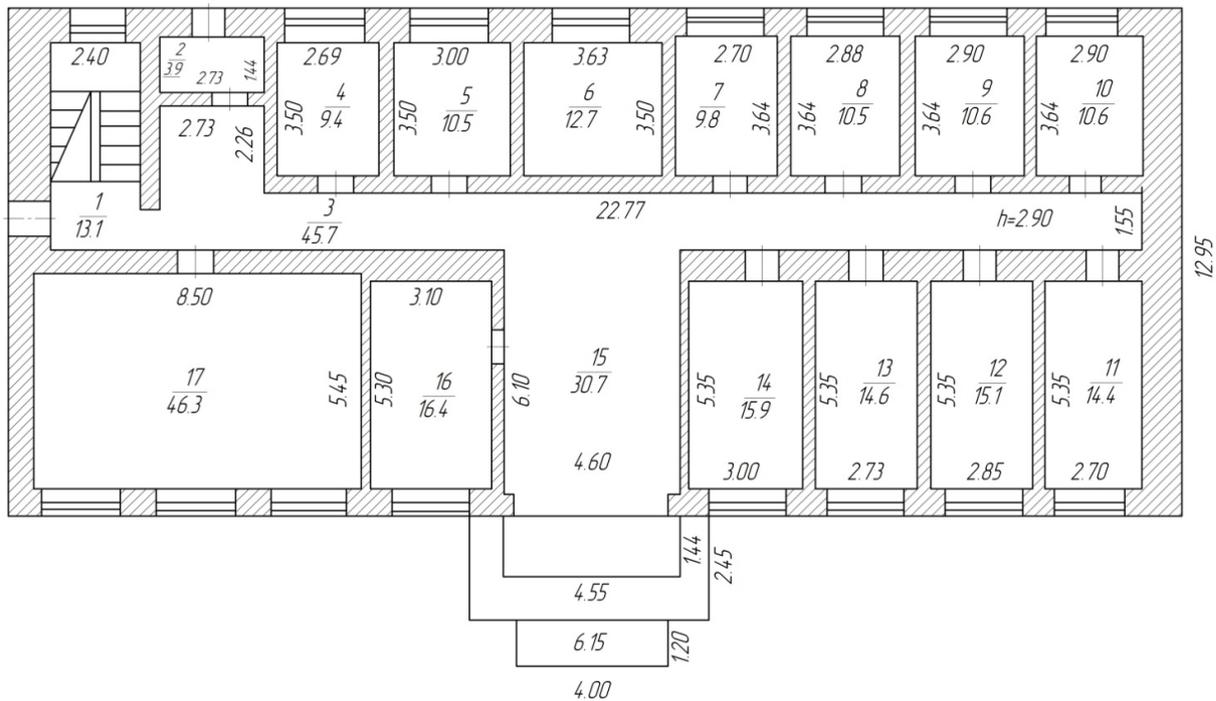
Вариант	Описание объекта
1	Офисное здание, 8 этажей, общей площадью 3200 м ² . Время блокирования путей эвакуации 360 с. Расчетное время эвакуации 300 с
2	Корпус университета, 6 этажей, число учащихся – 800. Время блокирования путей эвакуации 350 с. Расчетное время эвакуации 250 с
3	Поликлиника, 5 этажей, общей площадью 2000 м ² . Время блокирования путей эвакуации 340 с. Расчетное время эвакуации 230 с
4	Библиотека, 3 этажа, общей площадью 1300 м ² . Время блокирования путей эвакуации 300 с. Расчетное время эвакуации 200 с
5	Офисное здание, 4 этажа, общей площадью 1700 м ² . Время блокирования путей эвакуации 310 с. Расчетное время эвакуации 220 с
6	Корпус университета, 5 этажей, число учащихся – 600. Время блокирования путей эвакуации 320 с. Расчетное время эвакуации 400 с
7	Поликлиника, 4 этажа, общей площадью 1700 м ² . Время блокирования путей эвакуации 300 с. Расчетное время эвакуации 230 с
8	Библиотека, 2 этажа, общей площадью 900 м ² . Время блокирования путей эвакуации 250 с. Расчетное время эвакуации 150 с
9	Гостиница, 3 этажа, общей площадью 1300 м ² , кол-во проживающих 60 чел. Время блокирования путей эвакуации 270 с. Расчетное время эвакуации 150 с
10	Офисное здание, 3 этажа, общей площадью 1250 м ² . Время блокирования путей эвакуации 420 с. Расчетное время эвакуации 200 с
11	Общежитие, 2 этажа, общей площадью 1800 м ² , кол-во проживающих 100 чел. Время блокирования путей эвакуации 300 с. Расчетное время эвакуации 100 с
12	Поликлиника, 4 этажа, общей площадью 4000 м ² . Время блокирования путей эвакуации 300 с. Расчетное время эвакуации 200 с
13	Общежитие, 3 этажа, общей площадью 2200 м ² , кол-во проживающих 150 чел. Время блокирования путей эвакуации 280 с. Расчетное время эвакуации 140 с
14	Корпус университета, 6 этажей, число учащихся – 800. Время блокирования путей эвакуации 380 с. Расчетное время эвакуации 300 с
15	Техникум, 4 этажа, число учащихся – 700. Время блокирования путей эвакуации 320 с. Расчетное время эвакуации 180 с
16	Общежитие, 2 этажа, общей площадью 2000 м ² , кол-во проживающих 120 чел. Время блокирования путей эвакуации 340 с. Расчетное время эвакуации 90 с

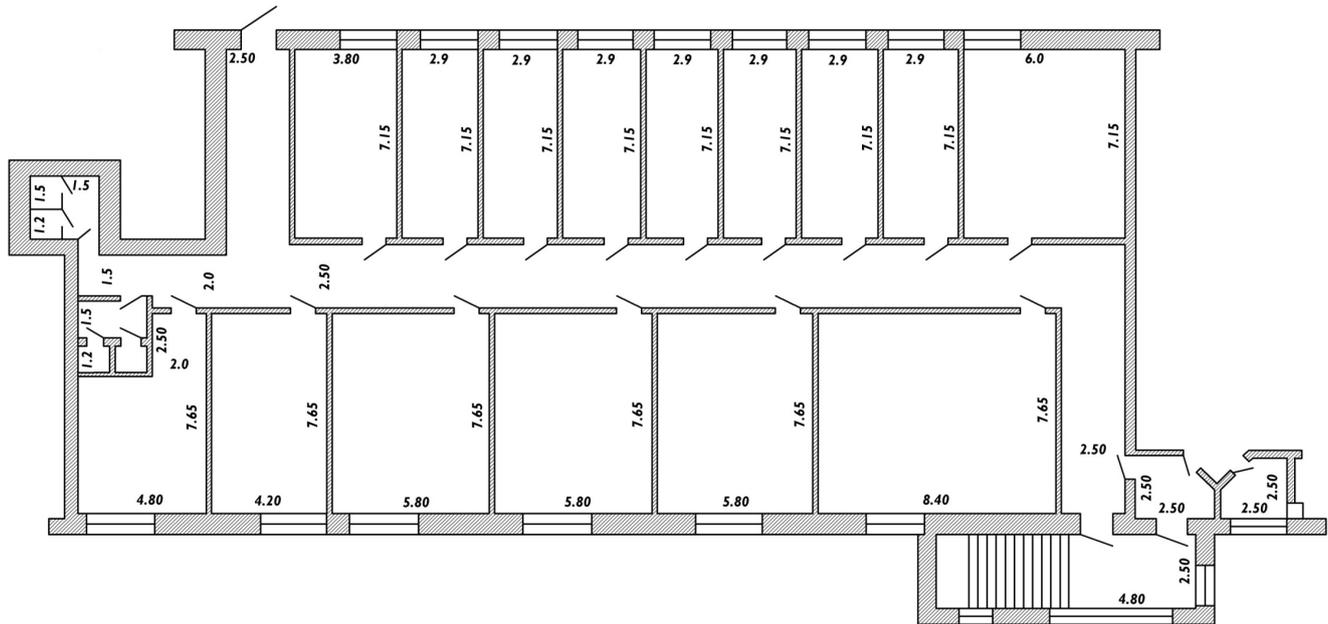
Вариант	Описание объекта
17	Поликлиника, 4 этажа, общей площадью 3600 м ² . Время блокирования путей эвакуации 300 с. Расчетное время эвакуации 200 с
18	Общежитие, 4 этажа, общей площадью 3200 м ² , кол-во проживающих 200 чел. Время блокирования путей эвакуации 260 с. Расчетное время эвакуации 140 с
19	Поликлиника, 5 этажей, общей площадью 5000 м ² . Время блокирования путей эвакуации 370 с. Расчетное время эвакуации 120 с
20	Техникум, 3 этажа, число учащихся — 400. Время блокирования путей эвакуации 280 с. Расчетное время эвакуации 110 с
21	Вокзал, 2 этажа, общей площадью 1100 м ² . Время блокирования путей эвакуации 300 с. Расчетное время эвакуации 100 с
22	Здание магазина, 4 этажа, общей площадью 2100 м ² . Время блокирования путей эвакуации 290 с. Расчетное время эвакуации 140 с
23	Корпус университета, 5 этажей, число учащихся — 700. Время блокирования путей эвакуации 310 с. Расчетное время эвакуации 200 с
24	Библиотека, 3 этажа, общей площадью 1500 м ² . Время блокирования путей эвакуации 260 с. Расчетное время эвакуации 80 с
25	Развлекательный центр, 3 этажа, кол-во посетителей 300. Время блокирования путей эвакуации 350 с. Расчетное время эвакуации 160 с
26	Вокзал, 3 этажа, общей площадью 1500 м ² . Время блокирования путей эвакуации 400 с. Расчетное время эвакуации 220 с
27	Здание магазина, 2 этажа, общей площадью 1200 м ² . Время блокирования путей эвакуации 300 с. Расчетное время эвакуации 80 с
28	Корпус университета, 4 этажа, число учащихся — 600. Время блокирования путей эвакуации 420 с. Расчетное время эвакуации 120 с
29	Развлекательный центр, 2 этажа, кол-во посетителей 200. Время блокирования путей эвакуации 260 с. Расчетное время эвакуации 100 с
30	Библиотека, 2 этажа, общей площадью 900 м ² . Время блокирования путей эвакуации 240 с. Расчетное время эвакуации 90 с
31	Торговый центр, 4 этажа, кол-во посетителей 300. Время блокирования путей эвакуации 390 с. Расчетное время эвакуации 110 с
32	Развлекательный центр, 4 этажа, кол-во посетителей 200. Время блокирования путей эвакуации 420 с. Расчетное время эвакуации 120 с
33	Торговый центр, 5 этажей, кол-во посетителей 400. Время блокирования путей эвакуации 300 с. Расчетное время эвакуации 140 с
34	Развлекательный центр, 3 этажа, кол-во посетителей 160. Время блокирования путей эвакуации 380 с. Расчетное время эвакуации 130 с

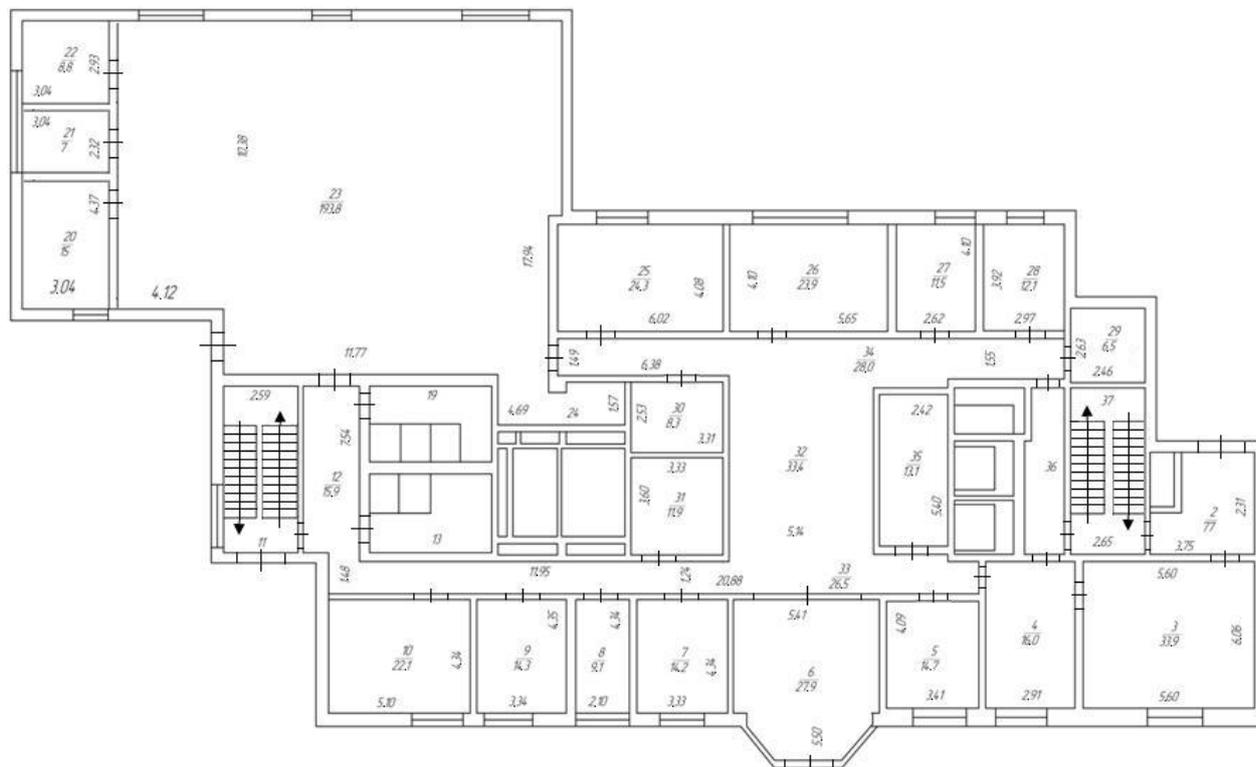
Вариант	Описание объекта
35	Торговый центр, 6 этажей, кол-во посетителей 420. Время блокирования путей эвакуации 450 с. Расчетное время эвакуации 160 с
36	Техникум, 4 этажа, число учащихся – 450. Время блокирования путей эвакуации 290 с. Расчетное время эвакуации 200 с
37	Школа, 4 этажа, число учащихся – 400. Время блокирования путей эвакуации 390 с. Расчетное время эвакуации 190 с
38	Офисное здание, 4 этажа, общей площадью 1400 м ² . Время блокирования путей эвакуации 420 с. Расчетное время эвакуации 200 с
39	Техникум, 3 этажа, число учащихся – 350. Время блокирования путей эвакуации 300 с. Расчетное время эвакуации 100 с
40	Школа, 4 этажа, число учащихся (2 смены) – 800 чел. Время блокирования путей эвакуации 450 с. Расчетное время эвакуации 130 с
41	Поликлиника, 5 этажей, общей площадью 2000 м ² . Время блокирования путей эвакуации 390 с. Расчетное время эвакуации 200 с
42	Школа, 3 этажа, число учащихся – 400. Время блокирования путей эвакуации 300 с. Расчетное время эвакуации 80 с
43	Техникум, 4 этажа, число учащихся – 500. Время блокирования путей эвакуации 360 с. Расчетное время эвакуации 140 с
44	Офисное здание, 7 этажей, общей площадью 3200 м ² . Время блокирования путей эвакуации 410 с. Расчетное время эвакуации 210 с
45	Корпус НИИ, 5 этажей, общей площадью 2100 м ² . Время блокирования путей эвакуации 430 с. Расчетное время эвакуации 200 с
46	Поликлиника, 3 этажа, общей площадью 1400 м ² . Время блокирования путей эвакуации 300 с. Расчетное время эвакуации 85 с
47	Школа, 4 этажа, число учащихся – 400. Время блокирования путей эвакуации 370 с. Расчетное время эвакуации 140 с
48	Корпус НИИ, 6 этажей, общей площадью 2700 м ² . Время блокирования путей эвакуации 300 с. Расчетное время эвакуации 180 с
49	Техникум, 5 этажей, число учащихся – 500. Время блокирования путей эвакуации 350 с. Расчетное время эвакуации 170 с
50	Офисное здание, 5 этажей, общей площадью 2300 м ² . Время блокирования путей эвакуации 480 с. Расчетное время эвакуации 190 с
51	Корпус НИИ, 7 этажей, общей площадью 3400 м ² . Время блокирования путей эвакуации 440 с. Расчетное время эвакуации 210 с

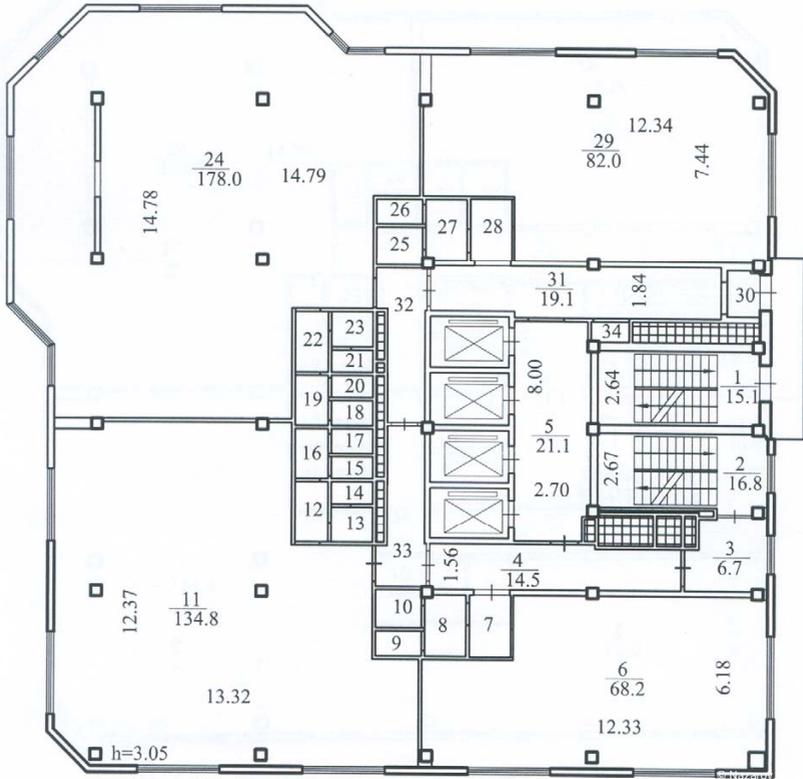
Планировка первых этажей для вариантов заданий практикума по модулю 1

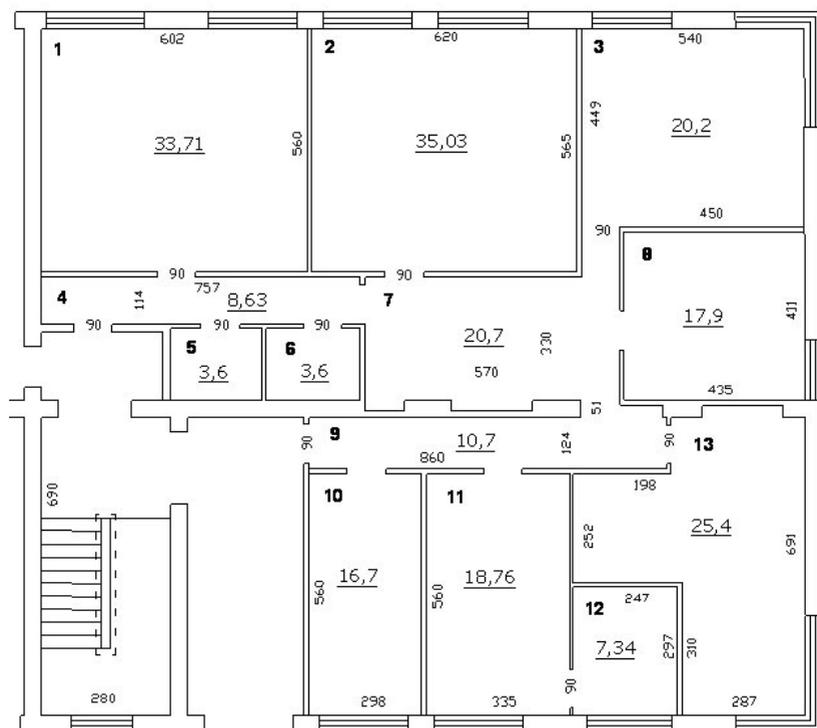
Варианты 1–10











Варианты заданий для практикума по модулю 2

Вариант	Описание объекта
1	Производственный корпус СТО. Время блокирования путей эвакуации 290 с. Расчетное время эвакуации 80 с. Количество работающих 10 чел.
2	Мебельный цех. Время блокирования путей эвакуации 200 с. Расчетное время эвакуации 90 с. Количество работающих 15 чел.
3	Склад промтоваров. Время блокирования путей эвакуации 260 с. Расчетное время эвакуации 60 с. Количество работающих 5 чел.
4	Механосборочный цех. Время блокирования путей эвакуации 280 с. Расчетное время эвакуации 70 с. Количество работающих 10 чел.
5	Прессовый цех пластмассовых изделий. Время блокирования путей эвакуации 200 с. Расчетное время эвакуации 90 с. Количество работающих 15 чел.
6	Ремонтно-механический цех. Время блокирования путей эвакуации 350 с. Расчетное время эвакуации 100 с. Количество работающих 17 чел.
7	Электроремонтный цех. Время блокирования путей эвакуации 230 с. Расчетное время эвакуации 80 с. Количество работающих 14 чел.
8	Склад строительных материалов. Время блокирования путей эвакуации 320 с. Расчетное время эвакуации 60 с. Количество работающих 6 чел.
9	Склад продовольственных товаров. Время блокирования путей эвакуации 330 с. Расчетное время эвакуации 50 с. Количество работающих 4 чел.
10	Склад для хранения металлических конструкций. Время блокирования путей эвакуации 400 с. Расчетное время эвакуации 45 с. Количество работающих 5 чел.
11	Ателье по пошиву и ремонту одежды, 2 этажа. Время блокирования путей эвакуации 200 с. Расчетное время эвакуации 80 с. Количество работающих 20 чел.
12	Ателье по пошиву и ремонту одежды, 3 этажа. Время блокирования путей эвакуации 200 с. Расчетное время эвакуации 95 с. Количество работающих 30 чел.
13	Ателье по пошиву и ремонту обуви, 2 этажа. Время блокирования путей эвакуации 260 с. Расчетное время эвакуации 76 с. Количество работающих 17 чел.
14	Ателье по пошиву и ремонту обуви, 3 этажа. Время блокирования путей эвакуации 260 с. Расчетное время эвакуации 90 с. Количество работающих 28 чел.
15	Дом быта, 2 этажа. Время блокирования путей эвакуации 290 с. Расчетное время эвакуации 83 с. Количество работающих 14 чел.

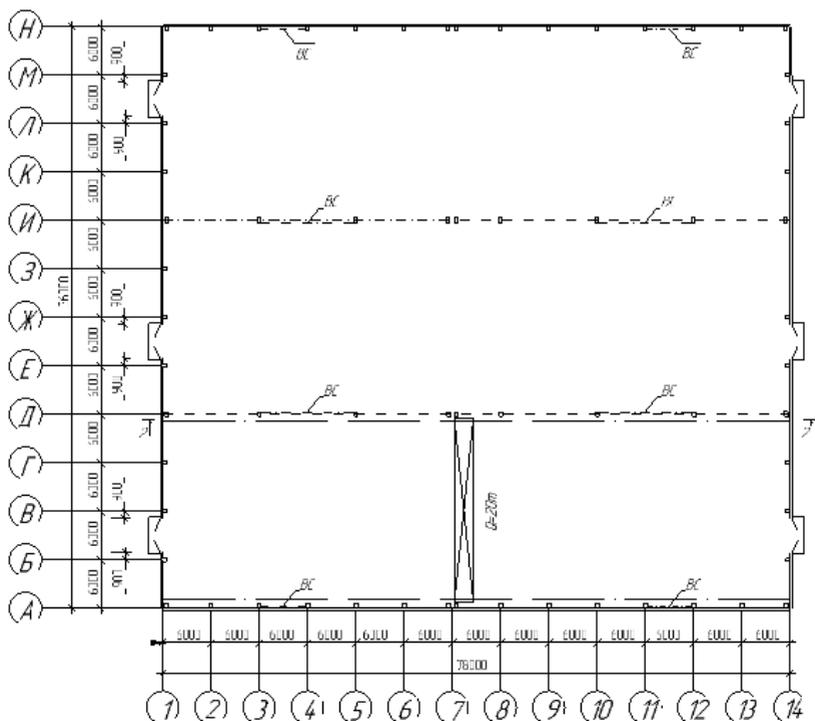
Вариант	Описание объекта
16	Дом быта, 3 этажа. Время блокирования путей эвакуации 290 с. Расчетное время эвакуации 100 с. Количество работающих 32 чел.
17	Фабрика-кухня, 3 этажа. Время блокирования путей эвакуации 250 с. Расчетное время эвакуации 107 с. Количество работающих 27 чел.
18	Кондитерское предприятие, 2 этажа. Время блокирования путей эвакуации 250 с. Расчетное время эвакуации 90 с. Количество работающих 16 чел.
19	Лесобазы. Количество работающих 50 чел. Время блокирования путей эвакуации 200 с. Расчетное время эвакуации 80 с.
20	Деревообрабатывающий цех. Количество работающих 40 чел. Время блокирования путей эвакуации 200 с. Расчетное время эвакуации 75 с.
21	Мебельный цех. Количество работающих 35 чел. Время блокирования путей эвакуации 200 с. Расчетное время эвакуации 70 с.
22	Ателье по пошиву и ремонту одежды, 2 этажа. Время блокирования путей эвакуации 240 с. Расчетное время эвакуации 80 с. Количество работающих 16 чел.
23	Ателье по пошиву и ремонту одежды, 3 этажа. Время блокирования путей эвакуации 240 с. Расчетное время эвакуации 90 с. Количество работающих 20 чел.
24	Ателье по пошиву и ремонту обуви, 2 этажа. Время блокирования путей эвакуации 310 с. Расчетное время эвакуации 75 с. Количество работающих 15 чел.
25	Ателье по пошиву и ремонту обуви, 3 этажа. Время блокирования путей эвакуации 310 с. Расчетное время эвакуации 96 с. Количество работающих 22 чел.
26	Дом быта, 2 этажа. Время блокирования путей эвакуации 320 с. Расчетное время эвакуации 82 с. Количество работающих 12 чел.
27	Дом быта, 3 этажа. Время блокирования путей эвакуации 200 с. Расчетное время эвакуации 80 с. Количество работающих 20 чел.
28	Фабрика-кухня, 3 этажа. Время блокирования путей эвакуации 220 с. Расчетное время эвакуации 85 с. Количество работающих 23 чел.
29	Кондитерское предприятие, 2 этажа. Время блокирования путей эвакуации 200 с. Расчетное время эвакуации 73 с. Количество работающих 12 чел.
30	Сервисный центр бытовой техники, 2 этажа. Время блокирования путей эвакуации 190 с. Расчетное время эвакуации 70 с. Количество работающих 10 чел.
31	Склад промтоваров. Время блокирования путей эвакуации 200 с. Расчетное время эвакуации 80 с. Количество работающих 20 чел.

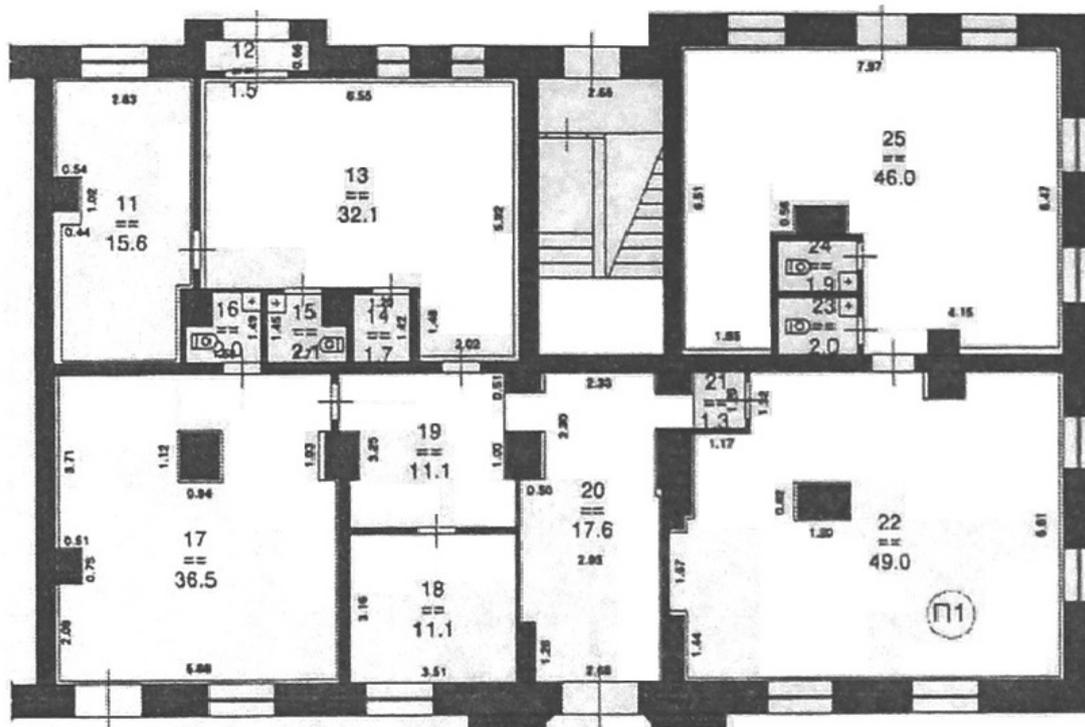
Вариант	Описание объекта
32	Склад строительных материалов. Время блокирования путей эвакуации 310 с. Расчетное время эвакуации 55 с. Количество работающих 6 чел.
33	Склад продовольственных товаров. Время блокирования путей эвакуации 340 с. Расчетное время эвакуации 60 с. Количество работающих 7 чел.
34	Склад для хранения металлических конструкций. Время блокирования путей эвакуации 470 с. Расчетное время эвакуации 50 с. Количество работающих 5 чел.
35	Склад минеральных удобрений. Время блокирования путей эвакуации 200 с. Расчетное время эвакуации 57 с. Количество работающих 8 чел.
36	Производственный корпус СТО. Время блокирования путей эвакуации 270 с. Расчетное время эвакуации 45 с. Количество работающих 12 чел.
37	Краскоприготовительный цех. Время блокирования путей эвакуации 180 с. Расчетное время эвакуации 50 с. Количество работающих 15 чел.
38	Механосборочный цех. Время блокирования путей эвакуации 310 с. Расчетное время эвакуации 60 с. Количество работающих 18 чел.
39	Прессовый цех пластмассовых изделий. Время блокирования путей эвакуации 190 с. Расчетное время эвакуации 55 с. Количество работающих 11 чел.
40	Ремонтно-механический цех. Время блокирования путей эвакуации 390 с. Расчетное время эвакуации 57 с. Количество работающих 14 чел.
41	Электроремонтный цех. Время блокирования путей эвакуации 230 с. Расчетное время эвакуации 60 с. Количество работающих 17 чел.
42	Мукомольный цех. Время блокирования путей эвакуации 210 с. Расчетное время эвакуации 56 с. Количество работающих 12 чел.
43	Склад для хранения металлических конструкций. Время блокирования путей эвакуации 460 с. Расчетное время эвакуации 45 с. Количество работающих 5 чел.
44	Склад строительных материалов. Время блокирования путей эвакуации 360 с. Расчетное время эвакуации 46 с. Количество работающих 6 чел.
45	Склад продовольственных товаров. Время блокирования путей эвакуации 290 с. Расчетное время эвакуации 50 с. Количество работающих 7 чел.
46	Склад минеральных удобрений. Время блокирования путей эвакуации 210 с. Расчетное время эвакуации 40 с. Количество работающих 4 чел.

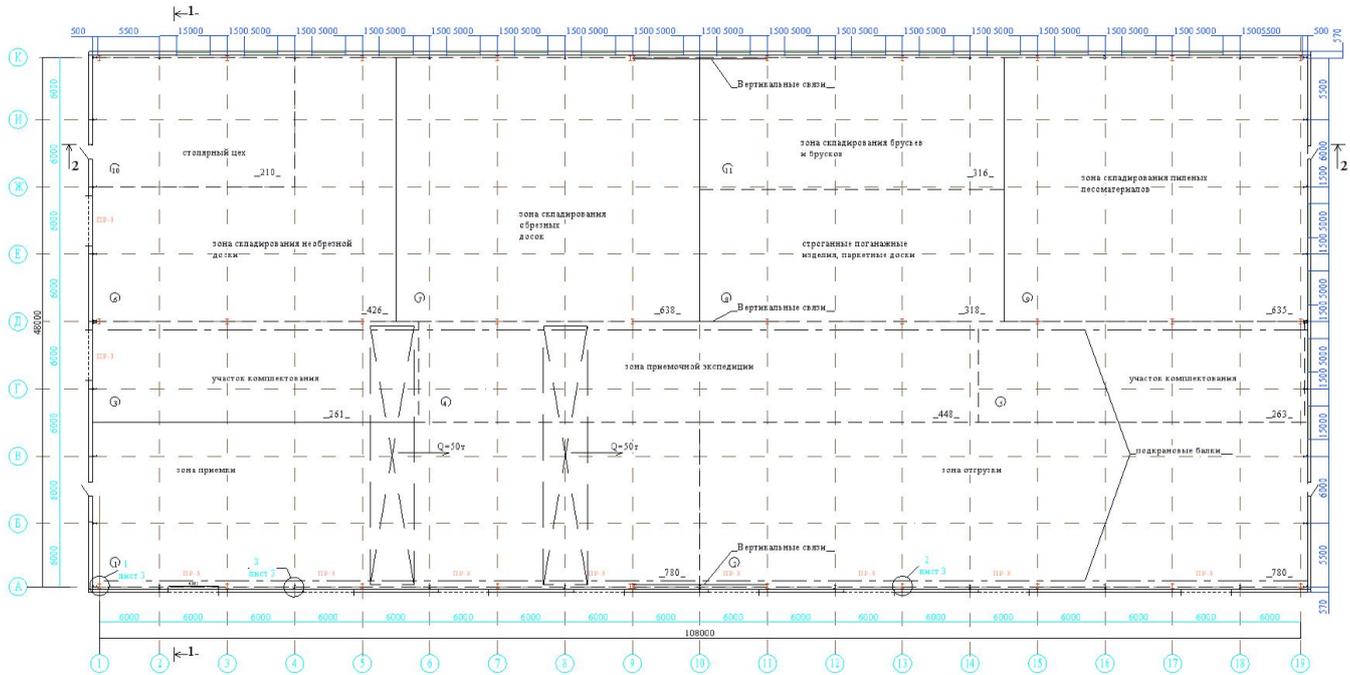
Вариант	Описание объекта
47	Производственный корпус СТО. Время блокирования путей эвакуации 290 с. Расчетное время эвакуации 60 с. Количество работающих 10 чел.
48	Краскоприготовительный цех. Время блокирования путей эвакуации 180 с. Расчетное время эвакуации 48 с. Количество работающих 9 чел.
49	Механосборочный цех. Время блокирования путей эвакуации 330 с. Расчетное время эвакуации 63 с. Количество работающих 14 чел.
50	Прессовый цех пластмассовых изделий. Время блокирования путей эвакуации 200 с. Расчетное время эвакуации 64 с. Количество работающих 15 чел.

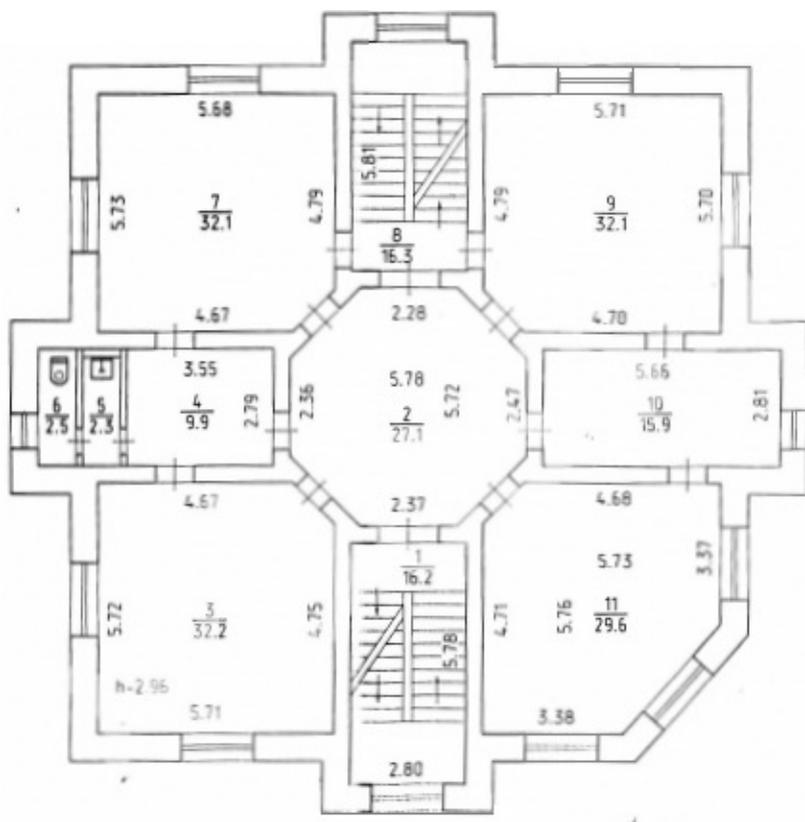
**Планировка зданий
для вариантов заданий практикума по модулю 2**

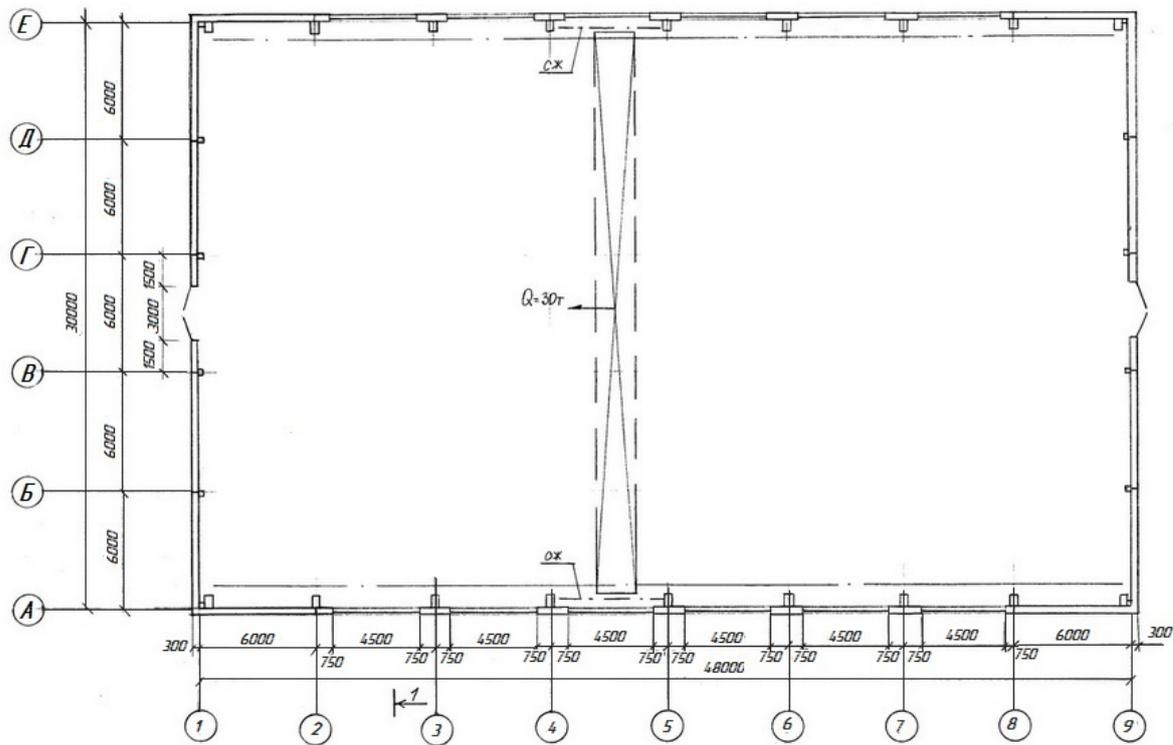
Варианты 1–10

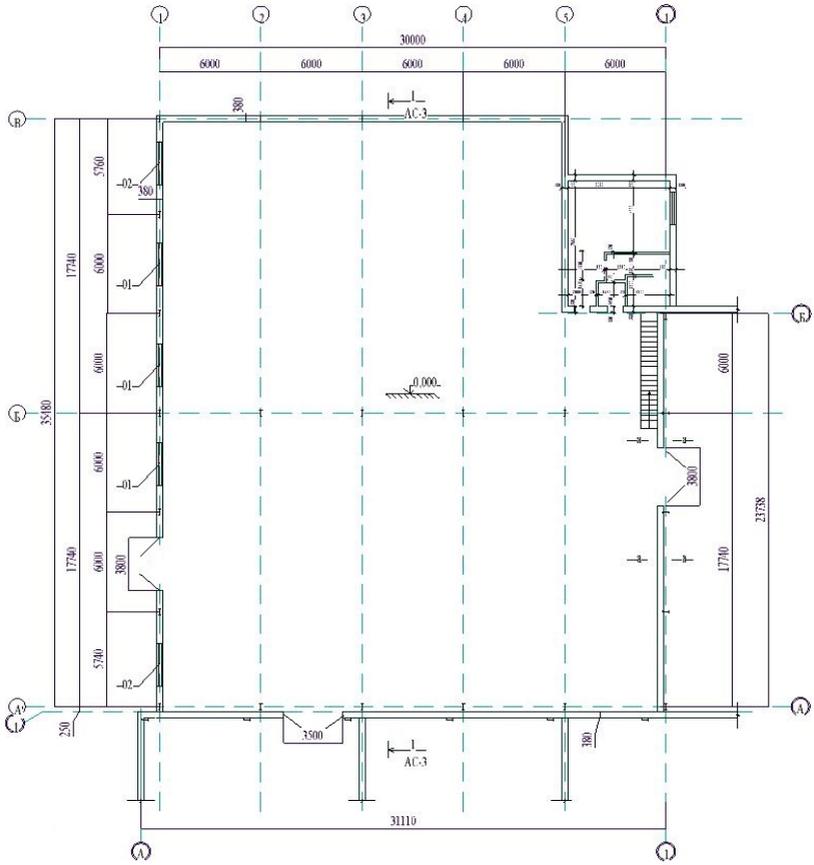


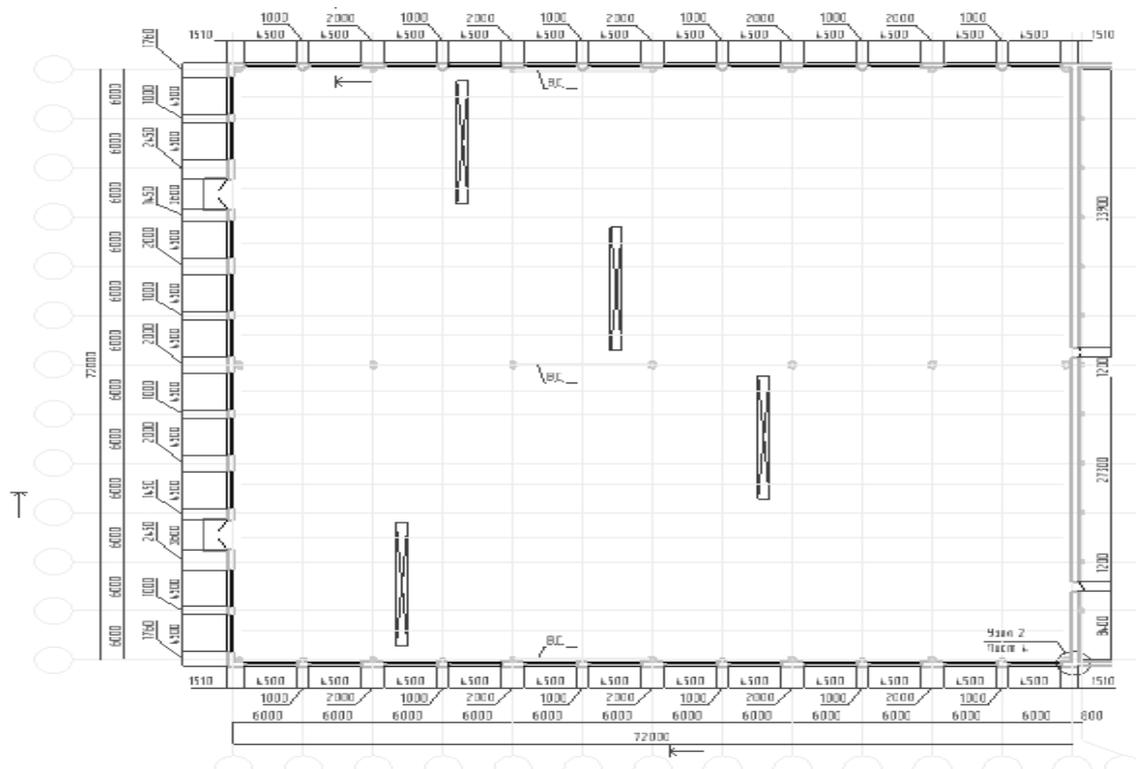












Данные о частотах реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий

Таблица Г.1

Частоты реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для некоторых типов оборудования объектов

Наименование оборудования	Инициирующее событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год ⁻¹
Резервуары, емкости, сосуды и аппараты под давлением	Разгерметизация с последующим истечением жидкости, газа или двухфазной среды	5	$4,0 \cdot 10^{-5}$
		12,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$
		25	$6,2 \cdot 10^{-5}$
		50	$3,8 \cdot 10^{-5}$
		100	$1,7 \cdot 10^{-5}$
	Полное разрушение		$3,0 \cdot 10^{-7}$
Химические реакторы	Разгерметизация с последующим истечением жидкости, газа или двухфазной среды	5	$4,0 \cdot 10^{-5}$
		12,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$
		25	$6,2 \cdot 10^{-5}$
		50	$3,8 \cdot 10^{-5}$
		Полное разрушение	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Насосы (центробежные с одинарным торцевым уплотнением)	Разгерметизация с последующим истечением жидкости, газа или двухфазной среды	5	$1,6 \cdot 10^{-3}$
		12,5	$6,1 \cdot 10^{-4}$
		25	$5,1 \cdot 10^{-4}$
		50	$2,0 \cdot 10^{-4}$
		Диаметр подводящего/отводящего трубопровода	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Компрессоры (центробежные)	Разгерметизация с последующим истечением газа	5	$1,1 \cdot 10^{-2}$
		12,5	$1,3 \cdot 10^{-3}$
		25	$3,9 \cdot 10^{-4}$
		50	$1,3 \cdot 10^{-4}$
		Полное разрушение	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ при давлении, близком к атмосферному (при единичном объеме 450 м ³ и более)	Разгерметизация с последующим истечением жидкости в обвалование	25	$8,8 \cdot 10^{-5}$
		100	$1,2 \cdot 10^{-5}$
		Полное разрушение	$5,0 \cdot 10^{-5}$

Наименование оборудования	Иницирующее аварию событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год ⁻¹
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ при давлении, близком к атмосферному (при единичном объеме менее 450 м ³)	Разгерметизация с последующим истечением жидкости в обвалование	25	$5,0 \cdot 10^{-4}$
		100	$5,0 \cdot 10^{-5}$
		Полное разрушение	$8,0 \cdot 10^{-5}$
Одностенные изотермические резервуары для хранения сжиженных газов	Разгерметизация с последующим истечением жидкости в обвалование	Утечка паров	$2,0 \cdot 10^{-4}$
		150	$1,0 \cdot 10^{-4}$
		500	$8,0 \cdot 10^{-5}$
		Полное разрушение	$4,0 \cdot 10^{-5}$
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ с плавающей крышей	Пожар в кольцевом зазоре по периметру резервуара	—	$4,6 \cdot 10^{-3}$
	Пожар по всей поверхности резервуара	—	$9,3 \cdot 10^{-4}$
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ со стационарной крышей	Пожар на дыхательной арматуре	—	$9,0 \cdot 10^{-5}$
	Пожар по всей поверхности резервуара	—	$9,0 \cdot 10^{-5}$
Гибкие соединения для проведения сливо-наливных операций	Разгерметизация с последующим истечением жидкости, газа или двухфазной среды	5	$1,3 \cdot 10^{-5}$
		15	$1,0 \cdot 10^{-5}$
		Полное разрушение	$4,0 \cdot 10^{-5}$

Примечания.

1. Здесь и далее под полным разрушением подразумевается утечка с диаметром истечения, соответствующим максимальному диаметру подводящего или отводящего трубопровода, или разрушения резервуара, емкости, сосуда или аппарата.
2. Для гибких соединений для проведения сливо-наливных операций в таблице приведена вероятность разгерметизации (разрушения) на одну сливо-наливную операцию.

При определении частоты разгерметизации фильтров и кожухотрубных теплообменников указанное оборудование допускается рассматривать как аппараты под давлением.

Аппараты воздушного охлаждения допускается рассматривать как участки технологических трубопроводов, длина которых соответствует суммарной длине труб в пучках теплообменника.

Частота реализации сценариев, связанных с образованием огненного шара на емкостном оборудовании со сжиженными газами и ЛВЖ вследствие внешнего воздействия очага пожара, определяется на основе процедуры построения логических деревьев событий.

При отсутствии необходимых данных допускается принимать частоту внешнего воздействия, приводящего к реализации огненного шара, равной $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ на один аппарат (резервуар).

Частота возникновения пожара в здании (помещении) Q , год^{-1} , может быть также определена исходя из данных по частотам возникновения пожаров в различных зданиях и площади здания (помещения).

Следует отметить, что зависимость частоты возникновения пожара в здании от площади здания может не являться линейной. Частота возникновения пожара в здании (помещении) Q , год^{-1} , может быть также рассчитана по следующей формуле:

$$Q = a \cdot F^b,$$

где a , b — константы, определяемые для различных зданий по табл. Г.4; F — площадь здания (помещения) производственного объекта, м^2 .

Использование указанной формулы и таблицы Г.4 рекомендуется для помещений площадью более 1000 м^2 .

Таблица Г.2

Частоты утечек из технологических трубопроводов

Диаметр трубопровода, мм	Частота утечек ($\text{м}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$)				
	Малая (диаметр отверстия 12,5 мм)	Средняя (диаметр отверстия 25 мм)	Значительная (диаметр отверстия 50 мм)	Большая (диаметр отверстия 100 мм)	Разрыв
50	$5,7 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$	—	—	$1,4 \cdot 10^{-6}$
100	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	—	$2,4 \cdot 10^{-7}$
150	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$7,9 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$
250	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$7,8 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$
600	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$	$7,9 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-8}$	$6,4 \cdot 10^{-9}$
900	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$5,2 \cdot 10^{-8}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$4,2 \cdot 10^{-9}$
1200	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$9,8 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$3,2 \cdot 10^{-9}$

Таблица Г.3

Частоты возникновения пожаров в зданиях

Наименование объекта	Частота возникновения пожара ($\text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$)
Электростанции	$2,2 \cdot 10^{-5}$
Склады химической продукции	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Склады многономенклатурной продукции	$9,0 \cdot 10^{-5}$
Инструментально-механические цеха	$0,6 \cdot 10^{-5}$
Цеха по обработке синтетического каучука и искусственных волокон	$2,7 \cdot 10^{-5}$
Литейные и плавильные цеха	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Цеха по переработке мясных и рыбных продуктов	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Цеха горячей прокатки металлов	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Текстильные производства	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Административные здания производственных объектов	$1,2 \cdot 10^{-5}$

Таблица Г.4

Характеристика зданий	<i>a</i>	<i>b</i>
Здания пищевой, табачной промышленности	0,0011	0,6
Переработка горючих веществ, химическая промышленность	0,0069	0,46
Размещение электротехнического оборудования	0,0061	0,59
Обслуживание транспортных средств	0,00012	0,86
Текстильная промышленность	0,0075	0,35
Полиграфические предприятия, издательское дело	0,0007	0,91
Административные здания производственных объектов	0,00006	0,9
Другие виды зданий производственных объектов	0,0084	0,41

***Вероятность эффективного срабатывания некоторых систем
противопожарной защиты***

Системы противопожарной защиты	Условная вероятность эффективного срабатывания
Системы противопожарной защиты при соблюдении в полном объеме требований нормативных документов по пожарной безопасности при проектировании, монтаже и эксплуатации:	
- автоматические установки пожарной сигнализации	0,8
- автоматические установки пожаротушения или водяного орошения при наличии контроля за работоспособностью установки независимой организацией (вне зависимости от типа установки пожаротушения)	0,95
- автоматические установки водяного (пенного) пожаротушения или водяного орошения при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией	0,6
- остальные типы автоматических установок пожаротушения при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией	0,5
Системы противопожарной защиты при несоблюдении в полной объеме требований нормативных документов по пожарной безопасности при проектировании, монтаже и эксплуатации (при отсутствии данных предприятия-поставщика)	0