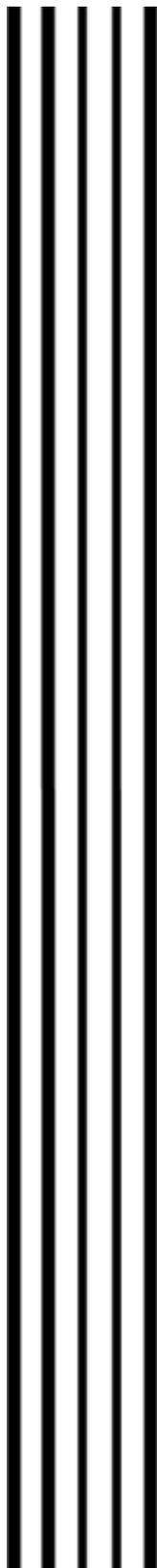


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»**



ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Практикум

**Казань
2020**

УДК 614
ББК 68.9
Т38

Рецензенты:

д.т.н., профессор КНИТУ КАИ им. А.Н. Туполева *В.Г. Крюков*;
доцент, канд. биол. наук ФГБОУ ВО «КГЭУ» *Э.Р. Бариева*

Т38 **Техногенная безопасность:** практикум / сост. А.В. Демин. –
Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. – 31 с.

Представлены основные теоретические сведения и практические задания по применению методов анализа дерева отказов и дерева событий, используемых для качественной и количественной оценки риска инцидентов и аварий на опасных производственных объектах; оценки последствий воздействия опасных факторов аварий для определения степени возможного поражения персонала и разрушения зданий и сооружений; расчета индивидуального риска при воздействии поражающих факторов на территории и в зданиях опасного производственного объекта.

Предназначен для студентов всех форм обучения по образовательным программам направлений подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника 13.04.03 Энергетическое машиностроение.

УДК 614
ББК 68.9

ВВЕДЕНИЕ

В сфере обеспечения техногенной безопасности важное место занимают проблемы, связанные с промышленной, пожарной безопасностью и безопасностью в чрезвычайных ситуациях. Актуальной комплексной задачей является анализ опасностей и оценки риска возникновения аварий, в том числе и на опасных производственных объектах. Методология анализа и оценки риска, используемая в Российской Федерации, достаточно эффективна, и позволяет проводить качественную и количественную оценку риска. Для разработки и реализации мероприятий по обеспечению безопасности высокую значимость имеют результаты количественной оценки риска.

Данное издание предоставляет возможность при изучении дисциплины «Техногенная безопасность» получения практических навыков по анализу опасностей и оценке риска на производственных объектах, а также расширения и углубления способности осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий.

Практикум может быть использован непосредственно при проведении практических занятий, а также при выполнении обучающимися индивидуальной самостоятельной работы.

В практикуме приведены четыре практических занятия, темы которых логически взаимосвязаны. Структура каждого практического занятия включает: цель занятия; основные теоретические сведения и расчетные формулы; многовариантные задания для самостоятельной работы; контрольные вопросы. Номер варианта задания для самостоятельного выполнения соответствует порядковому номеру студента в журнале группы.

Оформления отчета в отдельной форме не требуется. Результаты выполнения заданий приводятся в рабочей тетради каждым студентом в следующем порядке: тема занятия; номер варианта задания; основные расчетные формулы; численные результаты и их описание; основные выводы.

Практическое занятие № 1

МЕТОДЫ «АНАЛИЗ ДЕРЕВА ОТКАЗОВ» И «АНАЛИЗ ДЕРЕВА СОБЫТИЙ»

Цель занятия – получение практических навыков по применению методов анализа техногенного риска для качественной и количественной оценки событий, приводящих к инциденту или аварии, и последствий таких событий.

Основные теоретические сведения и расчетные формулы

Метод «Анализа дерева отказов» (АДО) предназначен для качественного или количественного анализа комбинации отказов технических устройств, инцидентов, ошибок персонала и нерасчетных внешних (техногенных, природных) воздействий, приводящих к аварии на опасном производственном объекте (ОПО). Метод АДО используется для анализа возможных причин возникновения аварии и расчета ее частоты (на основе знания частот исходных событий) [1].

Структура дерева отказов включает одно головное (конечное нежелательное) событие (как правило, это авария и (или) инцидент), которое соединяется с набором соответствующих нижестоящих событий (ошибки, отказы, неблагоприятные внешние воздействия), образующих причинные цепи (сценарии аварий). Для связи между событиями в «узлах» деревьев используются знаки «И» и «ИЛИ». Логический знак «И» означает, что вышестоящее событие возникает при одновременном наступлении нижестоящих событий (соответствует перемножению их вероятностей для оценки вероятности вышестоящего события). Знак «ИЛИ» означает, что вышестоящее событие может произойти вследствие возникновения одного из нижестоящих событий.

При анализе дерева отказа рекомендуется определять минимальные сочетания событий, определяющие возникновение или невозможность возникновения аварии (минимальные пропускное и отсечное сочетания соответственно).

Минимальные пропускные сочетания – это набор исходных событий, предпосылок, обязательное (одновременное) возникновение которых достаточно для появления головного события (аварии).

Минимальные отсечные сочетания – набор исходных событий, который гарантирует отсутствие головного события при условии невозникновения ни одного из составляющих этот набор событий.

Пример дерева отказов для сценария развития аварийной ситуации на химическом реакторе для оценки вероятности сброса опасных веществ в атмосферу через предохранительный клапан (ПК) приведен на рис. 1.1 [2].

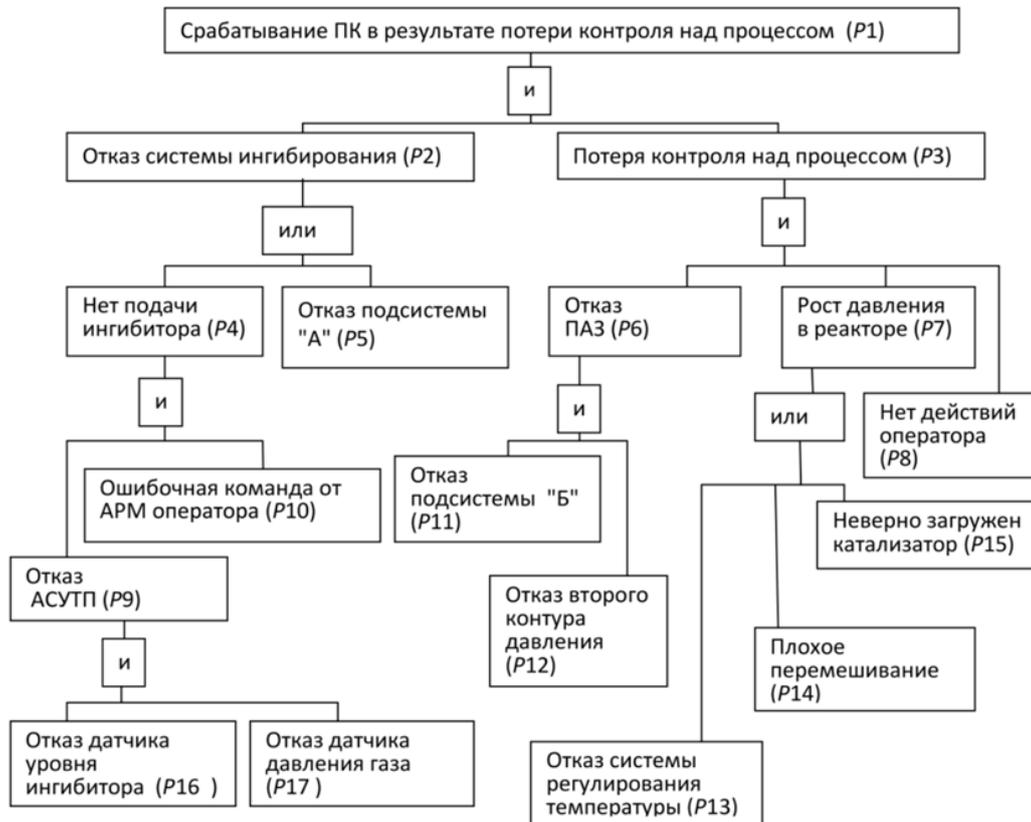


Рис. 1.1. Пример дерева отказов

Из приведенного дерева отказов следует, что для потери контроля над технологическим процессом и выброса опасного вещества в атмосферу с ПК должно произойти множество событий, основные из которых перечислены ниже.

Согласно дереву отказов для выброса опасного вещества необходим не только подъем давления в реакторе по причине отказа систем регулирования температуры и контроля перемешивания, нарушений при подготовке каталитической смеси, но и отказа автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП). Кроме этого должен произойти отказ системы ингибирования, для чего должны произойти следующие события:

- недостаточно ингибитора из-за отказа датчиков уровня в емкости хранения ингибитора;
- недостаточное давление в системе азота из-за отказа системы регулирования давления;

- отказ системы противоаварийной защиты (ПАЗ);
- неприятие или ошибочность действий оператором при поступлении сигнала о достижении максимально допустимого давления в реакторе и др.

Вероятность события, у которого первопричины соединены связью «И», определяется по формуле:

$$P = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (1.1)$$

где P – вероятность вышестоящего события; P_i – вероятность i -го нижестоящего события; i – количество нижестоящих событий.

Для события, у которого первопричины соединены связью «ИЛИ»:

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i). \quad (1.2)$$

Например, вероятности событий P_9 и P_2 , показанных на рис. 1.1:

$$P_9 = P_{16} \cdot P_{17}; \quad P_2 = 1 - (1 - P_4)(1 - P_5). \quad (1.3)$$

Метод «Анализ дерева событий» (АДС) – количественный или полуколичественный метод, включающий построение последовательности событий, исходящих из основного события, как правило, аварии на ОПО. Метод АДС используется для анализа развития аварийной ситуации. Частота каждого сценария развития аварийной ситуации рассчитывается путем умножения частоты основного события на условную вероятность конечного события (например, аварии с разгерметизацией оборудования с горючим веществом в зависимости от условий могут развиваться как с воспламенением, так и без воспламенения вещества).

Пример дерева событий при разрыве сосудов под давлением представлен на рис. 1.2 [2].

На рис. 1.2 обозначены: исходная величина – частота разгерметизации Q_0 , на «ветвях» указаны (в скобках) условные вероятности промежуточных событий, крайние значения – частоты конечных событий Q_1, \dots, Q_7 .

Значение частоты возникновения отдельного события или сценария пересчитывается путем умножения частоты возникновения иницирующего события на условную вероятность развития аварии по конкретному сценарию.

Например, $Q_7 = Q_0 \cdot P_7$, где $P_7 = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,3 \cdot 0,01 \cdot 0,99 = 0,002673$.
 Если $Q_0 = 5,5 \cdot 10^{-3}$, то частота возникновения события 7 равна
 $Q_7 = 5,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,002673 = 1,47 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$.

Разгерметизация сосуда под давлением	Разгерметизация сверху / снизу	Обнаружение загазованности / обнаружение утечки	Мгновенное зажигание	Результирующее событие
--------------------------------------	--------------------------------	---	----------------------	------------------------

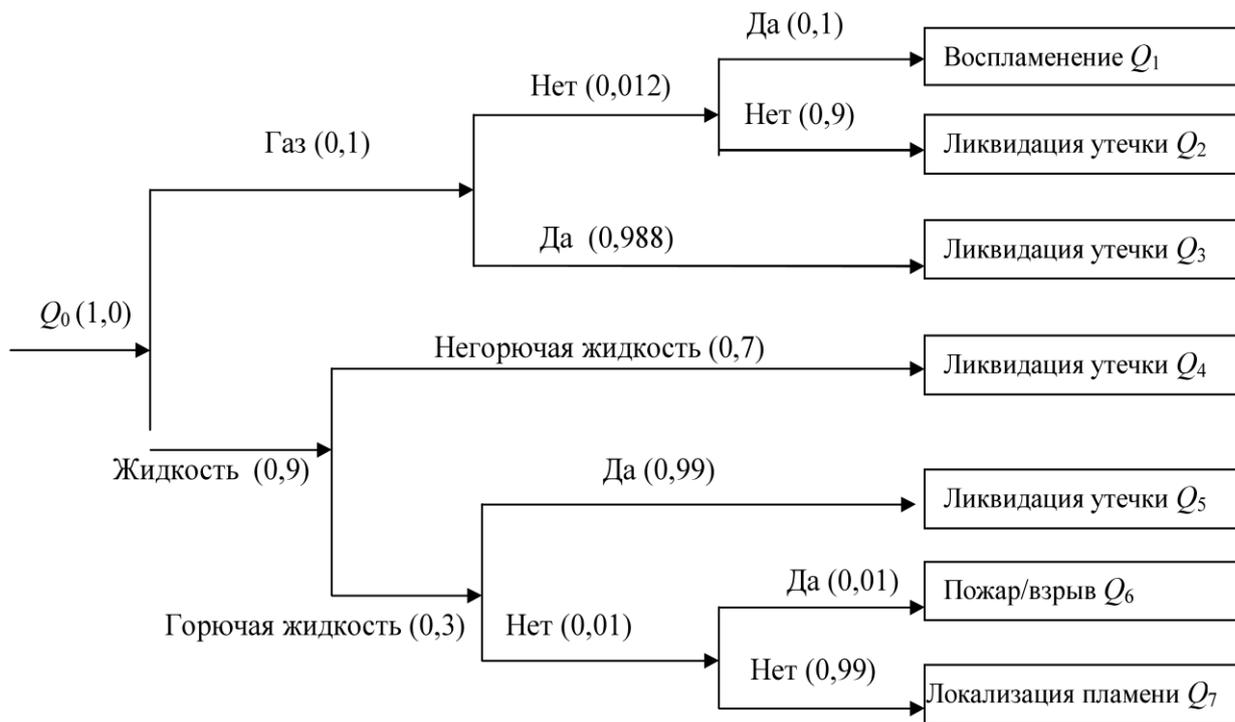


Рис. 1.2. Пример дерева событий для случая разгерметизации сосудов, работающих под давлением

Задания для самостоятельной работы

1. Вычислите вероятность P_1 потери контроля над процессом неконтролируемого роста давления с последующим срабатыванием ПК на одном реакторе.

Для всех вариантов вероятности соответствующих событий:

$$P_5 = 10^{-2}; P_8 = 2 \cdot 10^{-2}; P_{10} = 2 \cdot 10^{-2}; P_{11} = 4 \cdot 10^{-3}; P_{12} = 3 \cdot 10^{-2}.$$

Таблица 1.1

Исходные данные

№ варианта	Вероятности событий, $\times 10^{-2}$				
	P_{13}	P_{14}	P_{15}	P_{16}	P_{17}
1	1,0	1,02	1,05	1,08	1,11
2	1,05	1,07	1,1	1,13	1,16
3	1,1	1,12	1,15	1,18	1,21
4	1,15	1,17	1,2	1,23	1,26
5	1,2	1,22	1,25	1,28	1,31
6	1,25	1,27	1,3	1,33	1,36
7	1,3	1,32	1,35	1,38	1,41
8	1,35	1,37	1,4	1,43	1,46
9	1,4	1,42	1,45	1,48	1,51
10	1,45	1,47	1,5	1,53	1,56
11	1,5	1,52	1,55	1,58	1,61
12	1,55	1,57	1,6	1,63	1,66
13	1,6	1,62	1,65	1,68	1,71
14	1,65	1,67	1,7	1,73	1,76
15	1,7	1,72	1,75	1,78	1,81
16	1,75	1,77	1,8	1,83	1,86
17	1,8	1,82	1,85	1,88	1,91
18	1,85	1,87	1,9	1,93	1,96
19	1,9	1,92	1,95	1,98	2,01
20	1,95	1,97	2,0	2,03	2,06
21	2,0	2,02	2,05	2,08	2,11
22	2,05	2,07	2,1	2,13	2,16
23	2,1	2,12	2,15	2,18	2,21
24	2,15	2,17	2,2	2,23	2,26
25	2,2	2,22	2,25	2,28	2,31

2. Вычислите условные вероятности и частоты результирующих событий Q_1, \dots, Q_7 .

Таблица 1.2

Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5
$Q_0, 10^{-3} \text{ год}^{-1}$	6,65	6,95	7,25	7,89	8,56
Вариант	6	7	8	9	10
$Q_0, 10^{-3} \text{ год}^{-1}$	7,65	7,95	8,25	8,89	9,56
Вариант	11	12	13	14	15
$Q_0, 10^{-3} \text{ год}^{-1}$	8,65	8,95	9,25	9,89	10,56
Вариант	16	17	18	19	20
$Q_0, 10^{-3} \text{ год}^{-1}$	10,67	10,97	10,25	10,89	8,56
Вариант	21	22	23	24	25
$Q_0, 10^{-3} \text{ год}^{-1}$	9,65	9,75	8,35	8,95	8,55

Контрольные вопросы

1. Объясните назначение метода «Анализ дерева отказов».
2. Дайте определение понятия «минимальные отсечные сочетания».
3. Дайте определение понятия «минимальные пропускные сочетания».
4. Укажите, в каких случаях используется логический знак «И».
5. Укажите, в каких случаях используется логический знак «ИЛИ».
6. Объясните назначение метода «Анализ дерева событий».
7. Дайте определение условной вероятности начального события.
8. Укажите, каким образом вычисляются частоты результирующих событий.

Практическое занятие № 2

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ ПРИ ВЗРЫВЕ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ОТКРЫТОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Цель занятия – получение практических навыков оценки последствий воздействия опасных факторов аварий с использованием вероятностных и детерминированных критериев.

Основные теоретические сведения и расчетные формулы

При оценке последствий воздействия опасных факторов аварий на опасных производственных объектах и для оценки степени возможного поражения людей и разрушения зданий, сооружений по вычисленным параметрам поражающих факторов могут использоваться как детерминированные (учитывающие только величину поражающих факторов), так и вероятностные критерии (по пробит-функции, характеризующей вероятность возникновения последствий определенного масштаба в зависимости от уровня воздействия) [2].

Детерминированные критерии устанавливают значения поражающего фактора, при которых наблюдается тот или иной уровень поражения (разрушения).

Детерминированные критерии присваивают определенной величине негативного воздействия поражающего фактора конкретную степень поражения людей, разрушения зданий, инженерно-технических сооружений.

В случае использования детерминированных критериев условная вероятность поражения принимается равной 1, если значение поражающего фактора превышает предельно допустимый уровень, и равной 0, если значение предельно допустимого уровня поражения не достигается.

Вероятностные критерии показывают, какова условная вероятность того или иного уровня поражения (разрушения) при заданном значении поражающего фактора.

Независимо от источника возникновения все чрезвычайные ситуации имеют практически одни и те же факторы негативного воздействия на человека и среду его обитания. Это воздействие ударной волны при взрыве газоздушных смесей, взрывчатых веществ, технологических установок и т. д.; термическое воздействие при пожарах; токсическое воздействие выбросов опасных химических веществ и т. п.; радиоактивное воздействие; механическое воздействие при поражении осколками, современным оружием, при обрушении зданий и сооружений и т. п.

Одна и та же мера воздействия (количество воздействующего токсиканта, доза радиации, количество теплоты, избыточное давление ударной волны и др.) может вызвать последствия различной тяжести у разных людей, т. е. эффект поражения носит вероятностный характер.

Величина вероятности поражения $P_{\text{пор}}$ (измеряется в долях единицы или в процентах) выражается функцией Гаусса, записываемой в виде:

$$P_{\text{пор}} = f(\text{Pr}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\text{Pr}-5} \exp\left(-t^2 / 2\right) dt. \quad (2.1)$$

Верхним пределом интеграла является пробит-функция, которая отражает связь между вероятностью поражения $P_{\text{пор}}$ и дозой негативного воздействия D ,

$$\text{Pr} = a + b \cdot \ln D, \quad (2.2)$$

где a и b – константы для каждого вещества и процесса, характеризующие специфику и меру опасности его воздействия; D – доза негативного воздействия (для оценки воздействия теплового излучения – функция плотности интенсивности теплового излучения и времени воздействия; для барического воздействия – избыточное давление на фронте ударной волны и импульс фазы сжатия; для токсического воздействия – концентрация токсического вещества и время воздействия).

Задания для самостоятельной работы

1. Вычислите значения избыточного давления и импульса волны давления. Вычислите значение пробит-функции и по табл. 2.1 [2] определите вероятность поражения от прямого воздействия на людей избыточного давления и импульса для заданного варианта.

Для расчета избыточного давления Δp , кПа, развиваемого при сгорании газозвоздушных смесей, используйте формулу:

$$\Delta p = p_0 \left(0,8 m_{\text{пр}}^{0,33} / r + 3 m_{\text{пр}}^{0,66} / r^2 + 5 m_{\text{пр}} / r^3 \right), \quad (2.3)$$

где p_0 – атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа); r – расстояние от геометрического центра газозвоздушного облака, м; $m_{\text{пр}}$ – приведенная масса газа или пара, кг; Z – коэффициент участия, который допускается принимать равным 0,1; Q_0 – константа, равная $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг; $m_{\text{Г}}$ – масса горючего газа, поступившего в результате аварии в окружающее пространство, кг.

Формула для расчета приведенной массы газа или пара:

$$m_{\text{пр}} = (Q_{\text{сг}} / Q_0) m_{\text{Г}} Z, \quad (2.4)$$

где $Q_{\text{сг}}$ – удельная теплота сгорания газа, Дж/кг.

Импульс волны давления i , Па·с, рассчитывают по формуле:

$$i = 123 m_{\text{пр}}^{0,66} / r. \quad (2.5)$$

Формула для расчета значения пробит-функции:

$$\text{Pr} = 10 - 0,26 \cdot \ln(V), \quad (2.6)$$

где $V = (17,5 / \Delta p)^{8,4} + (290 / i)^{9,3}$.

Некоторые значения условной вероятности поражения приведены в табл. 2.1. Например, при значении пробит-функции, равном 5,10, условная вероятность поражения имеет значение 54 %; при значении пробит-функции, равном 7,51, условная вероятность поражения имеет значение 99,4 %.

Таблица 2.1

Зависимость условной вероятности поражения $P_{\text{пор}}$
от величины пробит-функции Pr

Условная вероятность поражения, %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Величина пробит-функции									
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	3,90	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
-	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Таблица 2.2

Варианты заданий

№ варианта	m_{Γ} , кг	$Q_{\text{сг}}$, МДж/кг	r , м	№ варианта	m_{Γ} , кг	$Q_{\text{сг}}$, МДж/кг	r , м
1	40	30	14	14	66	43	40
2	42	31	16	15	68	44	42
3	44	32	18	16	70	45	44
4	46	33	20	17	72	46	46
5	48	34	22	18	74	47	48
6	50	35	24	19	76	48	50
7	52	36	26	20	78	49	52
8	54	37	28	21	80	50	54
9	56	38	30	22	82	51	56
10	58	39	32	23	84	52	58
11	60	40	34	24	86	53	60
12	62	41	36	25	88	54	62
13	64	42	38				

2. Определите степень разрушения типовых промышленных зданий при рассчитанном значении избыточного давления для заданного варианта по табл. 2.3 [2].

Таблица 2.3

**Критерии разрушения типовых промышленных зданий
от избыточного давления**

Степень разрушения	Избыточное давление, кПа
Полное разрушение зданий	Более 100
Тяжелые повреждения, здание подлежит сносу	70
Средние повреждения зданий, возможно восстановление здания	28
Разрушение оконных проемов, легкобрасываемых конструкций	14
Частичное разрушение остекления	Менее 2

3. Определите степень разрушения для каждого типа зданий и сооружений при рассчитанном значении избыточного давления для заданного варианта по табл. 2.4 [2].

Таблица 2.4

Данные о степени разрушения производственных, административных зданий
и сооружений, имеющих разную устойчивость

Тип зданий, сооружений	Разрушение при избыточном давлении на фронте ударной волны, кПа			
	Слабое	Среднее	Сильное	Полное
Промышленные здания с тяжелым металлическим или железобетонным каркасом	20–30	30–40	40–50	> 50
Промышленные здания с легким каркасом и бескаркасной конструкции	10–20	25–35	35–45	> 45
Складские кирпичные здания	10–20	20–30	30–40	> 40
Одноэтажные складские помещения с металлическим каркасом и стеновым заполнением из листового металла	5–7	7–10	10–15	> 15
Бетонные и железобетонные здания и антисейсмические конструкции	25–35	80–120	150–200	> 200
Здания железобетонные монолитные повышенной этажности	25–45	45–105	105–170	170–215
Котельные, регуляторные станции в кирпичных зданиях	10–15	15–25	25–35	35–45
Деревянные дома	6–8	8–12	12–20	> 20
Подземные сети, трубопроводы	400–600	600–1000	1000–1500	1500
Трубопроводы наземные	20	50	130	–
Кабельные подземные линии	до 800	–	–	1500
Цистерны для перевозки нефтепродуктов	30	50	70	80
Резервуары и емкости стальные наземные	35	55	80	90
Подземные резервуары	40	75	150	200

4. Определите условную вероятность травмирования и гибели людей, находящихся в зданиях, в зависимости от степени разрушения зданий при рассчитанном значении избыточного давления по табл. 2.5 [2]. Тип здания или сооружения – котельные, регуляторные станции в кирпичных зданиях.

Таблица 2.5

Зависимость условной вероятности поражения человека с разной степенью тяжести от степени разрушения здания

Тяжесть поражения	Степень разрушения			
	Полная	Сильная	Средняя	Слабая
Смертельное	0,6	0,49	0,09	0
Тяжелые травмы	0,37	0,34	0,1	0
Легкие травмы	0,03	0,17	0,2	0,05

5. На основании выполненных расчетов и проведенных оценок сформулируйте краткие выводы, содержащие основные рекомендации по предупреждению и защите от негативного воздействия поражающих факторов.

Выбор рекомендаций по снижению риска аварии имеет следующие приоритеты:

а) меры, снижающие возможность возникновения аварии, включающие:

- уменьшение возможности возникновения инцидентов;
- уменьшение вероятности перерастания инцидента в аварию;

б) меры, снижающие тяжесть последствий возможных аварий, включающие:

– уменьшение вероятности эскалации аварий, когда последствия какой-либо аварии становятся непосредственной причиной аварии на соседних составных частях ОПО;

– уменьшение вероятности нахождения групп людей в зонах поражающих факторов аварий;

– ограничение возможности возрастания масштаба и интенсивности воздействия поражающих факторов аварии;

– уменьшение вероятности развития аварии по наиболее опасным сценариям возможной аварии;

– увеличение требуемого уровня надежности системы противоаварийной защиты, средств активной и пассивной защиты от воздействия поражающих факторов аварии;

в) меры обеспечения готовности к локализации и ликвидации последствий аварий.

Для оптимизации разработанных рекомендаций по снижению риска аварии рекомендуется использовать следующую альтернативу:

а) в рамках доступных ресурсов обеспечить максимальное снижение риска аварии при эксплуатации ОПО;

б) обеспечить снижение риска аварий до требуемого уровня (в том числе допустимого риска аварии) при минимальных затратах ресурсов.

Для систем управления промышленной безопасностью рекомендуется преимущественно использовать первый способ при краткосрочном и второй способ при среднесрочном и долгосрочном планировании безопасной эксплуатации ОПО.

В качестве приоритетных способов обеспечения защиты в случае возникновения инцидентов и аварий рекомендуется использовать:

– пассивную защиту эффективным расстоянием (включая физические барьеры) от опасного воздействия поражающих факторов возможных аварий на стадии проектирования ОПО;

– активную защиту от перерастания аварийной опасности в угрозу аварии для жизни и здоровья человека, имущества и окружающей среды на стадии эксплуатации ОПО.

Примеры способов пожаровзрывозащиты:

– ограничение массы опасных веществ при хранении и в технологических аппаратах;

– флегматизация горючих смесей в аппаратах и технологическом оборудовании;

– вынос пожароопасного оборудования в изолированные помещения;

– применение устройств, снижающих давление в аппаратах до безопасной величины при сгорании газовых и паровоздушных смесей;

– установка в технологическом оборудовании быстродействующих отключающих устройств.

Контрольные вопросы

1. Укажите, каким образом применяются детерминированные критерии.
2. Укажите, каким образом применяются вероятностные критерии.
3. Дайте определение понятия «пробит-функция».
4. Дайте определение понятия «доза негативного воздействия».
5. Укажите основные приоритеты при выборе рекомендаций для снижения риска аварий на ОПО.
6. Укажите основные способы обеспечения защиты при возникновении инцидентов или аварий.

Практическое занятие № 3

РАСЧЕТ ИНДИВИДУАЛЬНОГО РИСКА НА ТЕРРИТОРИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА

Цель занятия – получение практических навыков по оценке величин индивидуального риска работников ОПО при возникновении пожаров и взрывов.

Основные теоретические сведения и расчетные формулы

Расчет значений индивидуального риска на территории объекта проводится с использованием в качестве промежуточной величины значения соответствующего потенциального пожарного риска (далее – потенциальный риск) [3].

Величина потенциального риска $P(a)$, год⁻¹, в определенной точке a как на территории объекта и в селитебной зоне вблизи объекта определяется по формуле:

$$P(a) = \sum_{j=1}^J Q_{dj}(a) \cdot Q_j, \quad (3.1)$$

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 иницирующему аварии событию; Q_j – частота реализации в течение года j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, год⁻¹.

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

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.

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

$$R_m = \sum_{i=1} q_{im} \cdot P(i), \quad (3.2)$$

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

Вероятность q_{im} принимается равной доле времени нахождения рассматриваемого человека в определенной i -ой области территории в течение года на основе сведений по организации эксплуатации и технического обслуживания оборудования. Например, если количество рабочих дней в году 250 и продолжительность рабочей смены 8 часов в день, то вероятность присутствия работника на рабочем месте в течение года равна:

$$q_m = (250 \cdot 8) / (365 \cdot 24) = 0,228.$$

Рассматриваются два сценария развития аварии: C_1 – взрыв газовой смеси; частота реализации сценария $Q_1 = 2 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹; C_2 – сгорание газовой смеси.

Условные вероятности поражения Q_{d1} для сценария C_1 при воздействии ударной волны на заданных расстояниях приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Условные вероятности поражения для сценария C_1

Расстояние, м	16	20	24	28
Q_{d1}	100	98	92	85

При сгорании газовой смеси (огненный шар) поражающим фактором является тепловое излучение [4].

Расчет интенсивности теплового излучения q проводится по формуле:

$$q = E_f F_q \tau, \quad (3.3)$$

где E_f – среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, Вт/м²; F_q – угловой коэффициент облученности; τ – коэффициент пропускания.

E_f определяют на основе имеющихся экспериментальных данных. Допускается принимать E_f равным $350 \cdot 10^3$ Вт/м².

F_q рассчитывают по формуле:

$$F_q = (H / D_s + 0,5) / \left(4 \left[(H / D_s + 0,5)^2 + (r / D_s)^2 \right]^{1,5} \right), \quad (3.4)$$

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 рассчитывают по формуле:

$$D_s = 5,33m^{0,327}, \quad (3.5)$$

где m – масса горючего вещества, кг.

Допускается принимать H равной $D_s / 2$.

Время существования огненного шара t_s , с, рассчитывают по формуле:

$$t_s = 0,92m^{0,303}. \quad (3.6)$$

Формула для расчета коэффициента пропускания:

$$\tau = \exp \left(-7 \cdot 10^{-4} \left(\sqrt{r^2 + H^2} - D_s / 2 \right) \right). \quad (3.7)$$

Дозу теплового излучения Q , кДж/м², рассчитывают по формуле:

$$Q = q^{4/3} t_s. \quad (3.8)$$

Формула для расчета значения пробит-функции:

$$Pr = -12,8 + 2,56 \cdot \ln(Q). \quad (3.9)$$

Задания для самостоятельной работы

1. Вычислите значения интенсивности и дозы теплового излучения при сгорании газозвушной смеси. Вычислите значения пробит-функции и определите значения условной вероятности поражения, используя табл. 2.1.

Исходные данные:

– масса горючего вещества, участвующего в образовании огненного шара $m = 200$ кг;

– расчетные расстояния (расчетные точки) $r = 16, 20, 24, 28$ м.

Для сценария C_2 частота реализации сценария $Q_2 = N_B \cdot 10^{-5}$ год⁻¹, где N_B – номер заданного варианта ($N_B = 1, \dots, 25$).

2. Вычислите значения потенциального риска для двух сценариев аварии на заданных расстояниях.

3. Вычислите значение индивидуального риска для работника, находящегося на рабочей площадке в четырех расчетных точках при следующих условиях:

– количество рабочих дней в году 241;

– продолжительность рабочей смены 8 часов в день;

– доля времени нахождения работника в каждой расчетной точке: 10, 20, 30, 40 %.

4. Сравните полученное значение индивидуального риска с нормативным значением (10^{-6} год⁻¹) и сделайте выводы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятий «потенциальный риск» и «индивидуальный риск».

2. Укажите, каким образом определяется вероятность присутствия работника в i -й области территории ОПО.

3. Укажите, каким образом вычисляются значения потенциального риска.

4. Укажите, каким образом вычисляются значения индивидуального риска.

5. Приведите нормативное значение индивидуального риска на территории ОПО.

Практическое занятие № 4

РАСЧЕТ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Цель занятия – получение практических навыков оценки индивидуального риска при развитии опасных ситуаций в производственных помещениях.

Основные теоретические сведения и расчетные формулы

Потенциальный риск в зданиях объекта

Величина потенциального риска P_i , год⁻¹, в i -ом помещении здания объекта определяется по формуле:

$$P_i = \sum_{j=1}^J Q_j \cdot Q_{dij}, \quad (4.1)$$

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:

$$Q_{dij} = (1 - P_{эij}) \cdot (1 - D_{ij}), \quad (4.2)$$

где $P_{эij}$ – 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 $P_{эij}$ определяется по формуле:

$$P_{эij} = 1 - (1 - P_{эпij}) \cdot (1 - P_{двij}), \quad (4.3)$$

где $P_{эпij}$ – вероятность эвакуации людей, находящихся в i -м помещении здания, по эвакуационным путям при реализации j -го сценария пожара; $P_{двij}$ – вероятность выхода из здания людей, находящихся в i -м помещении, через аварийные или иные выходы.

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

Вероятность эвакуации по эвакуационным путям $P_{эпij}$ определяется по формулам:

$$\text{если } \tau_{rij} < 0,8\tau_{бlij} < (\tau_{rij} + \tau_{нэij}), \text{ то } P_{эпij} = (0,8\tau_{бlij} - \tau_{rij}) / \tau_{н.э.ij}; \quad (4.4)$$

$$\text{если } (\tau_{rij} + \tau_{нэij}) \leq 0,8\tau_{бlij}, \text{ то } P_{эпij} = 0,999; \quad (4.5)$$

$$\text{если } \tau_{rij} \geq 0,8\tau_{бlij}, \text{ то } P_{эпij} = 0,001, \quad (4.6)$$

где $\tau_{бlij}$ – 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.; τ_{rij} – расчетное время эвакуации людей из i -го помещения при j -м сценарии пожара, мин.; $\tau_{нэij}$ – 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 $\tau_{нэij}$ для зданий без систем оповещения определяется по результатам исследования поведения людей при пожарах в зданиях конкретного назначения.

Расчетное время эвакуации τ_{rij} 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.

При определении условной вероятности поражения людей, находящихся в помещении очага пожара, не допускается учитывать наличие в этом помещении автоматического управления пожарной сигнализацией и системы оповещения и управления эвакуацией (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 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:

$$R_m = \sum_{i=1}^N P_i \cdot q_{im}, \quad (4.7)$$

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.

Вероятность q_{im} определяется, исходя 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.

Для снижения индивидуального пожарного риска необходимо предусмотреть дополнительные противопожарные мероприятия, направленные на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре.

Например:

- здание оборудовать системой оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, что позволит снизить время от начала реализации j -го сценария пожара до начала эвакуации людей из i -го помещения;
- исключить размещение горючей нагрузки в помещениях вблизи путей эвакуации;
- в производственных помещениях не предусматривать размещение людей, не выполняющих должностные обязанности в данном здании;
- предусмотреть в здании систему удаления продуктов горения при пожаре.

Определение времени блокирования эвакуационных путей

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:

$$\tau_{\text{бл}} = \min \left\{ t_{\text{кр}}^T, t_{\text{кр}}^{\text{п.в.}}, t_{\text{кр}}^{\text{O}_2}, t_{\text{кр}}^{\text{т.г.}} \right\}. \quad (4.8)$$

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/м³;
- по каждому из токсичных газообразных продуктов горения (СО₂ – 0,11 кг/м³, СО – 1,16·10⁻³ кг/м³, НСl – 23·10⁻⁶ кг/м³).

Для помещения очага пожара критическую продолжительность пожара $t_{\text{кр}}$, 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:

$$t_{\text{кр}}^T = \left\{ (B / A) \cdot \ln \left[1 + (70 - t_0) / ((273 + t_0) \cdot Z) \right] \right\}^{1/n}, \quad (4.9)$$

где B – размерный комплекс, зависящий от теплоты сгорания материала и свободного объема помещения, кг; A – размерный параметр, учитывающий удельную массовую скорость выгорания горючего вещества и площадь пожара, кг/с ^{n} ; t_0 – начальная температура воздуха в помещении (20 °С); Z – безразмерный параметр, учитывающий неравномерность распределения опасного фактора пожара по высоте помещения; n – показатель степени, учитывающий изменение массы выгорающего материала во времени ($n = 3$);

– по потере видимости:

$$t_{\text{кр}}^{\text{п.в.}} = \left\{ (B/A) \cdot \ln \left[\left(1 - (V \cdot \ln(1,05 \cdot \alpha \cdot E)) / (l_{\text{пр}} \cdot B \cdot D_m \cdot Z) \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}, \quad (4.10)$$

где V – свободный объем помещения, м³; α – коэффициент отражения предметов на путях эвакуации ($\alpha = 0,3$); E – начальное освещение ($E = 50$ лк); $l_{\text{пр}}$ – предельная дальность видимости в дыму ($l_{\text{пр}} = 20$ м); D_m – дымообразующая способность горящего материала, Нп·м²/кг;

– по пониженному содержанию кислорода:

$$t_{\text{кр}}^{\text{O}_2} = \left\{ (B/A) \cdot \ln \left[\left(1 - 0,044 / \left((B \cdot L_{\text{O}_2} / V + 0,27) \cdot Z \right) \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}, \quad (4.11)$$

где L_{O_2} – удельный расход кислорода, кг/кг.

– по каждому из газообразных токсичных продуктов горения:

$$t_{\text{кр}}^{\text{т.г.}} = \left\{ (B/A) \cdot \ln \left[\left(1 - (V \cdot X) / (B \cdot L \cdot Z) \right)^{-1} \right] \right\}^{1/n}, \quad (4.12)$$

где L – удельный выход токсичных газов при сгорании 1 кг горючего вещества, кг/кг; X – предельно допустимое содержание токсичного газа в помещении, кг/м³.

Размерный комплекс B вычисляется по формуле:

$$B = (353 \cdot C_p \cdot V) / ((1 - \varphi) \cdot \eta \cdot Q), \quad (4.13)$$

где Q – низшая теплота сгорания материала, МДж/кг; C_p – удельная изобарная теплоемкость воздуха (0,001005 МДж/кг); φ – коэффициент теплопотерь ($\varphi = 0,75$); η – коэффициент полноты горения.

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:

$$Z = h / H \cdot \exp(1,4h / H) \text{ при } H \leq 6 \text{ м,} \quad (4.14)$$

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

Высота рабочей зоны определяется по формуле:

$$h = h_{\text{пл}} + 1,7 - 0,5\delta, \quad (4.15)$$

где $h_{\text{пл}}$ – высота площадки, на которой находятся люди, над полом помещения ($h_{\text{пл}} = 0$ м); δ – разность высот пола, равная нулю при горизонтальном его расположении ($\delta = 0$ м).

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 определяются следующим образом:

– для случая горения жидкости с установившейся скоростью:

$$A = \Psi_F \cdot F, \text{ при } n = 1; \quad (4.16)$$

– для случая горения жидкости с неустановившейся скоростью:

$$A = 0,67 \cdot \Psi_F \cdot F / \sqrt{\tau_{\text{ст}}}, \text{ при } n = 1,5; \quad (4.17)$$

– для случая кругового распространения пламени по поверхности горючего вещества или материала:

$$A = 1,05 \cdot \Psi_F \cdot v^2, \text{ при } n = 3; \quad (4.18)$$

– для вертикальной или горизонтальной поверхности горения в виде прямоугольника, одна из сторон которого увеличивается в двух направлениях за счет распространения пламени:

$$A = \Psi_F \cdot v \cdot b, \text{ при } n = 2, \quad (4.19)$$

где Ψ_F – удельная массовая скорость выгорания вещества, кг/(м²·с); F – площадь пролива жидкости; $\tau_{\text{ст}}$ – 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 оборудования, и показателем степени n , равным 1.

При отсутствии специальных требований значения α и E принимаются равными соответственно 0,3 и 50 лк, а $l_{\text{пр}}$ равным 20 м.

При расположении людей на различных по высоте площадках критическую продолжительность пожара следует определять для каждой площадки.

Задания для самостоятельной работы

1. Вычислите значения индивидуального пожарного риска для помещений 1 и 2 одноэтажного здания управления технологическими процессами на производстве, план которого представлен на рис. 4.1 (высота помещений $H = 5$ м). Значения площадей помещений S и объемы, занятые мебелью и оборудованием, V_3 приведены в табл. 4.1.

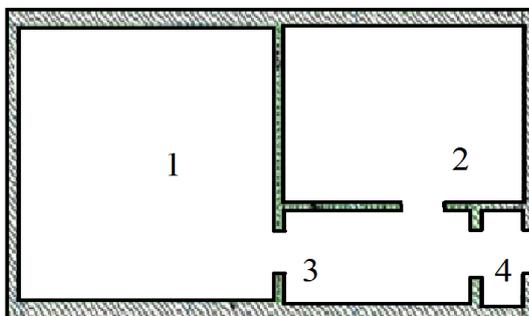


Рис. 4.1. План здания: 1 – помещение контроллерной; 2 – помещение, в котором расположено электрооборудование; 3 – коридор; 4 – тамбур

Таблица 4.1

Характеристика производственных помещений

Помещение	1	2
$S, \text{ м}^2$	75	45
$V_3, \text{ м}^3$	8	6

Рассматриваются два сценария, по которым может возникнуть пожар:

- сценарий 1 – очаг пожара возникает в помещении 1;
- сценарий 2 – очаг пожара возникает в помещении 2.

Пламя распространяется по горючим материалам помещения (электротехнические материалы и др.), очаг пожара распространяется по горизонтальной плоскости равномерно распределенного материала в виде круга. 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 блокируются эвакуационные выходы из помещения.

Параметры горючих материалов (ГМ) для расчета по зонной модели:

- низшая теплота сгорания ГМ: 20,9 МДж/кг;
- линейная скорость горения ГМ: 0,0125 м/с;
- удельная массовая скорость выгорания ГМ: 0,0076 кг/(м²·с);
- удельный расход кислорода: 1,95 кг/кг;
- дымообразующая способность: 327 Нп·м²/кг;
- выделение СО₂ при горении ГМ: 0,375 кг/кг;
- выделение СО при горении ГМ: 0,0556 кг/кг;
- выделение HCl при горении ГМ: 0,0054 кг/кг;
- коэффициент полноты сгорания: 0,95 кг/кг

Для вычисления параметра A используйте формулу (4.18).

В табл. 4.2 приведены значения времени τ_{rij} эвакуации людей из i -го помещения при j -м сценарии пожара и интервал времени $\tau_{нэij}$ от начала реализации j -го сценария пожара до начала эвакуации людей из i -го помещения.

Таблица 4.2

Параметры	Помещение	
	1	2
τ_{rij} , с	12	10
$\tau_{нэij}$, с:		
сценарий 1	55	–
сценарий 2	–	35

Вероятность D_{ij} эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности i -го помещения при выполнении расчетов принять равной 0.

Вероятность $P_{дв\ ij}$ выхода из здания людей, находящихся в i -м помещении, через аварийные или иные выходы примите равной 0,001. Вероятности $P_{эп12}$ и $P_{эп21}$ примите равными 0,999.

Принято, что в рассматриваемом здании работают два человека следующих профессий, с указанием доли времени, которое они проводят в течение года в данном помещении.

Оператор (работник $m = 1$):

- относительная доля времени пребывания в помещении 1 равна 0,16;
- относительная доля времени пребывания в помещении 2 равна 0,02.

Электрик (работник $m = 2$):

- относительная доля времени пребывания в помещении 1 равна 0,01;
- относительная доля времени пребывания в помещении 2 равна 0,17.

2. Сравните расчетные значения с нормативным значением, равным 10^{-6} год $^{-1}$. В случае превышения нормативного значения предложите мероприятия по снижению индивидуального риска. Частоту возникновения пожара в помещениях 1 и 2 определите по формуле:

$$Q_1 = Q_2 = N_B \cdot 10^{-6}, 1 / (\text{м}^2 \cdot \text{год}),$$

где N_B – номер заданного варианта ($N_B = 1, \dots, 25$).

При выполнении расчетов потенциального риска по формуле (4.1) значения Q_1 и Q_2 следует умножить на площади соответствующих помещений.

Контрольные вопросы

1. Укажите, какие параметры используются при расчете потенциального риска.
2. Укажите, какие параметры используются при расчете индивидуального риска.
3. Укажите, каким образом принимается значение вероятности выхода из здания людей, находящихся в помещении, через аварийные или иные выходы.
4. Укажите, каким образом определяется время от начала пожара до блокирования путей эвакуации.
5. Укажите, каким образом определяется критическая продолжительность пожара по каждому из опасных факторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 декабря 2011 г. № 680-ст : дата введения 2012-12-01 / разработан АНО НИЦ КД. – М.: Стандартинформ, 2012. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200090083> (дата обращения: 09.08.2020). – Текст : электронный.

2. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» : утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11.04.2016. № 144. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200133801> (дата обращения: 09.08.2020). – Текст : электронный.

3. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : с изменениями на 14.12.2010 г. : приложение к приказу МЧС России от 10.07.2009. № 404. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (дата обращения: 19.08.2020). – Текст : электронный.

4. ГОСТ Р 12.3.047-2012. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля : национальный стандарт Российской Федерации: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 1971-ст : дата введения 2014-01-01 / разработан ФГБУ «ВНИИПО» МЧС России. – М.: Стандартинформ, 2014. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200103505> (дата обращения: 19.08.2020). – Текст : электронный.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Практическое занятие № 1. Методы «Анализ дерева отказов» и «Анализ дерева событий»	4
Практическое занятие № 2. Расчет параметров поражающих факторов при взрыве газозвушной смеси в открытом пространстве	9
Практическое занятие № 3. Расчет индивидуального риска на территории производственного объекта	16
Практическое занятие № 4. Расчет величин пожарного риска для производственных помещений	20
Библиографический список	29

Учебное издание

ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Практикум

Составитель: **Демин Алексей Владимирович**

Кафедра инженерной экологии и безопасности труда КГЭУ

Редактор *С.Н. Чемоданова*
Компьютерная верстка *Т.И. Лунченковой*

Подписано в печать 20.10.2020. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,80. Уч.-изд. л. 1,06. Заказ № 287/эл.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51