

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ПОЖАРОВЗРЫВОЗАЩИТА

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Составители А.И. Сечин, О.С. Кырмакова

Издательство
Томского политехнического университета
2015

УДК 658.345.43/.44(075)

ББК 38.96я2

П46

П46

Пожаровзрывозащита: учебное пособие / сост. А.И. Сечин, О.С. Кырмакова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 248 с.

Пособие подготовлено на кафедре экологии и безопасности жизнедеятельности и предназначено для студентов ИнЭО, обучающихся по направлению 280700 «Техносферная безопасность».

УДК 658.345.43/.44(075)

ББК 38.96я2

© Составление. ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2015

© Сечин А.И., Кырмакова О.С. составление,
2015

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ВСПОМНИМ О ПРОЦЕССАХ ГОРЕНИЯ	8
1.1 Основные понятия в процессах горения	8
1.2 Условия возникновения горения	10
1.3 Развитие горения	10
1.4 Прекращение горения	15
Литература.....	18
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ АВАРИЙ	19
Введение	19
2.1. Область применения.....	19
2.2. Опасные факторы аварий	20
2.2.1. Общие положения	20
2.2.2. Воздействие пожара (взрыва) на человека.....	20
2.2.3. Степени разрушений зданий и сооружений	24
2.2.4. Воздействие пожара (взрыва) на здания и сооружения.....	25
2.2.5. Опасные факторы пожара и взрыва при авариях с сжиженными углеводородными газами (СУГ)	25
2.2.6. Опасные факторы пожара и взрыва при авариях с ЛВЖ и ГЖ	26
2.2.7. Опасные факторы при авариях с АХОВ	26
2.3. Методы расчета параметров опасных факторов аварий	27
2.3.1. Расчет размеров взрывоопасных зон и избыточного давления взрыва ТВС при авариях с ЦУГ.....	27
2.3.2. Расчет размеров взрывоопасных зон и избыточного давления взрыва ТВС при авариях с ЛВЖ.....	30
2.3.3. Расчет зон аварийного разлива СУГ и ЛВЖ	35
2.3.4. Расчет плотности теплового излучения от факела.....	36
2.3.5. Расчет плотности теплового излучения от огненного шара	37
2.3.6. Расчет зон химического заражения	37
2.4. Расчетные аварийные ситуации на типовых объектах железнодорожного транспорта	39
2.4.1. Типовые аварийные ситуации с СУГ	39
2.4.2. Типовые аварийные ситуации с ЛВЖ и ГЖ.....	40
2.4.3. Типовые аварийные ситуации с АХОВ.....	42
2.4.4. Типовые аварийные ситуации с горением ТГМ.....	43
2.4.5. Типовые сценарии развития аварий на объектах железнодорожного транспорта	44
2.5. Определение зон воздействия опасных факторов аварий	46
2.5.1. Общий алгоритм	46
2.5.2. Порядок расчета опасных зон при авариях.....	46
2.5.3. Зоны воздействия опасных факторов пожара (взрыва) при расчетных аварийных ситуациях	50
2.6. Порядок расчета пожарной обстановки при авариях с опасными грузами	54

2.6.1. Расчет пожарной обстановки при авариях с СУГ и ЛВЖ.....	54
2.6.2. Расчет пожарной обстановки при горении ТГМ в подвижном составе.....	57
2.6.3. Расчет пожарной обстановки при горении ТГМ на складах хранения грузов.....	57
2.6.4. Расчет количества вагонов, охваченных пожаром.....	58
2.7. Мероприятия по предупреждению и локализации воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на производственный персонал и население при аварийных ситуациях на объектах железнодорожного транспорта.....	59
2.7.1. Общие положения	59
2.7.2. Предотвращение аварийных ситуаций, приводящих к пожарам (взрывам) при перевозке опасных грузов	60
2.7.3. Локализация воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на городскую застройку и население	65
2.7.4. Локализация воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на производственный персонал объектов железнодорожного транспорта	66
2.7.5. Рекомендации при проектировании объектов железнодорожного транспорта.....	68
Приложение 1 СТЕПЕНИ ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ТЕПЛОВОМ ИЗЛУЧЕНИИ.....	70
Приложение 2 ДОПУСТИМОЕ ВРЕМЯ ПРЕБЫВАНИЯ ЛЮДЕЙ В ЗОНАХ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРОВ	72
Приложение 3 СТЕПЕНИ РАЗРУШЕНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	72
Приложение 4 ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СГОРАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	73
Приложение 5 ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ФАКЕЛА ПОЖАРОВ	74
Приложение 6 РАСЧЕТНЫЕ ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ОЦЕНОК ЗОН ХИМИЧЕСКОГО ЗАРАЖЕНИЯ.....	75
Приложение 7 РАЗМЕРЫ ЗОН ЗАГАЗОВАННОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РАСХОДАХ ГАЗА И СКОРОСТИ ВЕТРА	78
Приложение 8 ГРАНИЦЫ ЗОН ПОРАЖЕНИЯ ПРИ ВЗРЫВАХ ОБЛАКОВ ТВС.....	81
Приложение 9 ПЛОТНОСТЬ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЖАРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАССТОЯНИЯ	82
Приложение 10 ДАЛЬНОСТЬ ПЕРЕНОСА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЧАСТИЦ (ИСКР)	86
Приложение 11 ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЖАРОВ ТГМ.....	87
Приложение 12 НИЗШАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ И ПЛОТНОСТЬ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ, ОБРАЩАЮЩИХСЯ НА ОБЪЕКТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	88
Приложение 13 ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУГ.....	89
Приложение 14 ПОКАЗАТЕЛИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ (ЛВЖ и ГЖ)	90
Приложение 15 ПОКАЗАТЕЛИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ СМЕСЕЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ (ЛВЖ и ГЖ)	92
Приложение 16 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	95

П.16.1. Расчет размеров взрывоопасных зон избыточного давления взрыва ТВС при авариях с СУГ.....	95
П.16.2. Расчет площади разлива, размеров взрывоопасных зон и избыточного давления взрыва ТВС при авариях цистерн с ЛВЖ.....	97
П.16.3. Расчет плотности теплового излучения пожаров проливов и огненных шаров	102
П.16.4. Расчет зон химического заражения	104
П.16.5. Оценка пожарной обстановки при аварии с опасными грузами	104
Литература.....	107
3. РАСЧЕТ КРИТЕРИЕВ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ СГОРАНИИ ВЗРЫВООПАСНОЙ ПЫЛИ.....	111
3.1. Расчет избыточного давления при сгорании пылевоздушной смеси в помещении	111
3.2. Расчет интенсивности теплового излучения и времени существования «огненного шара»	112
3.3. Расчет параметров волны давления при сгорании горючей пыли.....	113
3.4. Расчет размеров возможного пожара и его потенциальной энергии	114
4. МЕТОД РАСЧЕТА ИНДИВИДУАЛЬНОГО И СОЦИАЛЬНОГО РИСКОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ	116
4.1. Сущность метода	116
4.2. Основные расчетные зависимости	116
4.3. Оценка индивидуального риска.....	127
4.4. Расчет социального риска	127
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ПЛОЩАДИ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ	132
5.1. Сущность вопроса	132
5.2. Расчет безопасной площади разгерметизации технологического оборудования с газопаровыми смесями.....	132
5.3. Степень влияния различных параметров на безопасную площадь разгерметизации технологического оборудования с газопаровыми смесями	134
5.4. Зависимость фактора турбулентности от условий развития взрыва в технологическом оборудовании с газопаровыми смесями при точечном источнике зажигания.....	135
5.5. Определение нормальной скорости распространения пламени и термодинамических параметров.....	139
5.6. Формулы для расчета безопасной площади разгерметизации оборудования и помещений, в которых обращается горючая пыль	141
5.7. Формулы для расчета безопасной площади разгерметизации оборудования и помещений, в которых обращаются гибридные смеси	142
6. СТАДИИ ПОЖАРА	144
7. МОЛНИЕЗАЩИТА ОБЪЕКТА	150
7.1. Молниезащита мельницы	150
7.2. Оценка среднегодовой продолжительности гроз и ожидаемого количества поражений молнией здания мельницы.....	150
7.3. Построение зоны защиты	151
8. ЗАЩИТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ УСТАНОВКАМИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ.....	154

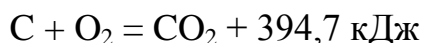
9. УСТАНОВКИ ГАЗОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ – ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ	156
9.1. Основные понятия. Классификация установок пожаротушения	156
9.2. Объекты защиты автоматическими установками пожаротушения.....	157
9.3. Выбор типа автоматических установок пожаротушения	158
9.4. Автоматические установки газового пожаротушения	158
9.4.1. Область применения	158
9.4.2. Классификация и состав установок газового пожаротушения	160
9.5. Требования к монтажу установок газового пожаротушения	167
9.5.1. Требования к комплектации.....	167
9.5.2. Требования к монтажу трубопроводов	167
9.5.3. Требования к монтажу насадков.....	169
9.5.4. Требования к монтажу сосудов.....	169
9.5.5. Требования безопасности	170
9.5.6. Эксплуатация. Автоматические установки газового пожаротушения.....	171
Литература.....	174
10. ПОЖАРНЫЕ ИЗВЕЩАТЕЛИ ПЛАМЕНИ.....	176
10.1. Обнаружение загораний по электромагнитному излучению, исходящему из зоны горения	176
10.2. Характеристики пожарных извещателей пламени и особенности их работы.....	176
11. ВЗРЫВЫ И ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА.....	181
11.1. Явление взрыва. Типы взрывов. Химический и физический взрывы	181
11.2. Классификация взрывчатых веществ по химическому составу и областям применения	182
11.3. Фугасное и бризантное действия взрыва. Теоретические и экспериментальные методы оценки фугасности и бризантности ВВ.....	185
11.4. Оценка чувствительности ВВ к механическим воздействиям (удар и трение) и электрическому импульсу	190
12. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ.....	192
12.1. Общие положения	192
12.2. Предотвращение взрывов.....	195
12.2.1. Технологические процессы	195
12.2.2. Производственное оборудование.....	196
12.2.3. Производственные здания, помещения и сооружения	198
12.3. Взрывозащита	199
12.3.1. Производственное оборудование и технологические процессы	199
12.3.2. Производственные здания, помещения и сооружения	199
12.4. Взрывобезопасность.....	201
12.4.1. Общие требования.....	201
12.4.2. Обучение и инструктаж персонала по взрывобезопасности.....	203
12.4.3. Контроль за соблюдением требований взрывобезопасности.....	204
12.4.4. Мероприятия при возникновении предаварийных и аварийных ситуаций	205
12.5. Планово-предупредительный ремонт	207
13. ОГНЕТУШАЩИЕ ПОРОШКИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	209
13.1. Огнетушащие порошки общего назначения.....	210

13.2. Огнетушащие порошки специального назначения.....	211
14. ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА	213
14.1. Средства защиты от статического электричества	215
14.1.1. Классификация	215
14.1.2. Общие технические требования.....	216
15. ХРАНЕНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ И СРЕДСТВ ИНИЦИИРОВАНИЯ	219
15.1. Сроки хранения основных ВМ в заводской упаковке при обеспечении соответствующих условий (в годах)	220
15.2. Аварии на производствах, при хранении и применении взрывчатых веществ	221
16. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА. МЕТОД ОБСЛЕДОВАНИЯ ТИПОВ ОТКАЗОВ И АНАЛИЗ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ	231
16.1. Проведения исследований	234
ЛИТЕРАТУРА	249

1. ВСПОМНИМ О ПРОЦЕССАХ ГОРЕНИЯ

Среди огромного количества окислительных процессов, протекающих в природе под влиянием кислорода воздуха, обращает на себя внимание горение, резко бросающееся в глаза благодаря значительному выделению тепла и появлению пламени. Именно эти явления – большое выделение тепла и появление пламени и обусловили практическое использование химической реакции горения человеком на заре своего существования.

Подавляющее большинство энергетических процессов в технике на современном этапе развития основано на реакции горения. Существование самой жизни на земле обусловлено наличием реакции горения или в общем смысле – окисления. Основная химическая реакция, тепловая энергия которой является основой жизни современных живых организмов, может быть выражена в первом приближении следующим уравнением:



то есть, при окислении (горении) одного моля углерода кислородом образуется один моль углекислоты, теплота образования которой равняется 394,7 кДж/моль.

Первоначально под окислением понималось только присоединение к веществу кислорода, а под восстановлением понималось отнятие кислорода.

С современной точки зрения понятия окисление и восстановление можно обобщить в том смысле, что сущность окисления понимается как потеря электронов окисляющимся веществом и, наоборот, – реакция восстановления как присоединение электронов восстанавливаемым веществом.

1.1 Основные понятия в процессах горения

По условиям массо- и теплообмена с окружающей средой все *пожары* разделены на две большие группы – *на открытом пространстве* и *в ограждениях*.

В зависимости от вида горящих материалов и веществ пожары разделены на **классы А, В, С, Д** и **подклассы А1, А2, В1, В2, Д1, Д2 и ДЗ**.

К пожарам класса А относится горение твёрдых веществ.

При этом если горят тлеющие вещества, например древесина, бумага, текстильные изделия и т.п., то пожары относятся к **подклассу А1**,

неспособные тлеть, например пластмассы – к **подклассу А2**.

К классу В относятся пожары ЛВЖ.

Они будут относиться к **подклассу В1**, если жидкости нерастворимы в воде (бензин, дизтопливо, нефть и др.) и к **подклассу В2** – растворимые в воде (например, спирты).

Если горению подвержены:

- газы, например водород, пропан и др., то пожары относятся к **классу С**,
- при горении же металлов – к **классу Д**.
 - причем **подкласс Д1** выделяет горение легких металлов, например алюминия, магния и их сплавов;
 - **Д2** – горение щелочных и других подобных металлов, например натрия и калия;
 - **Д3** – горение металлосодержащих соединений, например металлоорганических, или гидридов.

Процесс горения на пожаре горючих веществ и материалов представляет собой быстро протекающие химические реакции окисления и физические явления, без которых горение невозможно, сопровождающиеся выделением тепла и свечением раскаленных продуктов горения с образованием ламинарного или турбулентного диффузионного пламени.

Горение – экзотермическая реакция, протекающая в условиях ее прогрессивного самоускорения.

Отличительная особенность горения – протекание химической реакции в условиях её самоускорения.

Скорость химической реакции резко возрастает с увеличением температуры и выделяющаяся в реакции теплота всё более её ускоряет.

С другой стороны, возможно самоускорение вследствие лавинообразного роста (в процессе разветвлённо-цепной реакции) концентрации активных частиц – атомов или радикалов, стимулирующих химические превращения.

Поэтому различают тепловое и цепное горение.

Основная и важнейшая особенность процесса горения – способность к распространению в пространстве.

Вследствие процессов переноса (диффузии и теплопроводности) теплота или активные центры, накапливающиеся в горящем объёме, могут передаваться в соседние участки горючей смеси и инициировать там горение. В результате возникает движущийся в пространстве фронт горения, его скорость и называется *линейной скоростью горения*.

Массовая скорость горения $m = \rho u$,

где ρ – плотность исходной смеси.

Если движение газовой среды турбулентно, то скорость горения увеличивается вследствие турбулентного перемешивания.

В зависимости от агрегатного состояния исходного вещества и продуктов горения различают **три основных типа горения**:

- гомогенное горение,
- горение взрывчатых веществ и порохов,
- гетерогенное горение.

1.2 Условия возникновения горения

Основными условиями горения являются: наличие горючего вещества, поступление окислителя в зону химических реакций и непрерывное выделение тепла, необходимого для поддержания горения.

Вспомним треугольник и тетраэдр горения.

Некоторые вещества способны гореть без кислорода, в атмосфере хлора, брома и т.п., но это явление, скорее всего, следует отнести к исключениям из правил.

Самовоспламенение – резкое увеличение скорости экзотермических объемных реакций, сопровождающееся пламенным горением и/или взрывом.

Самовозгорание – резкое увеличение скорости экзотермических процессов в веществе, приводящее к возникновению очага горения.

1.3 Развитие горения

Возникновение и распространение процесса горения по веществам и материалам происходит не сразу, а постепенно.

Источник горения воздействует на горючее вещество, вызывает его нагревание, при этом в большей мере нагревается поверхностный слой, происходят активация поверхности, деструкция и испарение вещества, материала вследствие термических и физических процессов, образование аэрозольных смесей, состоящих из газообразных продуктов реакции и твердых частиц исходного вещества.

Образовавшиеся газообразные продукты способны к дальнейшему экзотермическому превращению, а развитая поверхность прогретых твердых частиц горючего материала способствует интенсивности процесса его разложения.

Концентрация паров, газообразных продуктов деструкции испарения (для жидкостей) достигает критических значений, происходит воспламенение газообразных продуктов и твердых частиц вещества, материала.

Горение этих продуктов приводит к выделению тепла, повышению температуры поверхности и увеличению концентрации горючих продуктов термического разложения (испарения) над поверхностью материала, вещества.

Устойчивое горение наступает, когда скорость образования горючих продуктов термического разложения станет не меньше скорости их окисления в зоне химической реакции горения.

Тогда под воздействием тепла, выделяющегося в зоне горения, происходят разогрев, деструкция, испарение и воспламенение следующих участков горючих веществ и материалов.

Если же скорость образования горючих продуктов становится меньше скорости окисления, то происходит догорание **пожарной нагрузки**, при этом температура процесса горения и образующихся твердых частиц (вследствие недожога) продуктов горения снижается.

К основным факторам, характеризующим возможное развитие процесса горения на пожаре, относятся:

- пожарная нагрузка,
- массовая скорость выгорания,
- линейная скорость распространения пламени по поверхности материалов,
- площадь пожара,
- площадь поверхности горящих материалов,
- интенсивность выделения тепла,
- температура пламени и др.

Под **пожарной нагрузкой** понимают **количество теплоты**, отнесенное к единице поверхности пола, которое может выделиться в помещении или здании при пожаре.

Пожарную нагрузку P , МДж/м², определяют как сумму постоянной и временной пожарных нагрузок.

В **постоянную пожарную нагрузку** включаются находящиеся в строительных конструкциях вещества и материалы, способные гореть.

Во **временную пожарную нагрузку** включаются вещества и материалы, обращающиеся в производстве, в том числе технологическое и санитарно-техническое оборудование, изоляция, материалы, находящиеся в расходных складах, мебель и другие, способные гореть.

Пожарную нагрузку допускается также определять в кг/м².

Тогда под **пожарной нагрузкой** объекта понимают массу всех горючих и трудногорючих материалов, приходящихся на 1 м² площади пола помещения или площади, занимаемой этими материалами на открытой площадке.

Пожарная нагрузка характеризует продолжительность пожара (чем больше нагрузка, тем продолжительнее пожар).

Под **скоростью выгорания** понимают потерю массы материала (вещества) в единицу времени при горении. Процесс термического разложения сопровождается уменьшением массы вещества и материалов.

Линейная скорость распространения горения (пожара) представляет собой физическую величину, характеризуемую поступательным движением фронта пламени в данном направлении в единицу времени.

Она зависит от вида и природы горючих веществ и материалов, от начальной температуры, способности горючего к воспламенению, интенсивности газообмена на пожаре, плотности теплового потока на поверхности веществ и материалов и других факторов.

Под температурой пожара в ограждениях понимают среднеобъемную температуру газовой среды в помещении, *под температурой пожара на открытых пространствах* — температуру пламени.

Температура пожаров в ограждениях, как правило, ниже, чем на открытых пространствах.

Одним из главных параметров, характеризующих процесс горения, является **интенсивность выделения тепла при пожаре**.

Это величина, равная по значению теплу, выделяющемуся при пожаре за единицу времени. Она определяется массовой скоростью выгорания веществ и материалов и их теплового содержания.

На интенсивность тепловыделения влияют содержание кислорода и температура среды, а содержание кислорода зависит от интенсивности поступления воздуха в помещение при пожарах в ограждениях и в зону пламенного горения при пожарах на открытых пространствах.

Если горение на пожаре не ограничивается притоком воздуха, интенсивность тепловыделения зависит от площади поверхности материала, охваченной горением.

Площадь поверхности вещества или материала, охваченная горением, может оставаться в процессе пожара постоянной величиной (например, горение жидкости в резервуаре, обвалования и т.п.) или изменяться со временем (например, при распространении огня по мебели и другим горючим материалам).

При пожаре выделяются газообразные, жидкие и твердые вещества. Их называют продуктами горения, т.е. веществами, образовавшимися в результате горения. Они распространяются в газовой среде и создают задымление.

Дым — это дисперсная система из продуктов горения и воздуха, состоящая из газов, паров и раскаленных твердых частиц.

Объем выделившегося дыма, его плотность и токсичность зависят

от свойств горящего материала и от условий протекания процесса горения.

Под **дымообразованием** на пожаре принимают количество дыма, $\text{м}^3/\text{с}$, выделяемого со всей площади пожара.

Концентрация дыма — это количество продуктов горения, содержащихся в единице объема помещения. Ее можно выразить количеством вещества, $\text{г}/\text{м}^3$, $\text{г}/\text{л}$, или в объемных долях.

Газовый обмен на пожаре — это движение газообразных масс, вызванное выделением тепла при горении.

При нагревании газов их плотность уменьшается, и они вытесняются более плотными слоями холодного атмосферного воздуха и поднимаются вверх. У основания факела пламени создается разрежение, которое способствует притоку воздуха в зону горения, а над факелом пламени (за счет нагретых продуктов горения) — избыточное давление.

На процесс газообмена в помещении большое влияние оказывают высота помещения, геометрические размеры проемов, скорость и направление ветра.

Процессы газообмена на пожаре могут приводить к **задымлению** как помещений, так и зданий в целом.

Правильная организация работ по управлению газовыми потоками на пожаре может способствовать предотвращению задымлений зданий и смежных помещений, имеющих общие проемы, что значительно облегчит работы по локализации и ликвидации пожара.

Одним из главных процессов, происходящих на пожаре, являются процессы теплообмена.

Выделяющееся тепло при горении, во-первых, усложняет обстановку на пожаре, во-вторых, является одной из причин развития пожара.

Кроме того, нагрев продуктов горения вызывает движение газовых потоков и все вытекающие из этого последствия (задымление помещений и территории, расположенных около зоны горения и др.).

Для поддержания и продолжения горения требуется незначительная часть тепла. Всего до 3 % выделяющегося тепла путем излучения передается горящим веществам и затрачивается на их разложение и испарение. Именно это количество тепла берут за основу при определении способов и приемов прекращения горения на пожарах и установлении нормативных параметров тушения.

Тепло, передаваемое во внешнюю среду, способствует распространению пожара, вызывает повышение температуры, деформацию конструкций и т.д.

Большая часть тепла на пожарах передается конвекцией. Так, при

горении бензина в резервуаре этим способом передается 57-62 % тепла, а при горении штабелей леса 60-70%.

При отсутствии, при слабом ветре большая часть тепла отдается верхним слоям атмосферы. При наличии сильного ветра обстановка усложняется, так как восходящий поток нагретых газов значительно отклоняется от вертикали.

При внутренних пожарах (т.е. пожарах в ограждениях) конвекцией будет передаваться еще большая часть тепла, чем при наружных.

При пожарах внутри зданий продукты сгорания, двигаясь по коридорам, лестничным клеткам, шахтам лифтов, вентканалам и т.п., передают тепло встречающимся на их пути материалам, конструкциям и т.д., вызывая их загорание, деформацию, обрушение и пр.

Необходимо помнить, чем выше скорость движения конвекционных потоков и чем выше температура нагрева продуктов сгорания, тем больше тепла передается в окружающую среду.

Теплопроводностью при внутренних пожарах тепло передается из горящего помещения в соседние через ограждающие строительные конструкции, металлические трубы, балки и т.п.

При пожарах жидкостей в резервуарах тепло этим способом передается нижним слоям, создавая условия для вскипания и выброса темных нефтепродуктов.

Передача тепла излучением характерна для наружных пожаров.

Причем, чем больше поверхность пламени, тем ниже степень его черноты, чем выше температура горения, тем больше передается тепла этим способом.

Мощное излучение происходит при горении газонефтяных фонтанов, ЛВЖ и ГЖ в резервуарах, штабелей лесопиломатериалов и т.д. При этом на значительные расстояния передается от 30 до 40 % тепла.

При пожарах в ограждениях действие излучения ограничивается строительными конструкциями горящих помещений и задымлением как тепловым экраном. В наиболее удаленных от зоны горения участках тепловое воздействие излучение существенного влияния на обстановку пожара не оказывает. Но чем ближе к зоне горения, тем более опасным становится его тепловое воздействие.

Практика показывает, что при температуре, равной 80-100 °С в сухом воздухе и при 50-60 °С во влажном, человек без специальной теплозащиты может находиться лишь считанные минуты.

Более высокая температура или длительное пребывание в этой зоне приводит к ожогам, тепловым ударам, потере сознания и даже смертельным исходам.

Падающий тепловой поток зависит от расстояния между факелом

пламени и объектом. С этим параметром связаны безопасные условия для облучаемого объекта.

Эти условия могут быть выполнены в случае, когда между излучаемой и облучаемой поверхностями будет такое расстояние, при котором интенсивность облучения объекта или температура на его поверхности не превышала бы допустимых величин или допустимых значений для данного объекта в течение определенного времени, по истечении которого необходимо обеспечить его защиту.

На внутренних пожарах направление передачи тепла излучением может не совпадать с передачей тепла конвекцией, поэтому в помещении могут быть участки поверхности ограждающих конструкций, где действует только излучение (как правило, пол и часть поверхности стен, примыкающая к нему), или только конвекция (потолок и часть поверхности стен, примыкающая к нему), или где оба вида тепловых потоков действуют совместно.

1.4 Прекращение горения

Далее рассматриваются вопросы, связанные с прекращением горения, ограничением интенсивности его развития и распространения наиболее простыми и эффективными средствами.

Большое внимание заслуживают параметры и условия, за границами которых горение не может протекать. Прежде всего, сюда следует отнести: концентрационные пределы распространения пламени, температурные пределы распространения пламени и ряд других параметров, которые являются производными от этих пределов.

Процессы горения не могут протекать вне значений указанных параметров, т.е. процессы горения либо не возникнут, а если они существовали, то прекратятся. Эти параметры представляют интерес для работников пожарной охраны в связи с тем, что и возникает возможность оказывать заметное влияние на эти величины и, изменяя тем или иным образом условия, можно добиваться прекращения процессов горения.

Более подробно процессы горения рассматриваются в курсе специальной химии.

На основании их можно сформулировать основные пути прекращения горения: снижение скорости тепловыделения или увеличение скорости теплоотвода от зоны реакции горения.

Однако критическое условие при этом остается одно — снизить температуру горения ниже температуры потухания.

Достигнуть этого можно на основе четырех известных принципов прекращения горения:

1. охлаждения реагирующих веществ;
2. изоляции реагирующих веществ от зоны горения;
3. разбавления реагирующих веществ до негорючих концентраций или концентраций, не поддерживающих горение;
4. химического торможения реакции горения.

Для этих целей применяются различные огнетушащие вещества.

Под огнетушащими веществами в пожарной тактике понимаются такие вещества, которые непосредственно воздействуют на процесс горения и создают условия для его прекращения (вода, пена и др.).

Огнетушащих веществ в природе много. Кроме того, современная технология позволяет получать такие огнетушащие вещества, которых нет в природе. Однако не все огнетушащие вещества принимаются на вооружение пожарных подразделений, а лишь те, которые отвечают определенным требованиям.

Они должны:

- обладать высоким эффектом тушения при сравнительно малом расходе;
- быть доступными, дешевыми и простыми в применении;
- не оказывать вредного действия при их применении на людей и материалы,
- быть экологически чистыми.

По основному (доминирующему) признаку прекращения горения огнетушащие вещества подразделяются на:

- **охлаждающего действия** (вода, твердый диоксид углерода и др.);
- **разбавляющего действия** (негорючие газы, водяной пар, тонкораспыленная вода и т.п.);
- **изолирующего действия** (воздушно-механическая различной кратности пена, сыпучие негорючие материалы и пр.);
- **ингибирующего действия** (галоидированные углеводороды: бромистый метилен, бромистый этил, тетра-фтордибромэтан, огнетушащие составы на их основе и др.).

Однако следует отметить, что все огнетушащие вещества, поступая в зону горения, прекращают горение комплексно, а не избирательно, т.е. вода, являясь огнетушащим средством охлаждения, попадая на поверхность горящего материала, частично будет действовать как вещество разбавляющего и изолирующего действия.

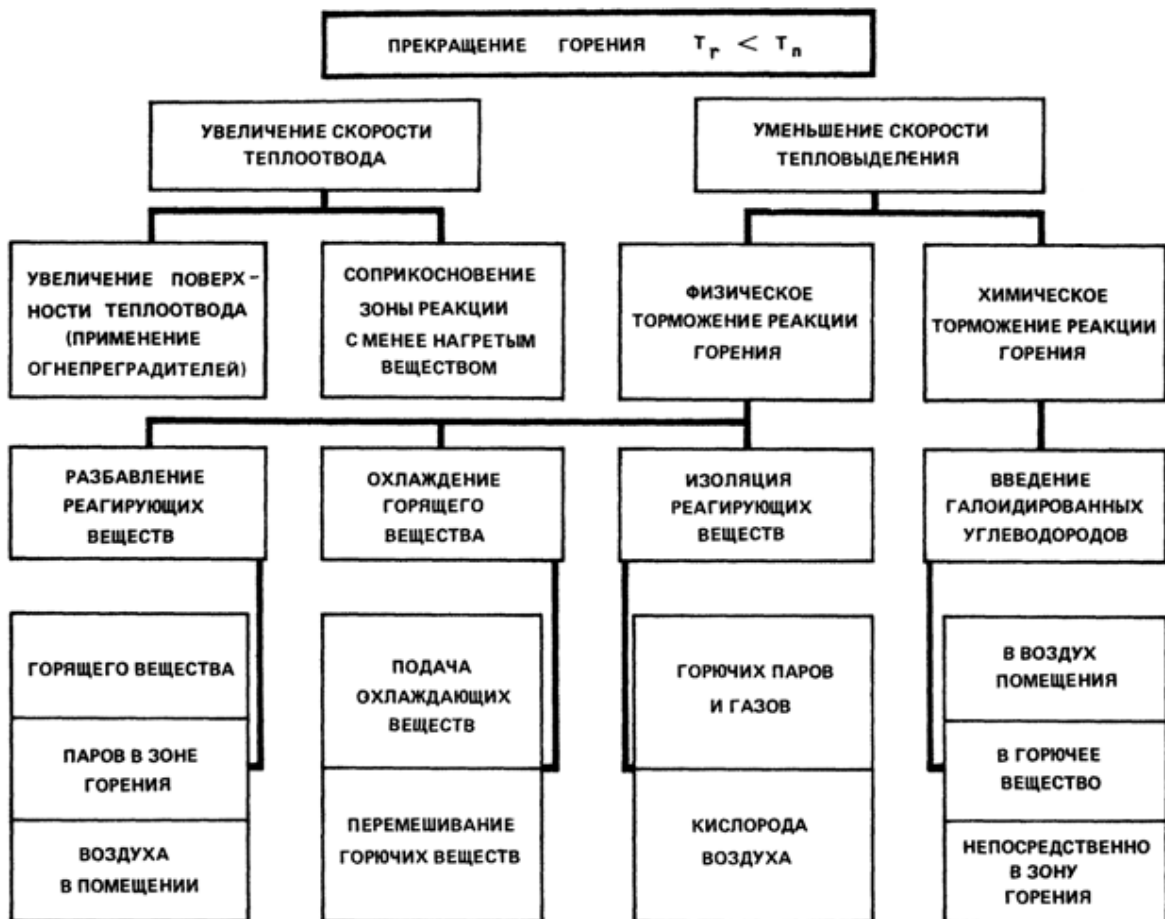
В зависимости от основного процесса, приводящего к прекращению горения, способы тушения можно разделить на четыре группы:

- охлаждения зоны горения или горящего вещества;
- разбавления реагирующих веществ;

- изоляции реагирующих веществ от зоны горения;
- химического торможения реакции горения.

Способы прекращения горения, основанные на:

- принципе охлаждения реагирующих веществ или горящих материалов, заключаются в воздействии на них охлаждающими огнетушащими веществами;
- изоляции реагирующих веществ от зоны горения — в создании между зоной горения и горючим материалом или окислителем изолирующего слоя из огнетушащих материалов и веществ;
- разбавлении реагирующих веществ или химическом торможении реакции горения — в создании в зоне горения или вокруг нее негорючей газовой или паровой среды.



Каждый из способов прекращения горения можно выполнить различными приемами или их сочетанием.

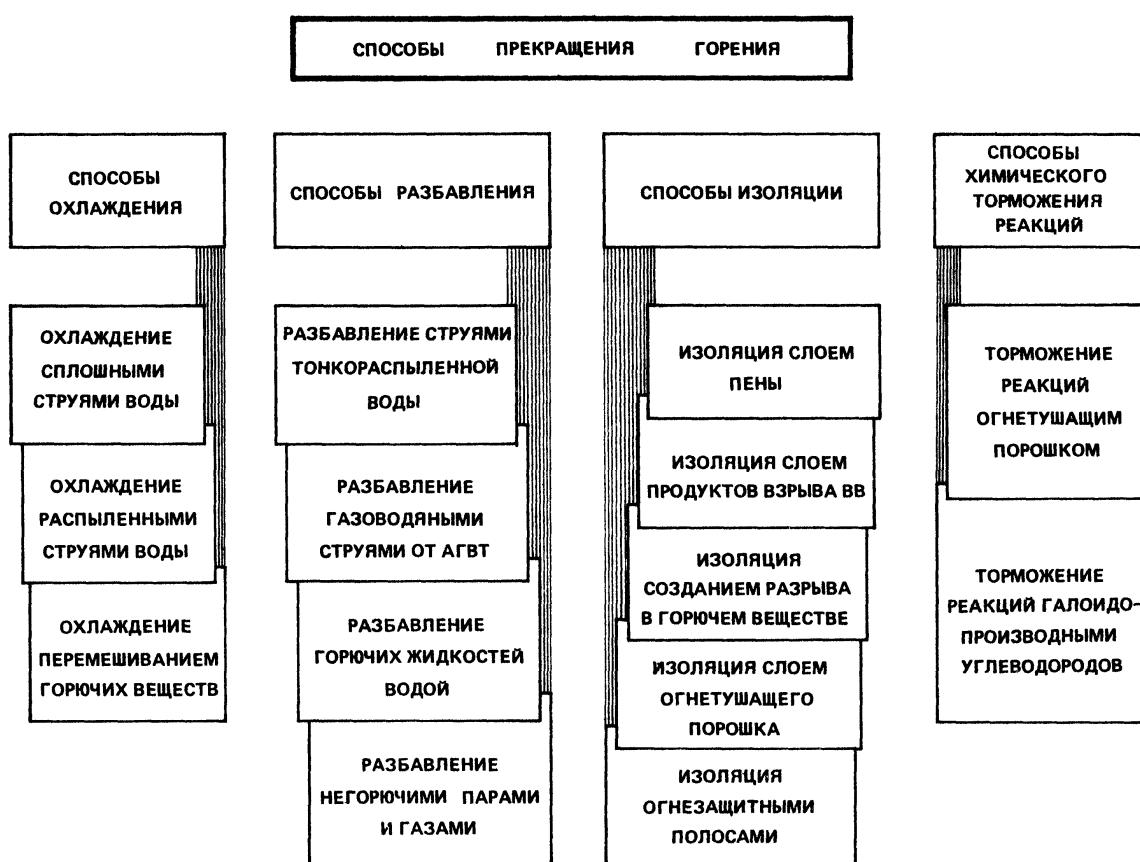
Например, создание изолирующего слоя на горячей поверхности легковоспламеняющейся жидкости может быть достигнуто подачей пены через слой горючего, с помощью пеноподъемников, навесными струями и т.п.

Приемы тушения — это те составные части способа прекращения горения, которые могут изменяться в процессе действий пожарных подразделений при изменении обстановки на пожаре.

Могут изменяться и способы. Применение того или иного способа и приема прекращения горения огнетушащего вещества зависит от условий и характера развития пожара; свойств и состояния горючих материалов; трудоёмкости и безопасности выполняемой работы личным составом; наличия у руководителя тушения пожара сил и средств; боеготовности пожарных подразделений и др.

Все это направлено на наименьшие убытки и затраты.

Классификация способов прекращения горения представлена ниже:



Литература

1. Теоретические основы горения и взрыва: учебное пособие / А.И. Сечин, В.А. Перминов, О.Б. Назаренко, А.А. Сечин, Ю.А. Амелькович, Т.А. Задорожная; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. — 139 с.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ АВАРИЙ

Введение

Значительное количество перевозимых опасных грузов и большая протяженность коммуникаций обуславливают возникновение аварийных ситуаций на подвижном составе.

Если авария принимает крупные масштабы, то опасные факторы пожара (взрыва) и вредные токсичные вещества могут привести к массовому поражению производственного персонала и населения на прилегающей к объектам территории, а также к разрушению конструкций, зданий и сооружений.

Особо опасными являются аварии на объектах железнодорожного транспорта, которые сопровождаются пожарами (взрывами) цистерн с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями (ЛВЖ, ГЖ) и сжиженными углеводородными газами (СУГ), а также разливом (выбросом) горючих жидкостей и аварийно химически опасных веществ (АХОВ). Немалую опасность представляют также пожары твердых горючих материалов (ТГМ) в подвижном составе и на производственных объектах.

В связи с этим, определение зон воздействия опасных факторов при аварийных ситуациях с опасными грузами на производственных объектах, имеет важное и актуальное значение.

В предлагаемом пособии определены опасные факторы аварий на подвижных объектах, рассмотрены методы расчета параметров опасных факторов пожара (взрыва) для химического заражения АХОВ, рассмотрены типовые аварийные ситуации с перечисленными выше опасными грузами, приведены расчетные методы определения зон воздействия опасных факторов аварий, как для людей, так и для зданий и сооружений.

2.1. Область применения

Пособие предназначено для использования при проектировании производственных объектов. Также для работников аварийно-восстановительных подразделений, пожарных и восстановительных поездов, представителей грузоотправителей (грузополучателей), сопровождающих опасные грузы, руководящего состава служб и ведомств, принимающих участие в разработке планов и организации работ по ликвидации аварий (пожаров) на производственных объектах.

Типовые аварийные ситуации и оценка зон воздействия опасных факторов аварий рассмотрены применительно к следующим основным производственным объектам: станциям по наливу и сливу нефтепродуктов; сортировочным станциям; промывочно-пропарочным станциям; складам хранения опасных грузов; шпалопропиточным заводам.

2.2. Опасные факторы аварий

2.2.1. Общие положения

При крупных авариях с опасными веществами на производственных объектах, опасные факторы аварий могут приводить к поражению людей, а также зданий и сооружений населенных пунктов и других промышленных объектов, расположенных на прилегающей территории.

В настоящем пособии рассмотрены следующие опасные факторы аварий с опасными грузами:

- образование взрывоопасных зон загазованности;
- воздушная ударная волна взрывов облаков топливно-воздушных смесей (ТВС);
- тепловое излучение при горении легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, сжиженных углеводородных газов, аварийно химически опасных веществ, твердых горючих веществ;
- токсичные выбросы.

2.2.2. Воздействие пожара (взрыва) на человека

Под критериями поражения человека понимаются количественные оценки (числовые значения характеристик) полей поражающих факторов, соответствующие определенным биологическим эффектам (смерть, механические травмы, ожоги и т.д.).

Зоной теплового воздействия называется часть пространства, примыкающая к зоне горения, в котором тепловое воздействие приводит к заметному изменению состояния материалов и конструкций и делает невозможным пребывание в нем людей без специальной тепловой защиты.

Под критической плотностью теплового излучения $q_{кр}$ ($\text{кВт}/\text{м}^2$) понимают такую величину теплового излучения, при которой теряет свои рабочие качества конструкционный материал либо возможны самовоспламенение горючих веществ или ожоги незащищенной кожи человека.

Ближней границей зоны теплового воздействия является зона горения. За дальнюю границу теплового воздействия обычно принимают такое расстояние, где интенсивность теплового потока равна $3,5 \text{ кВт}/\text{м}^2$.

Степень повреждения кожи при воздействии источника теплового поражения определяется интенсивностью источника. Обычно различают 4 степени ожогов кожи:

- I степень характеризуется гиперемией, (гиперемия – переполнение кровью сосудов);
- II – образованием пузырей;
- IIIА – поражение дермы;
- IIIБ – некрозом всех слоев кожи;
- IV степень характеризуется поражением не только кожи, но и глубоких тканей.

Вероятность гибели человека при тепловом поражении зависит от степени ожогов и размеров обожженной площади, возраста и др. Данные по степени термических поражений и по исходу пострадавших представлены в табл. 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1

Классификация термических поражений от степени тяжести в зависимости от размеров обожженной площади S

Степень тяжести	Характеристика
I	Ожоги II–IIIА степеней при $S < 10\%$
II	Ожоги II–IIIА степеней при $S < 40\%$ или Ожоги IIIБ–IV степеней при $S < 10\%$
III	Ожоги II–IIIА степеней при $S < 40\%$ или Ожоги IIIБ–IV степеней при $S < 40\%$ или Ожоги IV степени при $S > 30\%$
IV	Ожоги IIIБ–IV степеней при $S < 40\%$ или Ожоги IV степени при $S > 30\%$

Таблица 2.2

Оценка исходов у пострадавшего при термическом поражении, %

Степень тяжести поражения	Гибель	Инвалидность	Годность к труду
I	–	–	100
II	10	20	70
III	60	35	5
IV	100	–	–

Требуемая защита и допустимое время пребывания людей в зонах теплового воздействия пожаров представлены в Прил. 2.

Воздействие теплового излучения огненных шаров, возникающих при выбросах горючих газов и жидкостей, помимо ожогов кожи может приводить также к поражению сетчатки глаз и, как следствие, к слепоте.

Степень поражения тепловым излучением огненных шаров и горящих проливов определяется величиной теплового потока q (кВт/м²), воздействующего на объект, а также временем облучения $t_{об}$ (с), т.е. дозой излучения $D_t = q \cdot t_{об}$ (кДж/м²).

При быстро меняющемся тепловом потоке (в случае теплового излучения от поднимающегося огненного шара) ожоги III степени вызывает доза излучения величиной порядка $D_t = 160$ кДж/м². В качестве внешней границы смертельного поражения людей при воздействии огненного шара принимается величина дозы равная 375 кДж/м².

Оценка воздействия теплового излучения в зависимости от времени на защищенные участки кожи человека показана на рис. 2.1.

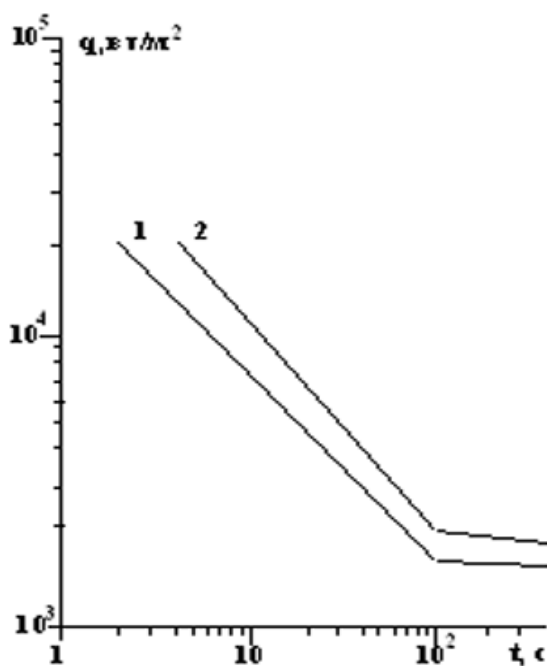


Рис. 2.1. Оценка воздействия теплового излучения (q) на незащищенные участки кожи человека от времени t :
1 – ожоги 1-й степени; 2 – ожоги 2-й и выше степеней

Данные о вероятности смертельного поражения в зависимости от полученного индекса дозы излучения $I = q^{1.33} \cdot t_{об}$, где q в Дж/(м² · с), а также процент пораженных при воздействии теплового излучения огненных шаров представлены в табл. 2.3 и рис. 2.2.

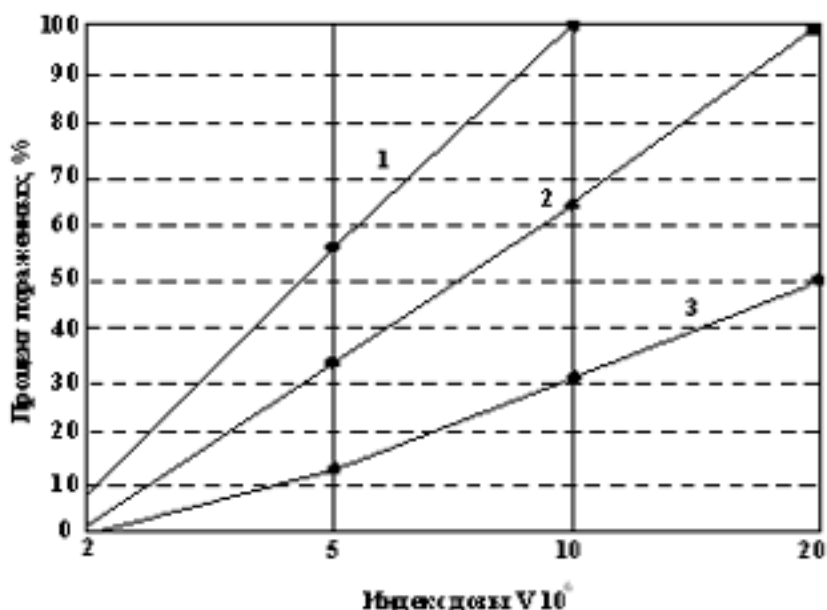


Рис. 2.2. Зависимость процента пораженных от индекса дозы теплового излучения: 1 – ожоги 1-й степени; 2 – ожоги 2-й степени; 3 – смертельные поражения

Таблица 2.3

Вероятность смертельного поражения в зависимости от полученного индекса дозы излучения при огненных шарах

Доля получивших смертельное поражение	Индекс дозы, I
0,1	10^7
0,5	$2,3 \cdot 10^7$
0,99	$6,5 \cdot 10^7$

Прямое (первичное) поражающее действие воздушных ударных волн связано с изменением давления в окружающей среде в результате прихода взрывной волны. Степень поражения человека определяется при этом целым рядом факторов:

- величиной избыточного давления в падающей и отраженной волнах;
- длительностью взрывной волны;
- величиной внешнего атмосферного давления;
- массой и возрастом человека, его ориентацией в пространстве при подходе волны и др.

Поражающее действие воздушной ударной волны характеризуется избыточным давлением во фронте волны ΔP , кПа.

Данные о поражающем действии избыточного давления взрывов на человека приведены в табл. П.3.2 (Прил. 3). Порог поражения человека $\Delta P = 3$ кПа.

2.2.3. Степени разрушений зданий и сооружений

Таблица 2.4

Классификация опасных зон разрушений

Класс зоны	Коэффициент, K_1	ΔP , кПа	Степень разрушения зданий и сооружений
1	3,8	>100	Полное разрушение
2	5,6	53	Сильное разрушение, 50 % полного разрушения
3	9,6	28	Среднее повреждение, разрушение без обрушения. Резервуары нефтепродуктов разрушаются
4	28	12	Умеренное разрушение, повреждения внутренних перегородок, рам, дверей
5	56	3	Малые повреждения, разбито не более 10 % остекления

Таблица 2.5

Избыточное давление и поражение человека

Уровень поражения	ΔP , кПа
Безусловное смертельное поражение	500
Летальный исход, 50 % случаев	350
Порог смертельного поражения	200
Тяжелая степень поражения	100
Порог поражения человека	3

При пожаре (взрыве) возможно проникновение (выброс) АХОВ в окружающую среду. Поражающее действие токсичных выбросов характеризуется концентрацией C (мг/л, кг/м³), ингаляционной токсодозой LD_x и временем экспозиции.

2.2.4. Воздействие пожара (взрыва) на здания и сооружения

2.2.4.1. Основными поражающими факторами для зданий и сооружений при авариях на железнодорожном транспорте являются:

- воздушная ударная волна взрывов горючих газов и паров ЛВЖ;
- тепловое излучение огненных шаров и горящих проливов ЛВЖ и СУГ;
- непосредственное воздействие огня.

2.2.4.2. В качестве показателей последствий воздействия воздушной ударной волны взрыва на окружающую место аварии застройку принимаются степени разрушения зданий и сооружений промышленной и селитебной зоны.

Характеристика степеней разрушения зданий и сооружений приведена в табл. П.3.1 Прил. 3.

2.2.4.3. Ближней границей зоны теплового воздействия является зона горения, за дальнюю границу принимают такое удаление, где превышение критического значения теплового излучения $q_{кр}$ может вызвать воспламенение горючих материалов (здания, сооружения, конструкции и т.п.).

Воздействие тепловых потоков на здания и сооружения оцениваются возможностью воспламенения горючих материалов.

2.2.4.4. Данные о критическом значении интенсивности облучения для твердых материалов, превышение которой может вызвать воспламенение смежных зданий или сооружений, в зависимости от продолжительности облучения приведены в Прил. 4.

2.2.5. Опасные факторы пожара и взрыва при авариях с сжиженными углеводородными газами (СУГ)

2.2.5.1. Пожары при авариях с СУГ характеризуются большой концентрацией СУГ на малых площадях, значительными площадями горения до 5000 м², высокой скоростью распространения пламени до 5–10 м/с, опасностью образования взрывоопасных зон, возможностью возникновения взрывов, деформацией и разрушением цистерн, разлетом обломков на расстояние до 100–300 м, длительностью пожаров (истечений СУГ) – до 3–5 суток.

2.2.5.2. Сжиженный газ может истекать в паровой, жидкой и парожидкостной фазах. Характер истечения газа определяется по пламени:

- газ в паровой фазе сгорает светло-желтым пламенем и сопровождается сильным свистящим шумом;
- газ в жидкой фазе сгорает ярко-оранжевым пламенем с выделением сажи;

- газ в парожидкостной фазе сгорает с периодически меняющейся высотой пламени.

Высота пламени при горении разливающегося сжиженного газа в 2-2,5 раза больше среднего диаметра площади горения.

При аварии продукт истекает в виде осесимметричных струй (чаще всего из круглых отверстий) и в виде веерных струй (главным образом, из щелевых отверстий).

2.2.5.3. По характеру горения пожары можно разделить на следующие виды:

- факельное горение жидкостей и газов на запорной арматуре цистерн;
- сложные пожары, сочетающие как факельное горение в результате разгерметизации стенок цистерны, так и горение разлитого СУГ;
- пожары, сопровождающиеся взрывами ТВС в цистернах и вне их.

2.2.6. Опасные факторы пожара и взрыва при авариях с ЛВЖ и ГЖ

При авариях с ЛВЖ и ГЖ можно встретиться с пожарами следующих типов:

- факельное горение жидкостей, выходящих из пробоев и разрывов;
- горение жидкостей в цистерне при ее вскрытии;
- растекание горячей жидкости по прилегающей территории;
- одновременное горение жидкостей при пожарах всех вышеуказанных типов, сопровождающееся иногда взрывами паровоздушных смесей и цистерн.

2.2.7. Опасные факторы при авариях с АХОВ

Основным поражающим фактором аварий с выбросом АХОВ является химическое заражение.

Зона заражения АХОВ – территория, зараженная АХОВ в опасных для жизни людей пределах. Размер зоны химического заражения характеризуется глубиной и площадью.

В качестве критерия поражения человека токсичными продуктами используется величина токсодозы LD, которая является произведением концентрации на время экспозиции.

Средняя смертельная токсодоза (LCT_x) – ингаляционная токсодоза, вызывающая смертельный исход у X % пораженных.

2.3. Методы расчета параметров опасных факторов аварий

2.3.1. Расчет размеров взрывоопасных зон и избыточного давления взрыва ТВС при авариях с СУГ

2.3.1.1. Взрывоопасная зона, образуемая при выбросе горючих газов представляет собой территорию с радиусом $X_{\text{нкпр}}$, ограничивающую область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР).

Зону взрывоопасных концентраций определяют для наиболее опасного варианта – в неподвижной среде. При испарении СУГ за расчетную температуру принимается максимально возможная температура воздуха в соответствующей климатической зоне согласно СНИП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика».

2.3.1.2. Расчет размеров взрывоопасных зон при разливе (утечке) СУГ.

Расчет взрывоопасных зон при неподвижной воздушной среде на открытом пространстве проводится по формуле [4]:

$$X_{\text{нкпр}} = 14,6 \cdot (M_p / \rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{нкпр}})^{0,33}, \quad (2.1)$$

где $X_{\text{нкпр}}$ – расстояние по горизонтали от источника, ограниченное НКПР, м;

M_p – масса газа, поступившего в окружающее пространство (масса газа в облаке ТВС), кг;

$C_{\text{нкпр}}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени, % (об);

$\rho_{\text{п}}$ – плотность паров СУГ, кг/м³:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{M_{\text{м}}}{V_0 (1 + 0,0367 \cdot t_p)}, \quad (2.2)$$

где $M_{\text{м}}$ – молекулярная масса вещества, кг/кмоль;

t_p – расчетная температура °С (принимается максимальной для данной климатической зоны);

V_0 – мольный объем, равный 22,413 м³, кмоль⁻¹.

За начало отсчета размера взрывоопасной зоны принимают внешние габаритные размеры цистерн, резервуаров, трубопроводов и т.п.

Для проведения оперативных расчетов радиус взрывоопасной зоны допускается определять по упрощенной формуле, в которой расчетная температура воздуха принимается равной 28 °С [40]:

$$X_{\text{нкпр}} = 92 \cdot M_p^{1/3}; \quad (2.3)$$

2.3.1.3. Определение массы газа на облаке ТВС при проливах и утечках СУГ.

При мгновенной разгерметизации резервуара (пролив всего количества СУГ) масса вещества (M_p) в облаке определяется по формуле из Руководства [2] в зависимости от типа СУГ [42] (см. Прил. 13).

- для низкокипящих СУГ (при $t_{\text{кип}} < -0,5$ °С)

$$M_p = 0,62 \cdot M; \quad (2.4)$$

- для высококипящих СУГ ((при $t_{\text{кип}} > -0,5$ °С)

$$M_p = 0,34 \cdot M, \quad (2.5)$$

где M – масса СУГ в цистерне (резервуаре), т.

Данные по параметрам p_n , M_m и $X_{\text{нкпр}}$ приведены в Прил. 13 при $t_p = 28$ °С и емкости цистерны 54 м^3 .

При длительном истечении СУГ из цистерны (резервуара) в случае нахождения отверстия ниже уровня жидкости масса вещества (газа) в облаке (M_p) определяется по следующей формуле [3]:

$$M_p = 36 \cdot \rho \cdot S_0 \cdot [2 \cdot (P - P_a) / (\rho + 1,2 \cdot g \cdot H)]^{1/2}, \quad (2.6)$$

где ρ – плотность жидкой фазы СУГ, кг/м^3 ;

S_0 – площадь сечения отверстия, м^2 ;

P – давление в цистерне, Па;

P_a – атмосферное давление. Па (нормальное атмосферное давление составляет $1,01 \cdot 10^5$ Па);

g – ускорение свободного падения, $9,81 \text{ с/с}^2$;

H – высота столба жидкой фазы (диаметр котла цистерны), м.

При отсутствии данных о характеристиках цистерны и условий истечения СУГ массу газа в облаке ТВС (M_p) можно определять по формуле [3]:

$$M_p = 0,1 \cdot M, \quad (2.7)$$

где M – масса топлива, содержащегося в цистерне (резервуаре), т.

2.3.1.4. Расчет зон избыточного давления взрыва ТВС при авариях с СУГ.

Расчет избыточного давления взрыва во фронте ударной волны при сгорании ТВС в открытом загроможденном пространстве проводится в соответствии с методикой [2].

Зависимость избыточного давления ΔP (кПА) от относительной величины расстояния X_r определяется по рис. 2.3.

Относительная величина расстояния вычисляется по следующей формуле:

$$X_p = R_1 / (0,42 \cdot M_p)^{1/3}, \quad (2.8)$$

где R_1 – расстояние от места взрыва, м;

M_p – масса газа в облаке, т.

Для заданного расстояния R_1 по формуле (2.8) и рис. 2.3 определяется величина избыточного давления ΔP (кПа).

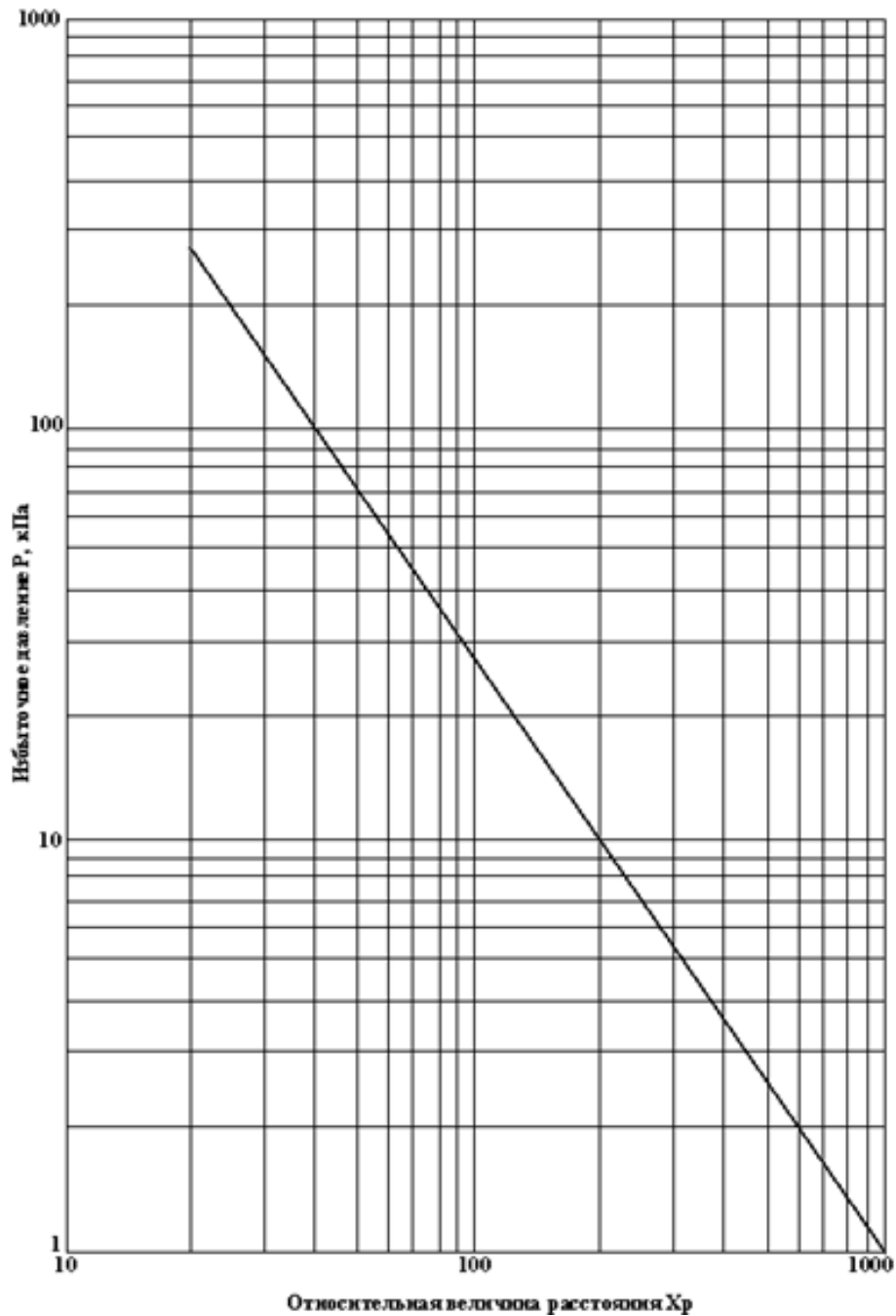


Рис. 2.3. Зависимость избыточного давления взрыва ТВС от относительной величины расстояния

Примеры определения величины избыточного давления приведены в Прил. 16 (п. 16.1).

Для расчета границ зон поражения людей (табл. П.3.2 Прил. 3) при взрыве облаков ТВС используются следующие формулы:

- граница зоны тяжелых поражений

$$R_1 = 32 \cdot M_p^{1/3}, \text{ м};$$

- граница зоны порога поражения

$$R_2 = 360 \cdot M_p^{1/3}, \text{ м}.$$

Для расчета границ зон повреждения зданий и сооружений (табл. ПЗ.1 Прил. 3) при взрыве облаков ТВС используются следующие формулы:

- граница зоны полных разрушений

$$R_1 = 32 \cdot M_p^{1/3}, \text{ м};$$

- граница зоны сильных разрушений

$$R_2 = 45 \cdot M_p^{1/3}, \text{ м};$$

- граница зоны средних разрушений

$$R_3 = 64 \cdot M_p^{1/3}, \text{ м};$$

- граница зоны умеренных разрушений

$$R_4 = 120 \cdot M_p^{1/3}, \text{ м};$$

- граница зоны малых разрушений

$$R_5 = 360 \cdot M_p^{1/3}, \text{ м}.$$

2.3.2. Расчет размеров взрывоопасных зон и избыточного давления взрыва ТВС при авариях с ЛВЖ

2.3.2.1. Расчет размеров взрывоопасных зон при разгерметизации цистерны и проливе ЛВЖ.

Для расчета радиуса зоны используется формула /4/:

$$X_{\text{нкпр}} = 3,2 \cdot K^{1/2} \cdot [P_n / C_{\text{нкпр}}]^{0,8} \cdot [M_p / (\rho_n \cdot P_n)]^{0,33}, \text{ м}, \quad (2.9)$$

где K – коэффициент, принимаемый равным $T/14400$;

T – расчетная продолжительность поступления паров ЛВЖ в окружающее пространство (принимается равной времени полного испарения жидкости, но не более 14400 с по формуле (2.11));

P_n – давление насыщенных паров ЛВЖ при расчетной температуре, кПа;

$C_{\text{нкпр}}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени, % (об);

M_p – масса паров ЛВЖ, поступивших в открытое пространство за время полного испарения, но не более 14400 с, кг;

$\rho_{\text{п}}$ – плотность паров ЛВЖ, кг/м³.

2.3.2.2. Определение массы вещества в облаке ТВС при испарении ЛВЖ, а также параметров, входящих в формулу (2.9).

Масса испарившейся жидкости определяется по формуле:

$$M_p = I_p \cdot T \cdot S_p, \text{ кг}, \quad (2.10)$$

где I_p – интенсивность испарения, (кг/см²);

S_p – площадь разлива, м² (определяется по формулам, приведенным в разделе 3.3 Руководства).

Расчетная продолжительность поступления паров ЛВЖ в окружающее пространство определяется по формуле:

$$T = M / (I_p \cdot S_p) < 14400 \text{ с}. \quad (2.11)$$

Интенсивность испарения определяется по формуле:

$$I_p = 10^{-6} \cdot \eta \cdot M_m^{0,5} \cdot P_n, \quad (2.12)$$

где η – коэффициент, принимаемый по табл. 2.6;

M_m – молекулярная масса, кг/кмоль;

P_n – давление насыщенных паров, кПа.

$$P_n = 0,133 \cdot 10^{[A - (B / (C_A + t_p))]}, \text{ кПа}, \quad (2.13)$$

где A, B, C_A – константы уравнения Антуана, определяемые по Приложениям 14,15;

t_p – расчетная температура воздуха, °С.

Таблица 2.6

Скорость воздушного потока, м·с ⁻¹	Значение коэффициента η при температуре t_v воздуха (°С)				
	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

Плотность паров ЛВЖ определяется по формуле:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{M_{\text{м}}}{V_0(1 + 0,0367 \cdot t_{\text{п}})}, \quad (2.14)$$

где V_0 – мольный объем, равный $22,413 \text{ м}^3 \text{ кмоль}^{-1}$.

Взрывоопасные концентрации паровоздушных смесей ЛВЖ над поверхностью пролитой жидкости образуются в том случае, когда расчетная температура воздуха меньше температуры вспышки паров ЛВЖ, значение которой приведено в Прил. 14 и 15.

Расчет размеров взрывоопасных зон при разливе ЛВЖ проводится по формуле (2.9).

За начало отсчета взрывоопасной зоны принимаются внешние габаритные размеры цистерн, резервуаров, трубопроводов и т.п.

2.3.2.3. Определение радиусов зон избыточного давления при взрыве ТВС, образующегося при испарении ЛВЖ, проводится по следующим формулам /5/:

$$R_1 = K_1 \cdot (0,45 \cdot M_{\text{п}})^{1/3} / [1 + (7066 / M_{\text{п}})^2]^{1/6}, \text{ при } M_{\text{п}} < 5 \text{ т}; \quad (2.15)$$

$$R_1 = K_1 \cdot (0,45 \cdot M_{\text{п}})^{1/3}, \text{ при } M_{\text{п}} > 5 \text{ т}, \quad (2.16)$$

где R_1 – радиус 1-го класса опасной зоны с заданным избыточным давлением на границе зоны, м (табл. П.3.1 в Прил. 3);

K_1 – коэффициент взаимосвязи величины избыточного давления с радиусом опасной зоны (табл. П.3.1 в Прил. 3);

$M_{\text{п}}$ – масса паров, испарившаяся с поверхности разлива ЛВЖ, кг.

Величину избыточного давления ΔP (кПа) при взрыве ТВС, образующихся при авариях цистерн с ЛВЖ определяется по формуле [4]:

$$\Delta P = P_{\text{а}} \cdot (0,8 \cdot M_{\text{пр}}^{0,33}/r + 3 \cdot M_{\text{пр}}^{0,66}/r^2 + 5 \cdot M_{\text{пр}}/r^3), \quad (2.17)$$

где $P_{\text{а}}$ – атмосферное давление, кПа (101 кПа);

r – расстояние от геометрического центра облака ТВС, м;

$M_{\text{пр}}$ – приведенная масса паров ЛВЖ, кг:

$$M_{\text{пр}} = (Q_{\text{сг}}/Q_0) \cdot M_{\text{п}} \cdot K_z, \quad (2.18)$$

где $Q_{\text{сг}}$ – удельная теплота сгорания, кДж/кг (определяется по Прил. 14 и 15);

Q_0 – константа, равная $4,52 \cdot 10^3$ кДж/кг;

$M_{\text{п}}$ – масса паров ЛВЖ в окружающем пространстве, кг;

K_z – коэффициент участия горючего во взрыве, который допускается принимать равным 0,1.

2.3.2.4. Масса всего вещества пролитой ЛВЖ равна полному объему цистерны с учетом степени заполнения и определяется по формуле:

$$M = \rho_{\text{ж}} \cdot V_{\text{ж}} \cdot e, \text{ кг}, \quad (2.19)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность ЛВЖ, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ (определяется по Прил. 12);

$V_{\text{ж}}$ – полная емкость цистерны, м^3 ;

e – степень заполнения цистерны (принимается равной 0,85).

2.3.2.5. При разгерметизации запорной арматуры или образовании пробоин в нижней части цистерны масса пролитой ЛВЖ зависит от расхода жидкости через сливной прибор или образовавшуюся пробоину и времени ее истечения.

Расход ЛВЖ определяется по формуле:

$$G = 60 \cdot v_{\text{ср}} \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot S_0, \text{ кг} \cdot \text{мин}^{-1}, \quad (2.20)$$

где S_0 – площадь сечения универсального сливного прибора или пробоины, м^2 ;

$v_{\text{ср}}$ – средняя скорость истечения ЛВЖ, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$:

$$v_{\text{ср}} = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}, \quad (2.21)$$

где μ – коэффициент расхода жидкости, учитывающей сужение струи и трение ($\mu = 0,3$ для ЛВЖ);

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$;

H – высота столба жидкости в цистерне (диаметр цистерны), м.

Полное время истечения ЛВЖ из цистерны согласно формулам (2.19) и (2.20) равно:

$$\tau = M/G, \text{ мин.}$$

2.3.2.6. Диаметр и площадь сечения сливного устройства равны 200 мм и 314 см^2 соответственно. При частичной разгерметизации устройства они могут принимать меньшие значения.

Диаметры и площади сечений пробоин, образующихся при авариях, приведены в табл. П.7.7 и принимаются за расчетные, но они могут быть и других размеров в зависимости от сложившейся аварийной ситуации.

2.3.2.7. Расход ЛВЖ и время истечения из цистерны с полным объемом 61,2; 85,6; 140; 161,6 м^3 (см. справочное пособие [44]) в зависимости от площади пробоин и сливного устройства приведены в табл. П.7.7 (Прил. 7).

Используя данные этой таблицы можно определить массу разлившейся ЛАЖ, площадь разлива, массу испарившейся жидкости и радиус взрывоопасной зоны в любой момент времени от начала аварии по формулам:

$$M(\tau) = G \cdot \tau, \quad (a)$$

где $G = 60 \cdot v_{\text{ср}} \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot S_0$ (определяется по формулам (2.19) и (2.20))

$$S_3(\tau) = \left(\frac{f \cdot G}{\rho_{\text{ж}}} \right) \cdot \tau ; \quad (\text{b})$$

$$M_p(\tau) = \left(\frac{I_p \cdot T \cdot f \cdot G}{\rho_{\text{ж}}} \right) \cdot \tau ; \quad (\text{c})$$

$$X_{\text{нкпр}}(\tau) = \left(\frac{3,2 \cdot K \cdot (P_{\text{н}} / C_{\text{нкпр}})^{0,8}}{(\rho_{\text{ж}} \cdot P_{\text{н}})^{0,33}} \right) \cdot \left(\frac{I_p \cdot T \cdot f \cdot G}{\rho_{\text{ж}}} \right)^{0,33} \cdot \tau^{0,33} . \quad (\text{d})$$

Приведенные формулы после перевода постоянных величин в их численные значения можно представить в упрощенном виде для расчета указанных параметров в зависимости от времени от начала аварии и до полного истечения нефтепродуктов из цистерн различной емкости и площади сечения пробоин и универсального сливного прибора.

К постоянным величинам, входящим в приведенные выше формулы (b), (c), (d), относятся $\rho_{\text{ж}}$, f , T и K .

Для каждого из видов нефтепродуктов значения величин $P_{\text{н}}$, $C_{\text{нкпр}}$, $\rho_{\text{ж}}$ и I_p различны и определяются по справочным данным или расчетом.

Ниже приводятся значения постоянных величин для всех видов нефтепродуктов:

$$P_{\text{ж}} = 800 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$f = 5 \text{ м}^{-1};$$

$$T = 14400 \text{ с, при условии } T > 14400;$$

$$K = T/14400 = 1.$$

С учетом приведенных постоянных величин формулы (b), (c) и (d) преобразуются к виду при $\tau < \tau_{\text{ист}}$:

$$S_p(\tau) = (0,00625 \cdot G) \cdot \tau ; \quad (\text{b}^1)$$

$$M_p(\tau) = (90 \cdot I_p \cdot G) \cdot \tau ; \quad (\text{c}^1)$$

$$X_{\text{нкпр}} = 14,13 \cdot [(P_{\text{н}} / C_{\text{нкпр}})^{0,8} \cdot (I_p \cdot G / \rho_{\text{п}} \cdot P_{\text{н}})^{0,33}] \cdot \tau^{0,33} . \quad (\text{d}^1)$$

2.3.2.8. Примеры расчетов по приведенным выше формулам изложены в Прил. 16 настоящего пособия. Расход истекающей жидкости в табл. П.7.5 рассчитан при постоянной средней плотности для нефтепродуктов $\rho_{\text{ж}}$, равной $800 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Погрешность в расчетах составляет не более 10 % по отношению к истинным значениям плотности различных нефтепродуктов.

2.3.2.9. При частичной и полной разгерметизации сливного устройства происходит истечение, как правило, негорящих нефтепродуктов. При этом образуется зона взрывоопасной концентрации ТВС и при наличии источника зажигания возможен взрыв смеси паров ЛВЖ с воздухом в пределах указанной зоны.

2.3.2.10. При опрокидывании и соударении цистерн в момент аварий из образовавшихся пробоев происходит истечение воспламенившихся нефтепродуктов с распространением пламени по поверхности пролитой жидкости. При этом взрывоопасная зона ТВС не формируется.

2.3.3. Расчет зон аварийного разлива СУГ и ЛВЖ

2.3.3.1. При разрушении цистерны объем вытекающей жидкости принимается равным 85 % от общего объема цистерны.

При разрушении трубопровода объем жидкости определяется по формуле:

$$V_{ж} = 0,79 \cdot D_{\tau}^2 \cdot L_{\tau}, \text{ м}^3, \quad (2.22)$$

где D_{τ} – диаметр трубопровода, м;

L_{τ} – длина отрезка между соседними отсекателями трубопровода, м.

2.3.3.2. Линейный размер разлива зависит от объема вытекающей жидкости и условий растекания. При свободном растекании диаметр разлива может быть определен из соотношения:

$$d_p = (25,5 \cdot V_{ж})^{1/2},$$

где d_p – диаметр площади разлива, м;

$V_{ж}$ – объем пролитой жидкости, м³.

2.3.3.3. При отсутствии данных площадь разлива нефтепродуктов S_p (м²) можно приближенно оценить по следующей формуле:

$$S_p = K_p \cdot M_0, \quad (2.23)$$

где M_0 – масса пролитого продукта, т;

K_p – коэффициент разлива, равный 8 м²/т.

2.3.3.4. Для более точной оценки площади разлива при полном разрушении цистерны можно воспользоваться следующей формулой:

$$S_p = f \cdot e \cdot V_{ж}, \text{ м}^2, \quad (2.24)$$

где f – коэффициент разлива, м⁻¹;

e – степень заполнения цистерны (допускается до 0,85);

$V_{ж}$ – вместимость цистерны, м³.

Коэффициент разлива определяют исходя из расположения цистерны или резервуара на местности:

$f = 5$ при расположении в низине или на ровной поверхности с уклоном до 1 %;

$f = 12$ при расположении на возвышенности;

2.3.3.5. В зависимости от расположения цистерны на местности принимаются различные приведенные формы разлива нефтепродуктов.

При расположении в низине или на ровной поверхности форма разлива – круг радиусом:

$$R_p = (S_p/\pi)^{1/2}, \text{ м.}$$

При расположении резервуара на возвышенности форма разлива – эллипс. Значения осей эллипса определяют по следующим формулам:

- большой полуоси – $b = (K_{ук} \cdot S_p/\pi)^{1/2}, \text{ м};$
- малой полуоси – $a = 4 \cdot S_p/(\pi + b), \text{ м},$

где $K_{ук}$ – коэффициент, характеризующий уклон местности.

При уклоне от 1 до 3 % $K_{ук} = 8$, более 3% $K_{ук} = 16$.

2.3.4. Расчет плотности теплового излучения от факела

2.3.4.1. Излучающую поверхность пламени можно рассматривать в виде цилиндра с эквивалентным диаметром факела $d_{п}$, определяемым по формуле:

$$D_{п} = (4 \cdot S_p/\pi)^{0.5}, \text{ м.} \quad (2.25)$$

Теплопередача от факела пожара к окружающим объектам осуществляется за счет теплового излучения.

2.3.4.2. Величина плотности теплового излучения q (кВт/м²) на заданном расстоянии (r) от пожара вычисляется по формуле:

$$q = E \cdot \varphi, \quad (2.26)$$

где E – средне поверхностная плотность теплового излучения факела пламени кВт/м², значения которой приведены в Прил. 5;

φ – коэффициент облученности между факелом пламени и элементарной площадкой на поверхности облучаемого объекта.

2.3.4.3. Коэффициент φ является геометрической характеристикой, зависящей от размеров факела и его взаимного расположения с облучаемой поверхностью [31].

2.3.4.4. Для приближенных оценок можно использовать следующую формулу для расчета коэффициента φ [2]:

$$\varphi = \frac{r_n^2 \cdot r}{(r_n^2 + r^2)^{1.5}} \cdot [1 - 0,058 \ln(r)] \quad (2.27)$$

где r_n – радиус факела пламени, определяемый по формуле (2.25), м;

r – расстояние по горизонтали от очага пожара, м.

2.3.5. Расчет плотности теплового излучения от огненного шара

2.3.5.1. Масса СУГ в огненном шаре определяется по формуле [3]:

$$M_{\text{ом}} = 0,6 \cdot M, \text{ т}, \quad (2.28)$$

где M – масса СУГ в цистерне, т.

Если $M_{\text{ом}} < 1$ т, то огненный шар не образуется.

2.3.5.2. Радиус огненного шара R определяется по формуле:

$$R_{\text{ом}} = 29 \cdot M_{\text{ом}}^{1/3}, \text{ м}. \quad (2.29)$$

Время его существования $t_{\text{ом}}$ определяется по формуле:

$$t_{\text{ом}} = 4,5 \cdot M_{\text{ом}}^{1/3}, \text{ с}. \quad (2.30)$$

2.3.5.3. Величина плотности теплового излучения q (кВт/м²) на заданном расстоянии (r) от огненного шара вычисляется по формуле (2.26).

Средне поверхностная плотность теплового излучения огненного шара принимается равной 200 кВт/м². Коэффициент ϕ определяется по формуле (2.27) при $r_{\text{п}} = R_{\text{ом}}$.

2.3.5.4. Вероятность поражения людей тепловым потоком зависит от индекса дозы теплового излучения (I), который определяется из соотношения:

$$I = t_{\text{ом}} \cdot (1000 \cdot q)^{4/3}. \quad (2.31)$$

Доля пораженных тепловым излучением определяется по табл. П.1.3 и рис. П.1.2 (Прил. 1).

2.3.6. Расчет зон химического заражения

2.3.6.1. Расчет глубины зоны заражения АХОВ в соответствии с методикой [6], в которой параметры заражения определяются в зависимости от количественных характеристик выброса и скорости ветра.

2.3.6.2. Определение эквивалентного количества продукта по первичному облаку производится по следующей формуле:

$$Q_{\text{э1}} = K1 \cdot K3 \cdot K5 \cdot K7 \cdot Q_0, \text{ т}, \quad (2.32)$$

где $K1$ – коэффициент, зависящий от условий хранения АХОВ (Приложение 6, табл. П.6.3) для сжатых газов $K1 = 1$;

$K3$ – коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе другого АХОВ (Прил. 6, табл. П.6.3);

$K5$ – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости воздуха. Принимается равным для инверсии – 1, для изотермии – 0,23, для конвекции – 0,08;

$K7$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха (для сжатых газов $K7 = 1$);

Q_0 – количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т.

2.3.6.3. Определение эквивалентного количества вещества по вторичному облаку (агрегатное состояние АХОВ сжиженный газ или жидкость) производится по следующей формуле:

$$Q_{32} = (1 - K1) \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4 \cdot K5 \cdot K6 \cdot K7 \cdot Q_0 / (h \cdot \rho), \text{ т}, \quad (2.33)$$

где $K2$ – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ (Прил. 6. табл. П.6.3);

$K4$ – коэффициент, учитывающий скорость ветра (Прил. 6, табл. П.6.3);

$K6$ – коэффициент, зависящий от времени t_n в часах, прошедшего после начала аварии;

h – толщина слоя при разливе, м;

ρ – плотность АХОВ, т/м³.

Значение коэффициента $K6$ определяется по формулам:

$$K6 = t_n^{0,3} \text{ при } t_n < t_{\text{исп}};$$

$$K6 = t_n^{0,8} \text{ при } t_n > t_{\text{исп}};$$

где $t_{\text{исп}}$ – расчетная продолжительность испарения вещества, принимаемая равной 4 ч.

При $t_{\text{исп}} < 4$ ч коэффициент $K6$ принимается для 4 ч.

2.3.6.4. В зависимости от эквивалентного количества АХОВ и скорости ветра определяются значения глубин зон заражения первичным Γ_1 и вторичным облаком Γ_2 по табл. П.6.4 Прил. 6. Полная глубина зоны заражения определяется по следующей формуле:

$$\Gamma = \Gamma_{\text{max}} + 0,5 \Gamma_{\text{min}}, \text{ км}, \quad (2.34)$$

где Γ_{max} – максимальный;

Γ_{min} – минимальный из размеров Γ_1 и Γ_2 , соответственно.

Полученное значение Γ сравнивается с предельно возможным значением глубины переноса воздушных масс $\Gamma_{\text{п}}$, определяемым по формуле:

$$\Gamma_{\text{п}} = t_n \cdot V_{\text{п}}, \quad (2.35)$$

где t_n – время начала аварии, ч;

$V_{\text{п}}$ – скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха при данных скорости ветра и степени вертикальной устойчивости воздуха, км/ч (табл. П.6.1 Прил. 6).

За окончательную расчетную глубину зоны заражения принимается меньшее из 2-х сравниваемых между собой значений.

2.4. Расчетные аварийные ситуации на типовых объектах железнодорожного транспорта

2.4.1. Типовые аварийные ситуации с СУГ

2.4.1.1. При рассмотрении типовых аварийных ситуаций с участием СУГ необходим учет следующих общих специфических особенностей:

- при температуре окружающей среды содержимое цистерны, как правило, представляет собой двухфазную среду (жидкость – пар) с давлением, превышающим атмосферное (иногда в 7–8 раз);
- заполнение и опорожнение цистерны невозможно осуществлять без герметизации системы слива-налива;
- разгерметизация цистерны в любой ее точке приводит к истечению жидкой и (или) парообразной среды с образованием в окружающем пространстве взрывоопасного паровоздушного облака;
- при истечении жидкой фазы определенная часть ее (в некоторых случаях до 40%) мгновенно испаряется, остальная часть жидкости образует зеркало пролива, из которого происходит интенсивное испарение продукта;
- перевозимые продукты являются горючими веществами, минимальные энергии зажигания смесей паров которых с воздухом весьма низки. Исходя из этого, наиболее вероятным исходом аварии с разгерметизацией цистерны является воспламенение выходящего вещества через определенный период времени;
- сгорание взрывоопасных паровоздушных облаков (ТВЖ) может приводить к образованию ударных волн с тем или иным разрушением окружающих объектов;
- нагрев цистерны с СУГ в очаге пожара, в результате чего происходит повышение температуры жидкости с соответствующим увеличением давления паров внутри емкости, а также увеличение температуры стенок цистерны, особенно в ее верхней части, не смываемой жидкой фазой. Вследствие этого возможен разрыв цистерны, мгновенное вскипание и воспламенение ее содержимого с образованием огненного шара.

2.4.1.2. Каждая аварийная ситуация с участием СУГ может иметь различные варианты развития.

Вариант 1. Истечение СУГ при разгерметизации трубопроводов, отказе запорной арматуры, при возникновении пробоин и др.

При этом возможны следующие ситуации:

- ситуация 1.1 – устойчивое факельное горение;
- ситуация 1.2 – образование взрывоопасного облака с последующим взрывом ТВС.

В зависимости от условий горения ситуация 1.1 может иметь следующее развитие:

1) непосредственный контакт пламени с корпусом аварийной или соседней цистерны отсутствует. В этом случае опасность разрушения цистерны незначительна;

2) факел пламени СУГ обтекает корпус аварийной или соседней цистерны с СУГ. В этом случае возможно разрушение цистерны от увеличения внутреннего давления СУГ и ослабления прочностных свойств стенок цистерны вследствие ее нагрева. При разрушении цистерны происходит выброс СУГ с образованием огненного шара.

При ситуации 1.2 можно ожидать следующее развитие:

- пожары в соседних зданиях и сооружениях;
- пожар на месте истечения;
- разрушение соседних цистерн, зданий и сооружений.

Вариант 2. Разлив СУГ в результате возникновения пробоин, разгерметизации или схода цистерн с рельсов.

При этом возможны следующие развития аварии:

- ситуация 2.1 – пожар на месте разлива продукта;
- ситуация 2.2 – образование взрывоопасного облака с последующим взрывом ТВС.

В зависимости от условий горения ситуация 2.1 может иметь следующее развитие:

1) непосредственный контакт пламени с корпусом аварийной или соседней цистерны отсутствует. в этом случае опасность разрушения цистерны незначительна;

2) аварийная или соседняя цистерна находится в зоне пожара. В этом случае возможно разрушение цистерны, выброс СУГ с образованием огненного шара.

Ситуация 2.2 развивается аналогично ситуации 1.2.

2.4.2. Типовые аварийные ситуации с ЛВЖ и ГЖ

2.4.2.1. Причиной аварийных ситуаций с ЛВЖ (ГЖ) могут быть:

- пробой корпуса цистерны при столкновении;
- разрыв трубопроводов;
- отказ запорной арматуры;
- сход вагона с рельсов с разливом ЛВЖ и ГЖ.

2.4.2.2. Каждая аварийная ситуация с участием ЛВЖ и ГЖ может иметь различные варианты развития.

Вариант 1. Истечение продукта в результате разгерметизации трубопроводов, отказе запорной арматуры, при возникновении пробоев и др.

При этом возможны следующие ситуации:

- ситуация 1.1 – устойчивое факельное горение;
- ситуация 1.2 – образование взрывоопасного облака с последующим взрывом ТВС.

В зависимости от условий горения ситуация 1.1 может иметь следующее развитие:

1) непосредственный контакт пламени с корпусом аварийной или соседней цистерны отсутствует. В этом случае опасность разрушения цистерны незначительна;

2) факел пламени обтекает корпус аварийной или соседней цистерны с ЛВЖ. В этом случае возможно разрушение цистерны с разливом горящего продукта.

При ситуации 1.2 можно ожидать следующее развитие:

- 1) пожары в соседних зданиях и сооружениях;
- 2) пожар на месте истечения;
- 3) разрушение соседних цистерн, зданий и сооружений.

Вариант 2. Разлив ЛВЖ в результате возникновения пробоев, разгерметизации или схода цистерн с рельсов.

В этом случае возможны следующие ситуации развития пожара:

- ситуация 2.1 – пожар на месте разлива продукта;
- ситуация 2.2 – образование взрывоопасного облака с последующим взрывом ТВС;
- ситуация 2.3 – пожары на территории объекта вследствие попадания нефтепродукта в систему промышленной канализации.

В зависимости от условий горения ситуация 2.1. может иметь следующее развитие:

1) непосредственный контакт пламени с корпусом аварийной или соседней цистерны отсутствует. В этом случае опасность разрушения цистерны незначительна;

2) аварийная или соседняя цистерна находится в зоне пожара. В этом случае возможно разрушение цистерны с разливом горящего продукта.

Ситуация 2.2 развивается по сценарию ситуации 1.2.

Вариант 3. Образование взрывоопасной концентрации ЛВЖ в цистерне (резервуаре). Данный вариант аварии наиболее вероятен на промычно-пропарочных станциях.

В этом случае возможны следующие ситуации:

- ситуация 3.1 – воспламенение ТВС с последующим пожаром цистерны;
- ситуация 3.2 – взрыв (воспламенение) ТВС с последующим разрушением цистерны при взрыве.

2.4.3. Типовые аварийные ситуации с АХОВ

2.4.3.1. Причиной аварий с АХОВ могут быть:

- разрушение цистерны от взрыва, переполнения, нагрева сжиженного АХОВ;
- разрушение оболочки цистерн из-за неисправности;
- пробой корпуса цистерны при столкновении;
- нарушение герметичности из-за несовершенства конструкции и неисправности арматуры, манометров;
- сход вагона с рельсов с разливом АХОВ из цистерны.

При авариях на железнодорожном транспорте возможны случаи выброса и проникновения в атмосферу АХОВ в газообразном, парообразном или аэрозольном состоянии.

2.4.3.2. Если в результате аварии происходит пролив (истечение) АХОВ и если его агрегатное состояние – сжиженный газ, то происходит практически мгновенное вскипание части продукта с образованием первичного облака. Далее происходит испарение продукта с образованием вторичного облака. Если АХОВ – сжатый газ, то происходит образование только первичного облака. Если АХОВ – жидкость, кипящая выше температуры окружающей среды, то происходит образование только вторичного облака.

При аварии с АХОВ на железнодорожном транспорте возможны следующие типовые варианты аварий:

Вариант 1. – в результате разрушения (повреждения) цистерны (сжиженный газ) происходит его свободный разлив с последующим испарением, при этом образуются первичное и вторичное облако АХОВ.

Вариант 2. – в результате разрушения (повреждения) цистерны (сжиженный газ) происходит выброс вещества с образованием только первичного облака АХОВ.

Вариант 3. – в результате разрушения (повреждения) цистерны (жидкость) происходит ее свободный разлив с последующим испарением, при этом образуются только вторичное облако АХОВ.

2.4.4. Типовые аварийные ситуации с горением ТГМ

2.4.4.1. Развитие пожара с участием ТГМ зависит от вида объекта и характеристики горючего вещества.

Горение ТГМ может происходить в грузовом подвижном составе, в производственных зданиях (депо, склады) и на открытых складах (шпалопропиточные заводы).

2.4.4.2. Типовой вариант развития пожара в подвижном составе с участием ТГМ.

Вариант 1. В результате воздействия источника воспламенения происходит возгорание груза (ТГМ).

Возможно следующее развитие пожара:

- ситуация 1.1 – в зоне воздействия пожара отсутствуют горючие материалы, распространения пожара на соседние вагоны не происходит;
- ситуация 1.2 – в зоне воздействия пожара присутствуют горючие материалы, происходит распространение пожара на соседние вагоны и объекты.

2.4.4.3. Типовой вариант развития пожара ТГМ в производственных зданиях железнодорожного транспорта (склады хранения грузов).

Вариант 2. Воспламенение горючих материалов на складах хранения опасных материалов в результате воздействия открытого огня, искр, поджога и др.

В зависимости от вида горючего и условий его хранения возможно следующее развитие:

- ситуация 2.1 – распространение пожара по зданию по горизонтали;
- ситуация 2.2 – распространение пожара по зданию по горизонтали и по вертикали (на соседние этажи);

Пожары в закрытых складах хранения ТГМ обычно ограничиваются пределами здания.

2.4.4.4. Типовой вариант развития пожара на открытых складах лесоматериалов (шпалопропиточные заводы).

Вариант 3. Воспламенение лесоматериалов в результате воздействия открытого огня, искр, поджога и др.

Возможно следующее развитие пожара:

- ситуация 3.1 – распространение пожара по штабелю лесоматериалов;
- ситуация 3.2 – распространение пожара на соседние штабеля;
- ситуация 3.3 – распространение пожара в результате разлета искр и головней на соседние объекты.

2.4.5. Типовые сценарии развития аварий на объектах железнодорожного транспорта

2.4.5.1. При расчетах возможных масштабов аварии и оценке опасных зон поражения принимается авария с максимально возможными последствиями, исходя из рассмотрения вариантов ее реализации, развивающихся по наиболее неблагоприятному сценарию.

В связи с этим все многообразие аварийных ситуаций на объектах железнодорожного транспорта можно разделить на следующие.

Типовая авария 1 – истечение СУГ при разгерметизации трубопроводов, отказе запорной арматуры, при образовании пробоев и др.

Образование зоны взрывоопасных концентраций с последующим взрывом ТВС (зона мгновенного поражения пожара-вспышки). Образование зоны избыточного давления воздушной ударной волной. Образование зоны критических тепловых потоков при горении вытекающего СУГ. Разрушение цистерны с выбросом СУГ и образованием огненного шара. Образование зоны теплового излучения огненного шара.

Типовая авария 2 – разлив СУГ в результате возникновения пробоев, разгерметизации или схода цистерн с рельсов.

Образование зоны разлива СУГ (последующая зона пожара). Образование зоны взрывоопасных концентраций с последующим взрывом ТВС (зона мгновенного поражения пожара-вспышки). Образование зоны избыточного давления воздушной ударной волной. Образование зоны критических тепловых потоков при горении СУГ на площади разлива. Разрушение цистерны с выбросом СУГ и образованием огненного шара. Образование зоны теплового излучения огненного шара.

Типовая авария 3 – разлив (утечка) из цистерны (резервуара) ЛВЖ.

Образование зоны разлива ЛВЖ (последующая зона пожара). Образование зоны взрывоопасных концентраций с последующим взрывом ТВС (зона мгновенного поражения пожара-вспышки). Образование зоны избыточного давления воздушной ударной волной. Образование зоны критических тепловых потоков при горении ЛВЖ на площади разлива.

Типовая авария 4 – разлив (утечка) из цистерны (резервуара) ГЖ (дизельное топливо, керосин и др.).

Образование зоны разлива ГЖ (последующая зона пожара). Образование зоны критических тепловых потоков при горении ГЖ на площади разлива.

Типовая авария 5 – горение ТГМ в грузовом подвижном составе.

Образование зоны критических тепловых потоков при горении ТГМ на площади одного вагона (платформы).

Типовая авария 6 – горение ТГМ в производственном здании железнодорожного транспорта (локомотивное депо, склады хранения грузов).

Распространение пожара по всей площади здания. Образование зоны критических тепловых потоков при горении ТГМ.

Типовая авария 7 – горение ТГМ на открытых складах лесоматериалов (шпалопропиточные заводы).

Распространение пожара по всей площади склада. Образование зоны критических тепловых потоков при горении ТГМ. Образование зоны разлета искр и головней.

Типовая авария 8 – разлив (утечка) из цистерны (резервуара) сжиженного АХОВ.

Образование зоны разлива АХОВ. Образование первичного и вторичного облаков АХОВ. Образование зоны химического заражения.

Типовая авария 9 – разлив (утечка) из цистерны (резервуара) сжатого АХОВ.

Выброс вещества с образованием первичного облака АХОВ. Образование зоны химического заражения.

Типовая авария 10 – разлив (утечка) из цистерны (резервуара) АХОВ (жидкость).

Образование зоны разлива АХОВ. Образование вторичного облака. Образование зоны химического заражения.

2.4.5.2. Выбранные типовые аварии возможны на следующих объектах железнодорожного транспорта:

- на станциях по наливу и сливу нефтепродуктов – типовые аварии 1–4, 8–10;
- на сортировочных станциях – типовые аварии 1–5, 8–10;
- на грузовых станциях и контейнерных площадках – типовые аварии 1–5, 8–10;
- в локомотивных депо – типовые аварии 3, 4, 6;
- на промывочно-пропарочных станциях типовые аварии 3,4;
- в складах хранения ТГМ – типовая авария 6;
- на шпалопропиточных заводах – типовая авария 7.

2.4.5.3. В зависимости от вида опасного груза и места его хранения (расположения) можно определить основные типовые сценарии аварий, которые могут возникнуть на тех или иных объектах:

- цистерны (резервуары) с СУГ – типовые аварии 1,2;
- цистерны (резервуары) с ЛВЖ и ГЖ – типовые аварии 3,4;
- вагоны (платформы) с ТГМ – типовая авария 5;
- производственные корпуса (здания) и склады, содержащие ТГМ – типовая авария 6;
- открытые склады лесоматериалов – типовая авария 7;
- цистерны (резервуары) с АХОВ – типовые аварии 8–10.

2.5. Определение зон воздействия опасных факторов аварий

2.5.1. Общий алгоритм

Основными этапами алгоритма расчета последствий аварий на объектах железнодорожного транспорта являются:

- сбор исходной информации об объекте (вид опасных грузов, характеристика территории, расположение объектов и мест с возможным пребыванием людей);
- определение места аварии и выбор соответствующего сценария аварии;
- расчет зон поражения;
- оценка последствий аварии.

2.5.2. Порядок расчета опасных зон при авариях

2.5.2.1. Порядок расчета опасных зон при типовой аварии 1 (истечение СУГ при разгерметизации трубопроводов, отказе запорной арматуры, при возникновении пробоин и др.).

1. Расчет размеров зоны взрывоопасных концентраций (облака ТВС) производится в соответствии с п. 2.3.1.2.

При известном расходе газа и скорости ветра размеры зон загазованности при авариях с СУГ можно определять по табл. П.7.1 (Прил. 7). По табл. П.7.2 (Прил. 7) определяется расход истечения СУГ в зависимости от размера отверстия.

2. Определяется центр взрыва облака ТВС.

При скорости ветра менее 1 м/с полагается, что дрейф незначителен. Центр взрыва – место аварии.

При скорости ветра более 1 м/с полагается, что центр взрыва расположен от места истечения по направлению ветра на расстоянии 150 м.

При прогнозировании возможной зоны загазованности и расположения центра взрыва принимается преобладающее направление ветра для данной местности.

3. Проверяются возможности попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону взрывоопасных концентраций (зона мгновенного поражения пожара-вспышки). Принимается, что при попадании людей в пламя, происходит поражение со 100%-м летальным исходом.

4. Производится расчет размеров зон разрушений зданий и поражения людей от ударной волны при взрыве ТВС.

В соответствии с п. 2.3.1.4 производится расчет изменения избыточного давления при взрыве ТВС от расстояния. По вычисленным ΔP и табл. П.3.1–П.3.2 (Прил. 3) определяются степени поражения человека и разрушения зданий и соответствующие им зоны.

Для оперативной оценки размеров зон поражения можно воспользоваться данными Прил. 8. На рис. П.8.1 представлена рассчитанная зависимость избыточного давления ударной волны ΔP (кПа) при взрыве газоздушнoй смеси СУГ от расстояния R (м) при аварии на железнодорожной станции.

5. Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону различной степени повреждения зданий и зону поражения людей от ударной волны по выбранному критерию.

6. Расчет размеров зон поражения людей и загорания материалов при воздействии теплового излучения пожаров производится в соответствии с п. 2.3.4 и данных о критических интенсивностях теплового излучения для человека (3 кВт/м²) и горючих материалов (12 кВт/м²).

Можно также воспользоваться данными Прил. 9, в котором представлены расчетные плотности теплового излучения (кВт/м²) пожаров проливов СУГ от массы продукта и расстояния от границы пролива (факела) и даны оценки безопасных расстояний в зависимости от массы СУГ и диаметра пролива.

7. Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону поражения людей тепловым излучением по выбранному критерию и зону загорания материалов.

Степень поражения человека тепловым излучением пожара определяется величиной теплового потока, воздействующего на него, а также временем облучения (экспозиции). В Прил. 1 представлены данные для оценки воздействия теплового потока на человека.

Данные о критическом значении интенсивности облучения для твердых материалов, превышение которой может вызвать воспламенение смежных зданий или сооружений, в зависимости от продолжительности облучения приведены в Прил. 4.

8. Производится расчет плотности теплового излучения огненного шара от расстояния в соответствии с п. 2.3.5.

9. Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону поражения людей тепловым излучением огненного шара по выбранному критерию и в зону загорания материалов.

Данные о вероятности поражения людей от теплового излучения огненного шара и размеры зон поражения представлены в табл. П.1.3 (Прил. 1) и на рис. П.9.4 (Прил. 9).

В пределах огненного шара все горючие материалы воспламеняются, 60 % резервуаров СУГ взрываются с образованием огненного шара.

За пределами огненного шара воздействие огненного шара определяется наличием возгораемых веществ и величиной теплового потока.

2.5.2.2. Порядок расчета опасных зон при типовой аварии 2 (разлив СУГ в результате возникновения пробоин, разгерметизации или схода цистерн с рельсов).

1. Расчет размеров зон разлива производится в соответствии с п. 2.3.3.

2. Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону разлива. Принимается, что при попадании людей в зону разлива, происходит поражение со 100%-м летальным исходом.

3. Далее производится расчет опасных зон аналогично п. 2.5.2.1 (пп. 1–9).

2.5.2.3. Порядок расчета опасных зон при типовой аварии 3 (разлив (утечка) из цистерны (резервуара) ЛВЖ).

1. Расчет размеров зон разлива производится в соответствии с п. 2.3.3.

2. Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону разлива. Принимается, что при попадании людей в зону разлива, происходит поражение со 100%-м летальным исходом.

3. Расчет размеров зоны взрывоопасных концентраций (облака ТВС) производится в соответствии с п. 2.3.2.1.

4. Определяется центр взрыва облака ТВС.

При скорости ветра менее 1 м/с полагается, что дрейф незначителен. Центр взрыва – место аварии.

При скорости ветра более 1 м/с полагается, что центр взрыва расположен от места истечения по направлению ветра на расстоянии 150 м.

5. Проверяются возможности попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону взрывоопасных концентраций (зона мгновенного поражения пожара-вспышки). Принимается, что при попадании людей в пламя, происходит поражение со 100%-м летальным исходом.

6. Расчет размеров зон разрушений зданий и поражения людей от ударной волны при взрыве ТВС производится в соответствии с п. 2.3.2.2.

7. Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону различной степени повреждения зданий и зону поражения людей от ударной волны по выбранному критерию.

8. Расчет размеров зон поражения людей и загорания материалов при воздействии теплового излучения пожара производится в соответствии с п. 2.3.4.

При известной массе пролитого ЛВЖ можно воспользоваться рис. П.9.3 (Прил. 9), на котором представлены расчетные плотности

теплового излучения пожаров от массы пролитого продукта и расстояния от границы пролива (факела).

9. Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону поражения людей тепловым излучением по выбранному критерию и зону загорания материалов.

Степень поражения человека тепловым излучением пожара определяется величиной теплового потока, воздействующего на него, а также временем облучения (экспозиции) (Прил. 1).

Данные о критическом значении интенсивности облучения для твердых материалов, превышение которой может вызвать воспламенение смежных зданий или сооружений, в зависимости от продолжительности облучения приведены в Прил. 4.

2.5.2.4. Порядок расчета опасных зон при типовой аварии 4 (разлив (утечка) из цистерны (резервуара) ГЖ).

1. Расчет размеров зон разлива и проверка возможности попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону разлива проводится аналогично п. 2.5.2.3 (подпункты 1 и 2).

2. Расчет размеров зон поражения людей и загорания материалов при воздействии теплового излучения и проверка возможности попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону поражения осуществляется аналогично п. 2.5.2.3 (подпункты 8 и 9).

2.5.2.5. Порядок расчета опасных зон при типовой аварии 5 (горение ТГМ в грузовом подвижном составе).

1. Расчет размеров зон поражения людей и загорания материалов при воздействии теплового излучения производится в соответствии с п. 2.3.4.

Можно также воспользоваться зависимостью интенсивности излучения пламени от расстояния при горении ТГМ (древесина), представленной на рис. П.9.5 (Прил. 9).

2. Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону поражения людей тепловым излучением по выбранному критерию и зону загорания материалов.

2.5.2.6. Порядок расчета опасных зон при типовой аварии 6 (горение ТГМ в производственном здании железнодорожного транспорта).

1. Расчет размеров зон поражения людей и загорания материалов при воздействии теплового излучения производится в соответствии с п. 2.3.4.

Можно использовать зависимость интенсивности излучения пламени от расстояния при горении зданий различной степени огнестойкости, представленной на рис. П.9.6 (Прил. 9).

2. Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону поражения людей тепловым излучением по выбранному критерию и зону загорания материалов.

2.5.2.7. Порядок расчета опасных зон при типовой аварии 7 (горение ТГМ на открытых складах лесоматериалов).

1. Расчет размеров зон поражения людей и загорания материалов при воздействии теплового излучения производится в соответствии с п. 2.3.4.

Зависимость интенсивности излучения пламени от расстояния при горении ТГМ (древесина) показана на рис. П.9.5 (Прил. 9).

2. Проверяется возможность попадания объектов и мест с возможным пребыванием людей в зону поражения людей тепловым излучением по выбранному критерию и зону загорания материалов.

3. Производится оценка дальности переноса высокотемпературных частиц (искр) по Прил. 10.

4. Проверяется возможность попадания объектов в зону разлета высокотемпературных частиц.

2.5.2.8. Порядок расчета опасных зон при типовых авариях 8–10 (разлив, утечка или выброс АХОВ).

1. Расчет глубины зоны заражения АХОВ ведется в соответствии с п. 2/3.6 и методикой [6].

2. Проверяется возможность попадания мест с пребыванием людей в зону химического заражения.

2.5.3. Зоны воздействия опасных факторов пожара (взрыва) при расчетных аварийных ситуациях

2.5.3.1. На основе расчета опасных факторов пожара (взрыва) для расчетных аварийных ситуаций на типовых объектах железнодорожного транспорта с опасными грузами и сравнения их с критическими значениями опасных факторов определены зоны воздействия опасных факторов на различных расстояниях от места аварии и безопасные радиусы для людей и зданий различного назначения.

2.5.3.2. Зона воздействия взрыва ТВС при проливе СУГ. Зависимость избыточного давления от расстояния от центра взрыва ТВС, образовавшегося при разрушении стандартной цистерны с СУГ с объемом 54 м³ и со степенью заполнения цистерны СУГ 85 % представлена в табл. П.7.4 Прил. 7.

Таблица 2.7

**Безопасные радиусы (по избыточному давлению)
при авариях с СУГ на станции по наливу-сливу нефтепродуктов**

Люди	ΔP	=	3 кПа	–	1800 м
общественный транспорт	ΔP	=	16 кПа	–	450 м
складские здания	ΔP	=	15 кПа	–	500 м
жилые здания	ΔP	=	10-20 кПа	–	800 м
здания 4-5 ст. огнестойкости	ΔP	=	10 кПа	–	800 м
здания 3 ст. огнестойкости	ΔP	=	15 кПа	–	500 м
здания 1-2 ст. огнестойкости	ΔP	=	25 кПа	–	400 м
промышленные здания	ΔP	=	30 кПа	–	330 м
Безопасные радиусы (по избыточному давлению) при авариях с СУГ на станции по наливу-сливу нефтепродуктов:					
Люди	ΔP	=	3 кПа	–	1500 м
общественный транспорт	ΔP	=	16 кПа	–	450 м
складские здания	ΔP	=	15 кПа	–	450 м
жилые здания	ΔP	=	10-20 кПа	–	700 м
здания 4-5 ст. огнестойкости	ΔP	=	10 кПа	–	700 м
здания 3 ст. огнестойкости	ΔP	=	15 кПа	–	450 м
здания 1-2 ст. огнестойкости	ΔP	=	25 кПа	–	350 м
промышленные здания	ΔP	=	30 кПа	–	200 м

2.5.3.3. Зона воздействия теплоизлучения огненного шара. Зависимость плотности теплового потока от расстояния R от центра и от поверхности (в скобках) огненного шара, образовавшегося при взрыве одной цистерны с СУГ представлена в табл. 2.8.

Таблица 2.8

R , м	60 (0)	120 (60)	180 (120)	240 (180)	300 (240)
q , кВт/м ²	200	50	22	13	8

Безопасные радиусы при авариях с образованием огненного шара СУГ:

- люди (персонал) – 300 м;
- общественный транспорт – 120 м;
- складские здания – 100 м;
- жилые здания – 100 м.

2.5.3.4. Зона воздействия теплоизлучения пожаров проливов. Зависимость плотности теплового излучения q (кВт/м²) от расстояния R (м) представлена в Приложении 9.

Таблица 2.9

Безопасные расстояния при горении проливов СУГ и ЛВЖ:

1. Пролив СУГ – 24 т		
Безопасные расстояния для людей	–	80 м
Безопасные расстояния для зданий	–	40 м
2. Пролив СУГ – 48 т		
Безопасные расстояния для людей	–	100 м
Безопасные расстояния для зданий	–	50 м
3. Пролив ЛВЖ – 24 т		
Безопасные расстояния для людей	–	60 м
Безопасные расстояния для зданий	–	35 м
4. Пролив ЛВЖ – 48 т		
Безопасные расстояния для людей	–	80 м
Безопасные расстояния для зданий	–	45 м
5. Пролив СУГ площадью 1500 м		
Безопасные расстояния для людей	–	120 м
Безопасные расстояния для зданий	–	55 м

Наиболее вероятная аварийная ситуация – разрушение одной цистерны. Поэтому за безопасные расстояния при вероятном сценарии принимаются 80 м для людей и 40 м для зданий. Максимальные безопасные расстояния – 120 м для людей и 60 м – для зданий.

2.5.3.5. Зона разлета осколков (обломков) при взрыве цистерны. Безопасные расстояния для людей и зданий при наиболее вероятном варианте разрушения (взрыве) цистерны – 150 м. Максимальные безопасные расстояния – 120 м для людей и зданий – 450 м.

2.5.3.6. Зона разлета горящих частиц, искр и головней при пожаре лесоматериалов в зависимости от площади пожара и скорости ветра представлена в Приложении 10. При наиболее вероятной скорости ветра 4–6 м/с дальность переноса искр достигает 1,5 км.

2.5.3.7. Зона взрывоопасных концентраций при проливах и утечках СУГ.

Размеры взрывоопасных зон для стандартной цистерны с СУГ объемом 54 м³ и со степенью заполнения цистерны СУГ 85 % оцениваются по табл. 2.10.

Таблица 2.10

Размеры взрывоопасных зон для различных СУГ

Место аварии	Вещество	Масса СУГ, т	Радиус, м
Сортировочная станция	Пропилен	29	290
Столкновение цистерн	Пропан-бутан	32	295
Разгерметизация углового вентиля	Н-бутан	35	300
	Изопентан	43	330

Радиусы взрывоопасных зон определяют размеры возможного пожара после воспламенения (пожар-вспышка) ТВС.

Радиус взрывоопасной зоны на сортировочной станции до 330 м.

2.5.3.8. Зоны аварийного разлива СУ и ЛВЖ.

Площадь разлива от одной цистерны зависит от метеоусловий, состояния балласта и уклона путей, рельефа местности и составляет 160–300 м².

Площадь пожара разлива СУГ составляет 160 м² для одной цистерны и 320 м² – для двух цистерн.

Площадь разлива ЛВЖ и ГЖ на станциях зависит от места аварии и количества цистерн, получивших повреждения. Для наиболее неблагоприятных сценариев аварии площади разливов могут быть:

- для станций, на которых осуществляется накопление и транспортировка жидкостей – 3000 м²;
- для остальных станций – 1500 м²;
- для одной цистерны – 160–300 м²;
- для двух цистерн – 300–500 м².

2.5.3.9. Зоны химического заражения при аварии АХОВ определяются по методике [6].

Вероятные зоны распространения облаков некоторых АХОВ с поражающими концентрациями на открытой местности при скорости вет-

ра 1 м/с в зависимости от массы пролива АХОВ и состояния атмосферы представлены в табл. 2.11.

Таблица 2.11

Наименование АХОВ	Масса АХОВ, т				
	5	10	25	50	75
При инверсии					
Хлор	20	40	70	90	100
Сероводород	5	8	13	20	25
Аммиак	3	4	6	9	12
Сернистый ангидрид	4	4	7	10	13
Пропилен	3	3	5	8	12
Фенол	3	5	8	12	15
При изотермии					
Хлор	4,6	7,0	11,5	16,0	19,0
Сероводород	1,1	1,5	2,5	4,0	5,0
Аммиак	0,7	0,9	1,3	1,9	2,4
Сернистый ангидрид	0,8	0,9	1,4	2,0	2,5
Пропилен	0,5	1,0	1,5	3,0	2,5
Фенол	0,8	1,1	1,8	2,2	2,7
При конвекции					
Хлор	1,0	1,4	1,9	2,4	3,0
Сероводород	0,3	0,5	0,6	0,9	1,1
Аммиак	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Сернистый ангидрид	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Пропилен	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Фенол	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8

2.6. Порядок расчета пожарной обстановки при авариях с опасными грузами

2.6.1. Расчет пожарной обстановки при авариях с СУГ и ЛВЖ

2.6.1.1. Расчет возможной пожарной обстановки проводится по следующим этапам:

- 1) выбор типовой аварийной ситуации (п. 2.4);
- 2) расчет опасных зон поражающих факторов аварии (п. 2.5.2), который должен включать:

- расчет размеров зон разлива, т.е. последующую зону пожара пролива (п. 2.3.3);

- расчет зон загазованности (взрывоопасных концентраций), т.е. последующую зону поражения пожара-вспышки);
 - расчет размеров зон разрушений цистерн (резервуаров), зданий и поражения людей от ударной волны при взрыве ТВС, т.е. определение возможных проливов СУГ или ЛВЖ;
 - расчет размеров зон поражения людей и загорания материалов при воздействии теплового излучения, т.е. определяется возможность распространения пожара на другие объекты;
 - расчет размеров зон поражения тепловым излучением от огненного шара (при авариях СУГ), т.е. определяется возможность распространения пожара на другие объекты;
- 3) отображение опасных зон и зон пожаров на ситуационном плане объекта.

2.6.1.2. При оценке пожарной обстановки необходим учет особенностей пожаров.

При аварии с СУГ площадь зоны загазованности при разгерметизации одной цистерны СУГ достигает 2500 м^2 и может иметь протяженность до 250 м. При попадании цистерны, заполненной СУГ, в факел пламени в ней резко повышается давление, предохранительные клапаны не успевают стравливать газ и через 16–24 мин цистерна разрушается со взрывом, выбросом пламени на высоту до 150 м и образованием новых очагов горения на расстоянии до 150 м. При этом образуется огненный шар диаметром 120–150 м. Осколки взорвавшейся цистерны разбрасываются на расстоянии до 150 м, в отдельных случаях – до 450 м. Иногда взрыв срывает цистерну с рамы и отбрасывает ее на расстояние до 80 м.

Взрыв одной железнодорожной цистерны с СУГ способствует увеличению площади пожара до 160 м^2 в зависимости от состояния балласта железнодорожных путей и рельефа местности.

Быстрее всего пожар развивается при разливе СУГ из железнодорожных цистерн в результате аварий, столкновения или крушения поездов. При этом цистерны опрокидываются и повреждаются, вследствие чего площадь пожара может достигать 10 тыс. м^2 . По разлитому продукту горение распространяется не только на ближайшие поезда, но и на соседние складские, производственные и административные здания, а в некоторых случаях – на постройки прилегающих районов.

Характерной особенностью рассматриваемых пожаров является значительная скорость роста площади горения. Обычно она составляет около $330 \text{ м}^2/\text{мин}$, а иногда достигает $1000 \text{ м}^2/\text{мин}$. Если в результате аварии цистерн СУГ растекается без горения, то при воспламенении предварительно разлитой жидкости рост площади пожара будет харак-

теризоваться скоростью распространения пламени по поверхности продукта, которая определяется его физико-химическими свойствами. Если же воспламенение продукта происходит одновременно с аварией, то скорость роста площади пожара будет определяться гидродинамическими свойствами потока жидкости, зависящими от ее расхода, уклона местности, вязкости продукта и скорости выгорания.

2.6.1.3. При разливе ЛВЖ из железнодорожных цистерн в результате аварии, столкновения и крушения площадь пожара может достигнуть 10–35 тыс. м². По разлитому нефтепродукту горение распространяется не только на соседние поезда, но и на ближайшие здания, а при попадании горящего разлитого нефтепродукта в канализацию или сточные каналы – на объекты, расположенные на расстоянии до 1 км.

Площадь разлива от одной цистерны зависит от метеоусловий, состояния балласта и уклона путей, рельефа местности и составляет 160–300 м². Скорость распространения пламени по разлитому продукту составляет 15–25 м/мин и может возрасти в отдельных случаях до 40 м/мин.

Если орошение водяными стволами не осуществляется, то разрушение железнодорожных цистерн с ЛВЖ и ГЖ происходит, как правило, через 15–25 мин после начала воздействия на них открытого факела пламени.

Высота факела при разрушении цистерн достигает 50 м. При этом общая площадь пожара может увеличиться до 1500 м².

Площадь разлива ЛВЖ и ГЖ га станциях зависит от места аварии и количества цистерн, получивших повреждения. Для наиболее неблагоприятных сценариев аварии площади разливов могут быть:

- для станций, на которых осуществляется накопление и транспортировка жидкостей – 3000 м²;
- для остальных станций – 1500 м²;
- для одной цистерны – 160–300 м²;
- для двух цистерн – 300–500 м².

В очаге пожара при этом находятся:

- 6 цистерн – для станций, на которых осуществляется накопление и транспортировка жидкостей;

- 3 цистерны – для остальных станций.

На соседних путях расположены поезда:

- с 8 цистернами с ЛВЖ – для станций, на которых осуществляется накопление и транспортировка жидкостей;
- с 4 цистернами – для остальных станций.

2.6.1.4. Длина и ширина фронта пожара определяются исходя из условия прямоугольной формы его распространения:

$$S_{\text{п}} = a \cdot b,$$

где $S_{\text{п}}$ – площадь пожара, м²;

a – длина фронта пожара, м;

b – ширина фронта пожара, м.

При разливе СУГ, ЛВЖ и ГЖ скорость развития пожара вдоль железнодорожных путей в среднем в 3,5 раза выше, чем скорость распространения пламени на поезде, находящиеся на соседних путях, поэтому принимается $a = 3,5 \cdot b$.

Тогда

$$S_{\text{п}} = 3,5 \cdot S_{\text{п}} = a \cdot b^2,$$

$$b = (S_{\text{п}} / 3,5)^{1/2}.$$

2.6.2. Расчет пожарной обстановки при горении ТГМ в подвижном составе

2.6.2.1. Определение времени охвата пламени грузового вагона осуществляется по формуле:

$$t_{\text{полн}} = L/V,$$

или

$$t_{\text{полн}} = S_{\text{в}}/U.$$

где L – максимальный линейный размер (длина) вагона, м;

V – линейная скорость развития пожара, м/мин;

U – скорость роста площади пожара, м²/мин;

$S_{\text{в}}$ – площадь вагона, м².

Ориентировочное время полного охвата вагона составляет:

- для открытых платформ – 10–15 мин;
- для закрытых грузовых вагонов – 15–20 мин.

2.6.2.2. Определение линейной скорости пожара.

Для каждого материала линейная скорость распространения пожара определяется по данным Приложения 11.

2.6.3. Расчет пожарной обстановки при горении ТГМ на складах хранения грузов

2.6.3.1. Площадь пожара $S_{\text{п}}$ (м²) в любой момент времени t (мин) определяется по формулам:

1. Для круговой формы распространения пожара (пожар начинается вблизи центра склада):

$$S_{\text{п}} = \pi \cdot (V - t)^2 \text{ при } t < c/V,$$
$$S_{\text{п}} = \pi \cdot c^2 + 2 \cdot V \cdot (t - c/V) \text{ при } t > c/V,$$

где c – половина ширины склада, м;

V – скорость распространения пожара, /мин.

2. Для угловой формы распространения пожара (пожар начинается вблизи в углу склада):

$$S_{\text{п}} = \pi/4 \cdot (V - t)^2 \text{ при } t < 2 \cdot c/V,$$
$$S_{\text{п}} = \pi \cdot c^2 + V \cdot (t - 2 \cdot c/V) \text{ при } t > 2 \cdot c/V.$$

3. Для полукруговой формы (пожар начинается у стен склада):

$$S_{\text{п}} = \pi/2 \cdot (V - t)^2 \text{ при } t < 2 \cdot c/V,$$
$$S_{\text{п}} = 2 \cdot \pi \cdot c^2 + 2 \cdot V \cdot (t - 2 \cdot c/V) \text{ при } t > 2 \cdot c/V.$$

2.6.3.2. Определение времени полного охвата пламенем помещения склада при угловой форме распространения пожара производится по следующей формуле:

$$t_{\text{полн}} = L/V, \text{ мин.}$$

где L – максимальный линейный размер (длина) вагона, м.

При круговой форме распространения пожара:

$$t_{\text{полн}} = L/(2 \cdot V), \text{ мин.}$$

2.6.4. Расчет количества вагонов, охваченных пожаром

2.6.4.1. Количество вагонов, которые могут пострадать при пожаре, определяется следующим образом:

общее количество вагонов в очаге пожара:

$$N = S_{\text{п}} \cdot K_{\text{р}}/S_{\text{в}},$$

где N – общее количество вагонов, охваченных огнем, шт.;

$S_{\text{в}}$ – средняя площадь пола вагона, м²;

$K_{\text{р}}$ – коэффициент, учитывающий расстояние между подвижным составом ($K_{\text{р}} = 0,75$ при полной загрузке станции);

Количество $N_{\text{к}}$ вагонов на крайних железнодорожных путях по длине фронта пожара:

$$N_{\text{к}} = a/(L_{\text{в}} + 1),$$

где $L_{\text{в}}$ – средняя длина вагона (цистерны), м; при этом учитывается расстояние между торцами вагонов, равное 1м;

количество $N_{\text{ш}}$ вагонов на железнодорожных путях по ширине фронта пожара:

$$N_{\text{ш}} = b \setminus r_{\text{жд}},$$

где $r_{\text{жд}}$ – минимальное расстояние, занимаемое одним железнодорожным путем с подвижным составом, м (принимается равным 4 м полной загрузке станции);

по периметру пожара без учета цистерн, указанных в п. 2.6.1.6, из которых произошел разлив:

$$N_{\text{п}} = 2 \cdot [N_{\text{к}} + (N_{\text{ш}} - 2)] - N_r,$$

где $(N_{\text{ш}} - 2)$ – количество вагонов (цистерн) по ширине фронта пожара, на которые распространилось пламя, за вычетом вагонов на крайних путях (-2) , шт.;

N_r – количество цистерн на горящих путях, шт. (принимается по исходным данным п. 2.6.1.3).

2.7. Мероприятия по предупреждению и локализации воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на производственный персонал и население при аварийных ситуациях на объектах железнодорожного транспорта

2.7.1. Общие положения

2.7.1.1. Предупреждение и локализация воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на производственный персонал и население при аварийных ситуациях на объектах железнодорожного транспорта обеспечиваются согласно [18] (ГОСТ 12.1. 004-91. Пожарная безопасность. Общие требования) системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, а также организационно-техническими мероприятиями.

2.7.1.2. Предотвращение аварийных ситуаций, приводящих к пожарам (взрывам) при перевозке опасных грузов, обеспечивается при условии выполнения действующих Правил технической эксплуатации железных дорог (ПТЭ) [19], Правил перевозок грузов [20], Инструкции по движению поездов и маневровой работе [21], Правил пожарной безопасности на железнодорожном транспорте [14], Инструкции по составлению техническо-распорядительных актов станций [22] и других нормативных документов, регламентирующих технологические процессы работы сортировочной станции, железнодорожных станций по наливу

и сливу нефтегрузов и промывочно-пропарочных предприятий по очистке и подготовке цистерн под перевозку грузов.

2.7.1.3. Локализация воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на городскую застройку и население достигается выполнением действующих строительных норм и правил, регламентирующих размещение объектов железнодорожного транспорта по отношению к городской застройке и селитебной территории [23, 24], а также «Правил безопасности и порядка ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами при перевозке их по железным дорогам» [11].

Для действующих объектов железнодорожного транспорта, расположенных вблизи от селитебной территории, совместно с соответствующими территориальными органами управления по делам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций должны быть разработаны организационно-технические мероприятия, обеспечивающие своевременное оповещение и эвакуацию населения за пределы опасной зоны в случае возникновения аварии.

2.7.2. Предотвращение аварийных ситуаций, приводящих к пожарам (взрывам) при перевозке опасных грузов

2.7.2.1. Предотвращение аварийных ситуаций при перевозке опасных грузов в первую очередь зависит от организации технической работы станции, регламентированной Правилами технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации [19] и другими нормативными документами [14, 20–22].

Порядок использования технических средств станции устанавливается технико-распорядительным актом, которым регламентируется безопасный и беспрепятственный прием, отправление и проследование поездов по станции, безопасность внутростанционной маневровой работы и соблюдение техники безопасности.

Порядок, установленный технико-распорядительным актом, является обязательным для работников всех служб (п.15.1 ПТЭ [19]).

2.7.2.2. К технико-распорядительному акту станции прилагаются схематический план станции и необходимые инструкции, в том числе инструкция о порядке действий работников станций при возникновении аварийных ситуаций с опасными грузами и пожаров.

Указанная инструкция должна находиться в помещениях дежурного по станции, маневрового диспетчера, дежурных по паркам и сортировочным горкам.

В инструкции о порядке действий работников станций при возникновении аварийных ситуаций с опасными грузами и пожаров должны быть отражены требования, изложенные в Рекомендациях [7], а именно:

1. В соответствии с п. 16.2 ПТЭ [19] должны быть определены районы управления и распределены между работниками станции обязанности по рассредоточению и выводу из опасной зоны вагонов и составов, а также локализации аварии и пожаров в начальной стадии.

2. Для работников станции должно быть предусмотрено немедленное выполнение следующих работ при возникновении пожара:

- провести в течение 15 мин рассредоточение вагонов и составов на безопасное расстояние от очага пожара (горящего вагона, места разлива и горения ЛВЖ, ГЖ, СУГ и т.п.);

- освободить от подвижного состава не менее трех соседних путей с обеих сторон от очага пожара и вывести составы из опасной зоны на расстояние не менее 250 м. В первую очередь должны быть выведены из зоны возможного воздействия поражающих факторов аварий составы с разрядными грузами;

- обесточить и заземлить контактную сеть на участках работы пожарных подразделений за время не более 10 мин с момента получения извещения о пожаре;

- освободить два пути в безопасной зоне с наветренной стороны от очага пожара, но не далее четвертого-пятого путей, для приема прибывающих пожарных и восстановительных поездов;

- продолжить эвакуацию подвижного состава (в первую очередь с людьми и опасными грузами) в сторону вытяжных путей с учетом преобладающего направления развития пожара, при угрозе станционным сооружениям, строениям и окружающей застройке;

- освободить пути или создать разрыв между вагонами, по указанию руководителя тушения пожара (РТП), для проведения боевого развертывания и прокладки рукавных линий прибывающими пожарными подразделениями;

- приступить к тушению пожара силами ДПД с помощью первичных средств пожаротушения, проложить рукавную линию от ближайших водоисточников и при условии обеспечения личной безопасности осуществлять с помощью распыленных струй воды защиту работников, выполняющих операции по эвакуации подвижного состава и опасных грузов.

3. После прибытия пожарных подразделений действия работников станции по эвакуации и рассредоточению подвижного состава осуществляются по указанию РТП или по согласованию с ним. Руководи-

телем работ по ликвидации последствий аварийных ситуаций является старший начальник железной дороги (начальник дороги, станции и их заместители) или начальник восстановительного поезда. После прибытия к месту пожара подразделений ГПС МВД России назначается руководитель тушения пожара, согласно инструкции [25]. РТП возглавляет работы по тушению пожара и управляет всеми подразделениями пожарной охраны, участвующими в ликвидации пожара.

На пожаре РТП обязан (через представителя администрации, входящего в состав оперативного штаба):

- установить вид материалов, содержащихся в горящих и соседних вагонах;
- принять меры по отцепке горящих вагонов и выводу их в безопасное место;
- потребовать до начала тушения письменное разрешение, подтверждающее снятие напряжения с контактных сетей и их заземление на участках работы пожарных подразделений.

После установления вида горящих материалов РТП совместно с администрацией по аварийным карточкам определяют пожарную опасность грузов и материалов и необходимые огнетушащие вещества.

Работники железнодорожного транспорта поддерживают связь между собой с помощью средств связи железной дороги (радиотелефонной и громкоговорящей). Для более четкого взаимодействия работников железной дороги, оперативного штаба на пожаре и РТП, к ним следует прикреплять связных с радиостанциями, работающими на частотах оперативного штаба на пожаре.

Ликвидация пожаров в подвижном составе на электрифицированных участках должна производиться только после получения письменного разрешения с указанием в нем номера приказа энергодиспетчера и времени снятия напряжения. Снятие напряжения с контактной сети обеспечивается дежурным энергодиспетчером. До обесточивания контактной сети и ее заземления на этих участках запрещается приближаться к контактному проводу на расстояние менее 2 м и к оборванным концам ближе 10 м.

Тушение без снятия напряжения допускается внутри вагонов подвижного состава, а также горящих предметов, расположенных на расстоянии свыше 7 м от контактной сети, при условии, что струя пены или воды не будет касаться контактных проводов и других частей, находящихся под напряжением.

Работниками железнодорожного транспорта должны быть приняты меры для расшифровки грузов по перевозочным документам. Если свойства веществ и материалов неизвестны, принять меры по их выяс-

нению (через грузоотправителя или грузополучателя), а в необходимых случаях направления их специалистов на место происшествия. Подавать огнетушащие вещества (воду, пену) следует только после выяснения рода груза.

2.7.2.3. Маневры на станционных путях должны производиться по указанию только одного работника – дежурного по станции, маневрового диспетчера, дежурного по сортировочной горке или парку, а на участках, оборудованных диспетчерской централизацией, – поездного диспетчера. Распределение обязанностей по распоряжению маневрами указывается в техническо-распорядительном акте станции.

2.7.2.4. На станциях, имеющих горочные устройства для сортировки вагонов, маневры должны производиться в соответствии с инструкциями, утвержденными начальником дороги.

Запрещается производить маневры толчками и спускать с горки:

- вагоны с грузами отдельных категорий в соответствии с Правилами перевозок грузов [20];
- вагоны и специальный подвижной состав, имеющие трафарет «С горки не спускать».

Указанный подвижной состав может быть пропущен через сортировочную горку только с маневровым локомотивом.

2.7.2.5. Вагоны с опасными грузами отдельных категорий, требующими особой осторожности (в соответствии с Правилами перевозок грузов [20]), при производстве маневров должны иметь прикрытие от паровоза, работающего на твердом топливе, не менее одного вагона с неопасным грузом или порожнего. Цистерны с СУГ и ЛВЖ должны иметь прикрытие от ведущего тепловоза не менее двух вагонов с неопасными грузами или порожних. Необходимое число вагонов прикрытия указывает грузоотправитель в перевозочных документах. Вагоны с разрядными грузами и цистерны со сжиженными газами при стоянке на станции вне поездов, за исключением находящихся под накоплением на путях сортировочных парков, должны устанавливаться на особых путях, устанавливаемых техническо-распорядительным актом станции. Такие вагоны должны быть сцеплены, надежно закреплены от ухода и ограждены переносными сигналами остановки.

Стрелки, ведущие на путь стоянки таких вагонов, устанавливаются в положение, исключающее возможность заезда на этот путь.

При нахождении вагонов с опасными грузами и цистерн со сжиженными газами под накоплением на путях сортировочных парков должны соблюдаться особые меры предосторожности, установленные Инструкцией по движению поездов и маневровой работе [21].

2.7.2.6. Движением локомотива, производящего маневры, должен руководить только один работник – руководитель маневров (составитель поездов), ответственный за правильное их выполнение. Руководитель маневров обязан:

- организовать маневровую работу так, чтобы была обеспечена безопасность движения;
- маневры с вагонами, занятыми опасными грузами, следует производить с особой осторожностью;
- строго выполнять указания технико-распорядительного акта станции по распределению вагонов и цистерн с опасными грузами (разрядными грузами и сжиженными газами) на путях, предназначенных для их стоянки;
- знать свои обязанности, предусмотренные инструкцией о порядке действий работников станций при возникновении аварийных ситуаций с опасными грузами и пожаров и принимать немедленные меры по расцепке вагонов и их транспортировке в указанные инструкцией места;
- выполнять задания дежурного по станции и других должностных лиц, указанных в п. 2.7.2.3 настоящего раздела, на маневровую работу при возникновении аварийной ситуации.

Задание на маневровую работу должно быть дано четко и ясно и доведено руководителем маневров до каждого причастного работника. При обнаружении загорания в вагоне составитель поездов должен сообщить по радиостанции о пожаре дежурному по станции и машинисту локомотива, участвующему в маневровых работах.

Порядок ознакомления локомотивных и составительских бригад с инструкцией о порядке действий работников станций при возникновении аварийных ситуаций с опасными грузами и пожаров устанавливается начальником дороги.

2.7.2.7. По прибытию поезда, в составе которого имеются вагоны (цистерны) с опасными грузами, должна быть проведена его обработка с особой тщательностью в парке прибытия, в соответствии с требованиями, изложенными в Типовом технологическом процессе работы сортировочной станции [27] (раздел 4. Технология обработки транзитного вагонопотока).

Особое внимание должно быть уделено техническому обслуживанию и осмотру вагонов с опасными грузами в коммерческом отношении с целью выявления вагонов, требующих отцепочного ремонта и устранения коммерческих неисправностей, угрожающих безопасности движения.

По окончании технического обслуживания и коммерческого осмотра состава старший осмотрщик вагонов сообщает в станционный технологический центр номера вагонов, требующих отцепочного ремонта, а приемщик поездов – номера вагонов, требующих подачи на

специальные пути для устранения неисправностей, угрожающих безопасности движения. Об окончании осмотра состава старший осмотрщик и приемщик поездов уведомляют дежурного по станции (парку).

2.7.2.8. Предотвращение аварийных ситуаций, приводящих к пожарам (взрывам) при перевозке опасных грузов, существенно зависит от выполнения Правил их перевозки при подготовке подвижного состава под погрузку грузоотправителями, которые несут ответственность за последствия, вызванные неправильным определением условий перевозки грузов и за неправильное указание сведений, характеризующих груз в аварийной карточке.

Общие и специальные условия перевозки опасных грузов определяются Правилами перевозок опасных грузов и должны строго соблюдаться при подготовке подвижного состава под погрузку, а также при проведении погрузочно-разгрузочных работ и транспортировании этих грузов. Требования пожарной безопасности к перевозке опасных грузов изложены в главе 5 Правил пожарной безопасности на железнодорожном транспорте [14].

2.7.3. Локализация воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на городскую застройку и население

2.7.3.1. Зона воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на городскую застройку и население должна быть ограничена в пределах безопасных расстояний от сортировочных и грузовых станций, на которых обращаются или хранятся опасные грузы, до селитебной территории городов. Расчет радиусов опасных зон приводится ниже настоящего пособия.

2.7.3.2. Согласно строительно-техническим нормам [23] генеральные схемы развития железнодорожных узлов и технико-экономические обоснования крупных станций следует разрабатывать в увязке с проектами планировки городов в соответствии со СНиП [24], согласно которым новые сортировочные станции общей сети железных дорог следует размещать за пределами городов, а грузовые станции и контейнерные площадки – за пределами селитебной территории.

При необходимости реконструкции грузовых станций (районов), расположенных в зоне жилой застройки городов и в стесненных условиях, должен быть рассмотрен вариант выноса их за пределы города. При проектировании объектов железнодорожного транспорта должны также учитываться требования СНиП 2.01.51-90 «Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны».

2.7.3.3. В планах ликвидации аварийных ситуаций и оперативных планах пожаротушения на действующих объектах железнодорожного транспорта, создающих угрозу населению в ближайшей городской за-

стройке, должно быть предусмотрено оповещение о пожаре (аварии) для своевременной эвакуации людей за пределы опасной зоны, а также указаны кратчайшие пути эвакуации и границы опасной зоны для каждого вида аварии, а также последствия воздействия опасных факторов пожара (взрыва) в пределах этих зон.

2.7.4. Локализация воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на производственный персонал объектов железнодорожного транспорта

2.7.4.1. Сортировочные, участковые и грузовые станции должны быть обеспечены необходимыми средствами противопожарной защиты. Грузовые устройства и путевое развитие, соответствующие предстоящей грузовой работе, следует концентрировать на одном грузовом районе станции со специализированными для переработки опасных грузов площадками, оборудованными стационарными установками пожаротушения, в том числе и автоматическими, с соответствующими определенному виду грузов однородными средствами пожаротушения. Могут также создаваться в пределах станций несколько специализированных грузовых районов для переработки отдельных родов опасных грузов с аналогичными системами противопожарной защиты.

2.7.4.2. Требования пожарной безопасности для складов общего и специального назначения, грузовых районов, контейнерных площадок и сортировочных платформ, обеспечивающих предупреждение и локализацию опасных факторов пожара (взрыва) на производственный персонал, изложены в главе 1 Правил пожарной безопасности на железнодорожном транспорте [14], в которой изложены общие, а также специальные требования к складам хранения опасных и особо опасных грузов.

2.7.4.3. При проектировании новых и реконструкции действующих сортировочных, участковых и грузовых станций (следует предусматривать специальные пути, на которые необходимо направлять поврежденный подвижной состав с опасными грузами для проведения мероприятий, указанных в аварийных карточках (устранению утечки паровой и жидкой фазы СУГ и ЛВЖ, тушения факела истекающих газов и жидкостей, охлаждению цистерн, дегазации и нейтрализации опасных грузов и т.п.). Для этой цели указанные пути должны быть оборудованы стационарными установками пожаротушения, лафетными стволами, устройствами и запасными емкостями для слива, перекачки и эвакуации опасных грузов.

Противопожарное водоснабжение в парках станции, на которых производятся расформирование, формирование, погрузочно-разгрузочные операции и отстой составов, должно соответствовать требованиям, изло-

женным в разделе 25 СТН Ц-01-95 [33]. Приемно-контрольные пункты пожарной сигнализации и дистанционную систему включения насосов-повысителей необходимо размещать в помещениях дежурных по станциям, которые должны быть обеспечены прямой телефонной связью с ЦППС гарнизона ГПС МВД России.

2.7.4.4. При проведении работ, регламентированных инструкцией «О порядке действий работников станций при возникновении аварийных ситуаций с опасными грузами и пожаров» в начальной стадии до прибытия специальных подразделений и аварийных служб, производственный персонал станции должен действовать по указанию должностных лиц, указанных в п.п. 2.7.2.3 и 2.7.2.6 настоящего раздела, соблюдая правила техники безопасности, изложенные в аварийных карточках.

2.7.4.5. В случае невозможности проведения маневров по перестановке аварийных вагонов на специальные пути (безопасные места) для ликвидации аварийной ситуации, а также вывода вагонов на перегон, начальник станции и другие должностные лица, указанные в п.п. 2.7.2.3 и 2.7.2.6 настоящего раздела, должны принять следующее экстренное решение по минимизации угрозы безопасности людей и объектов станции при аварийных ситуациях, перечисленных ниже:

1. При интенсивной утечке сжиженных газов из поврежденной цистерны немедленно эвакуировать персонал станции (объекта) за пределы загазованной зоны в наветренную сторону на расстояние не менее 250 м от места аварии.

Прекратить маневровые работы и движение поездов, устранить все возможные источники огня, искр, тепла, запретить курение, объявив об этом по оповестительной парковой связи.

Вызвать пожарные и аварийно-спасательные подразделения, восстановительный и пожарный поезда, организовав их встречу за пределами загазованной зоны.

Обеспечить контроль по границе безопасной зоны, исключить доступ посторонних лиц на территорию станции.

2. При факельном горении СУГ из предохранительного клапана или из пробоины в верхней части цистерны немедленно вывести из зоны воздействия факела пламени подвижной состав или организовать вывод аварийной цистерны в безопасное место под прикрытием 3 порожних платформ на расстояние не менее 250 м.

Привлечь местную ДПД для подачи водяных стволов для охлаждения верхней части котла аварийной цистерны до прибытия пожарных подразделений. Если организовать охлаждение цистерны силами ДПД не представляется возможным, организовать эвакуацию людей за пределы 250-метровой зоны в течение не менее 15 минут с начала аварийной ситуации.

3. При пробоине цистерны в нижней части котла с истечением горящего СУГ никаких действий по выводу подвижного состава из зоны воздействия огня и тушению пожара не производить, немедленно эвакуировать людей за пределы опасной зоны на расстояние не менее 400–500 м в течение не менее 15 минут с начала аварии.

4. При утечке (проливе) ЛВЖ и ГЖ из цистерны места проливов засыпать или обваловать песком с применением деревянных носилок и лопат. Песок, носилки и лопаты должны храниться на четырехосной платформе с деревянными бортами. Место отстоя платформы устанавливается ТРА участковой или сортировочной станции. Платформа должна подаваться к месту обвалования при проливе ЛВЖ на безопасном расстоянии. Вывод подвижного состава, находящегося за пределами зоны загазованности, с территории станции должен производиться немедленно на расстояние не менее 250 м от места аварии.

2.7.5. Рекомендации при проектировании объектов железнодорожного транспорта

2.7.5.1. При проведении расчетов опасных зон в аварийных ситуациях, связанных с перевозкой СУГ и ЛВЖ, необходимо учитывать параметры цистерн, которые приводятся в справочном пособии «Специализированные цистерны для перевозки опасных грузов». М.: Изд-во стандартов, 1993.

Номенклатура углеводородных газов включает более двадцати наименований продуктов, которые существенно различаются по химическим и физическим свойствам. Для наиболее распространенных СУГ, перевозимых в специализированных цистернах, в приложении 13 пособия приведены их основные физико-химические и пожароопасные характеристики.

Котлы этих цистерн рассчитаны на рабочее давление 2 МПа и при резком повышении температуры от воздействия внешних источников тепла пожара способны разрушаться.

При мгновенной разгерметизации цистерны и проливе всего количества СУГ масса паров в облаке M_p рассчитывается по формулам (2.4) и (2.5), а при длительном истечении из пробоины – по формуле (2.6).

2.7.5.2. При проектировании новых сортировочных станций в части их размещения за пределами городов, согласно СТН Ц-01-95, необходимо учитывать расчетные данные настоящего пособия, изложенные в разделе 2.5.3.

В указанном разделе приводятся безопасные расстояния для каждого опасного фактора пожара (взрыва), из которых выбираются их максимальные значения.

Затем составляется таблица максимальных безопасных расстояний и на основе анализа данных таблицы устанавливается максимальное безопасное расстояние от периметра конкретной станции до ближайших зданий и сооружений городской застройки, с учетом безопасных расстояний для людей (населения селитебной части, персонала промышленных и других зданий).

Допускается принимать максимальное безопасное расстояние от периметра сортировочных станций до городской застройки при обращении цистерн с СУГ $R\delta = 1500$ и цистерн с ЛВЖ $R\delta = 1000$ м.

Зоны химического заражения при определении безопасных расстояний от периметра станций до городской застройки не нормируются, учитывая значительные масштабы распространения облаков АХОВ с поражающими концентрациями при наиболее неблагоприятной метеорологической обстановке (инверсии).

Учитывая большую опасность чрезвычайных ситуаций, связанных с химическим заражением местности, необходимо совместно с соответствующими территориальными органами Управления по делам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций предусматривать разработку и внедрение организационно-технических мероприятий, обеспечивающих своевременное оповещение и эвакуацию населения за пределы зоны химического заражения.

2.7.5.3. При проектировании специальных путей (аварийного участка станции) согласно п. 2.7.4.3 настоящего пособия, на которые следует направлять поврежденный подвижной состав с опасными грузами для проведения мероприятий, указанных в аварийных карточках, на сортировочных (участковых и грузовых) станциях необходимо предусматривать подъезд к аварийной площадке по специальному обходному или угловому соединительному пути с примыканием к путям сортировочного (грузового, участкового) парка, обеспечивающим эвакуацию аварийного подвижного состава в минимальное время.

Минимальное безопасное расстояние от аварийной площадки до путей сортировочного парка и сортировочных устройств должно быть не менее $R\delta = 250$ м, при условии обеспечения указанной площадки установками пожаротушения и охлаждения цистерн и другими устройствами, предусмотренными п. 2.7.4.3.

Проектирование аварийного участка осуществляется специальными проектными организациями по заданию управления дороги, при наличии финансирования для проектирования и строительства необходимых сооружений.

Приложение 1
СТЕПЕНИ ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА
ПРИ ТЕПЛОВОМ ИЗЛУЧЕНИИ

Таблица П.1.1

Классификация термических поражений от степени тяжести
в зависимости от размеров обожженной площади S

Степень тяжести	Характеристика
I	Ожоги II–IIIА степеней при $S < 10 \%$
II	Ожоги II–IIIА степеней при $S < 40 \%$ или Ожоги IIIБ–IV степеней при $S < 10 \%$
III	Ожоги II–IIIА степеней при $S < 40\%$ или Ожоги IIIБ–IV степеней при $S < 40 \%$ или Ожоги IV степени при $S > 30\%$
IV	Ожоги IIIБ–IV степеней при $S < 40 \%$ или Ожоги IV степени при $S > 30 \%$

Таблица П.1.2

Оценка исходов у пострадавшего при термическом поражении, %

Степень тяжести поражения	Гибель	Инвалидность	Годность к труду
I	–	–	100
II	10	20	70
III	60	35	5
IV	100	–	–

Таблица П.1.3

Вероятность смертельного поражения в зависимости
от полученного индекса дозы излучения при огненных шарах

Доля получивших смертельное поражение	Индекс дозы, I
0,1	10^7
0,5	$2,3 \cdot 10^7$
0,99	$6,5 \cdot 10^7$

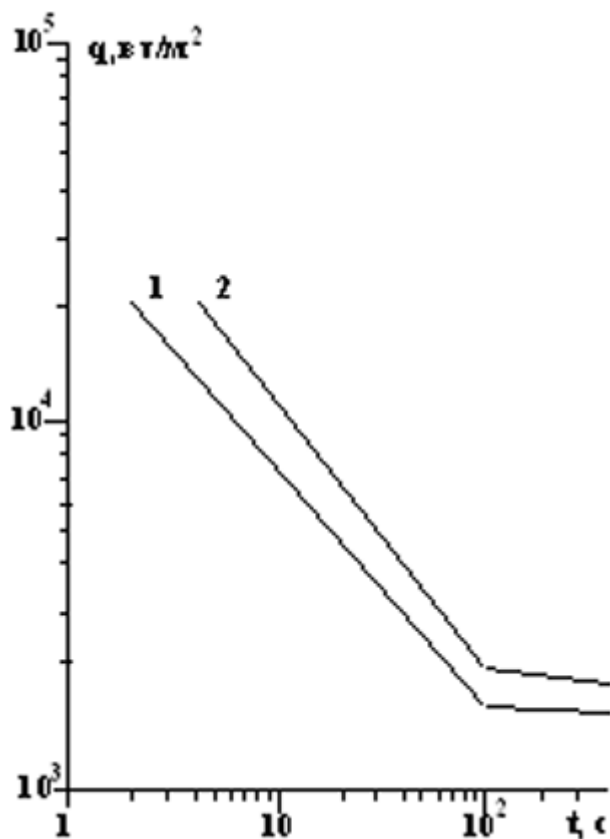


Рис. П.1.1. Оценка воздействия теплового излучения (q) на незащищенные участки кожи человека от времени t :
 1 – ожоги 1-й степени; 2 – ожоги 2-й и выше степени

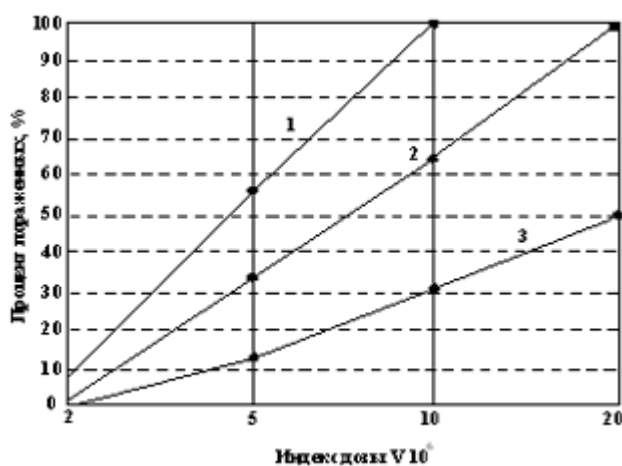


Рис. П.1.2. Зависимость процента пораженных от индекса дозы теплового излучения: 1 – ожоги 1-й степени; 2 – ожоги 2-й степени; 3 – смертельные поражения

Приложение 2
ДОПУСТИМОЕ ВРЕМЯ ПРЕБЫВАНИЯ ЛЮДЕЙ
В ЗОНАХ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРОВ

Плотность теплового потока, кВт/м ²	Допустимое время пребывания людей, мин	Требуемая защита	Степень теплового воздействия без средств защиты
3,0	Не ограничивается	Без защиты	Болевые ощущения отсутствуют
4,2	Не ограничивается	В боевой одежде и касках	Переносимая боль через 20 с
7,0	5	То же	Непереносимая боль мгновенно
8,5	5	В боевой одежде, смоченной водой, каске	Ожоги через 20 с
10,5	5	То же, но под защитой струй	Мгновенные ожоги
14,0	5	В теплоотражательных костюмах под защитой струй	Мгновенные ожоги
85,0	1	То же, со средствами защиты	Мгновенные ожоги

Приложение 3
СТЕПЕНИ РАЗРУШЕНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Таблица П.3.1

Классификация опасных зон разрушений

Класс зоны	Коэффициент, K_1	ΔP , кПа	Степень разрушения зданий и сооружений
1	3,8	>100	Полное разрушение
2	5,6	53	Сильное разрушение, 50 % полного разрушения
3	9,6	28	Среднее повреждение, разрушение без обрушения. Резервуары нефтепродуктов разрушаются
4	28	12	Умеренное разрушение, повреждения внутренних перегородок, рам, дверей
5	56	3	Малые повреждения, разбито не более 10 % остекления

Таблица П.3.2

Избыточное давление и поражение человека

Уровень поражения	ΔP , кПа
Безусловное смертельное поражение	500
Летальный исход, 50% случаев	350
Порог смертельного поражения	200
Тяжелая степень поражения	100
Порог поражения человека	3

Приложение 4
ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА СГОРАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Таблица П.4.1

Критическая интенсивность облучения для твердых веществ

Материал	Критическая интенсивность облучения при различной продолжительности облучения в мин, кВт/м ²		
	3	5	15
Древесина	18,8	16,9	13,9
Древесностружечная плита	13,9	11,9	8,3
Торф брикетный	31,5	24,4	13,2
Торф кусковой	16,6	14,3	9,8
Хлопок-волокно	11,0	9,7	7,5
Слоистый пластик	21,6	19,1	15,4
Стеклопластик	19,4	18,6	15,3
Пергамин	22	19,7	17,4
Резина	22,6	19,2	14,8
Уголь	–	35	45

Таблица П.4.2

Воздействие теплового излучения на горючие материалы

Излучение, кВт/м ²	Металл	Древесина	Ткань, резина
7		нет	
8,5–9	Разложение, вспучивание краски	Начало разложения	Начало обугливания
10,5–13,5	Обгорание краски через 2 мин	Интенсивное обугливание через 5 мин	Интенсивное обугливание через 4 мин
14–16	То же, через 1 мин	Загорание через 5 мин	Загорание через 1 мин
85	То же, через 3–5 сек	Загорание через 3–5 сек	Загорание через 3–5 сек

Приложение 5
ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ПОВЕРХНОСТИ ФАКЕЛА ПОЖАРОВ

Вещество	кВт/м ²
Ацетон	80
Бензин	130
Дизельное топливо	60
Древесина	114
Гексан	165
Метанол	35
Метилацетат	50
Винилацетат	60
Аммиак	30
Керосин	90
Нефть	70
Мазут	60
СУГ	150–200

Приложение 6
РАСЧЕТНЫЕ ТАБЛИЦЫ
ДЛЯ ОЦЕНОК ЗОН ХИМИЧЕСКОГО ЗАРАЖЕНИЯ

Таблица П.6.1

Скорость переноса переднего фронта облака АХОВ
 в зависимости от скорости ветра, м/с

Скорость, ветра, м/с	Инверсия		Изотермия		Конвекция	
	$x < 10$ км	$x > 10$	$x < 10$ км	$x > 10$	$x < 10$ км	$x > 10$
1	2	2,2	1,5	2	1,5	1,8
2	4	4,5	3	4	3	3,5
3	6	7	4,5	6	4,5	5
4	–	–	6	8	–	–
5	–	–	7,5	10	–	–
6	–	–	9	12	–	–

Примечания:

1. Инверсия и конвенция при скорости ветра более 3 м/с наблюдается в редких случаях.
2. x – расстояние от места аварии.

Таблица П.6.2

Значение коэффициента K_4
 в зависимости от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
K_4	1	1,33	1,67	2,0	2,34	2,67	3,0	3,34	3,67	4,0	5,68

Таблица П.6.3

**Характеристики АХОВ, допущенных
к перевозкам по железным дорогам и значения коэффициентов**

Наименование АХОВ	Плотность, т/м ³		Температура кипения	Пороговая токсодоза, мг мин/л	K1	K2	K3	K7				
	газ	жидкость						-40 °C	-20 °C	0 °C	20 °C	40 °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Акролеин	-	0,339	52,7	0,2*	0	0,013	0,75	0,1	0,2	0,4	1	2,2
Аммиак:												
под давлением	0,0008	0,681	-33,42	15	0,18	0,025	0,04	0/0,9	0,3/1	0,6/1	1/1	1,4/1
изотерм храние	-	0,681	-33,42	15	0,01	0,025	0,04	0/0,9	1/1	1/1	1/1	1/1
Ацетонитрол	-	0,786	81,6	21,6**	0	0,004	0,028	0,02	0,1	0,3	1	2,6
Ацетонциангидрин	-	0,932	120	1,9*	0	0,002	0,316	0	0	0,3	1	1,5
Водород хлористый	0,0016	1,191	85,10	2	0,23	0,27	0,30	0,6/1	0,6/1	0,8/1	1/1	1,2/1
Диметиламин	0,0020	0,680	6,9	1,2*	0,06	0,041	0,5	0/0,1	0/0,3	0/0,8	1/1	2,5/1
Метил бромистый	-	1,732	3,6	1,2*	0,04	0,039	0,5	0/0,4	0/0,4	0/0,	1/1	2,3/1
Метил хлористый	0,0023	0,983	-23,79	10,8**	0,125	0,044	0,056	0/0,5	0,1/1	0,6/1	1/1	1,5/1
Метилакрилат	-	0,953	80,2	6*	0	0,005	0,025	0,1	0,2	0,4	1	3,1
Нитрил акриловой кислоты	-	0,806	77,3	0,75	0	0,007	0,80	0,04	0,1	0,4	1	2,4
Окись этилена	-	0,882	10,7	2,2**	0,05	0,041	0,27	0/0,1	0/0,3	0/0,7	1/1	3,2/1
Сероводород	0,015	0,968	-60,35	16,1	0,27	0,42	0,036	0,3/1	0,5/1	0,8/1	1/1	1,2/1
Серовуглерод	-	1,263	46,2	45	0	0,021	0,013	0,1	0,2	0,4	1	2,1
Соляная кислота (концентрированная)	-	1,198	-	2	0	0,021	0,3	0	0,1	0,3	1	1,6
Триметиламин	-	0,681	2,9	6*	0,07	0,047	0,1	0/0,1	0/0,4	0/0,9	1/1	2,2/1

Окончание табл. П.6.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Формальдегид	–	0,915	–19,0	0,6*	0,19	0,034	1,0	0/0,4	0/1	0,5/1	1/1	1,5/1
Фосген	0,0035	1,432	8,2	0,6	0,05	0,061	1,0	0/0,1	0/0,3	0/0,7	1/1	2,7/1
Фосфор треххлористый	–	1,570	75,3	3	0	0,010	0,2	0,1	0,2	0,4	1	2,3
Хлор	0,0032	1,553	–34,1	0,6	0,18	0,052	1,0	0/0,9	0,3/1	0,6/1	1/1	1,4/1
Этилмеркаптан	–	0,839	35,0	2,2*	0	0,028	0,27	0,1	0,2	0,5	1	1,7

Примечания:

1. Плотность газообразных АХОВ в графе 2 приведены для атмосферного давления; при давлении в емкости, отличном от атмосферного, плотности газообразных АХОВ определяются путем умножения данных графы 2 на значения давления в кгс/кв.см.

2. В графе 9–13 в числителе значения $K7$ для первичного, а в знаменателе – для вторичного облака

3. В графе 5 численные значения токсодоз, помеченные звездочками, определены ориентировочно расчетом по соотношению:

$$\text{Ток} = 240 \cdot k \cdot \text{ПДК}_{\text{р.з}}$$

где Ток – токсодоза, мг/мин/л; $\text{ПДК}_{\text{р.з}}$ – ПДК рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005-88, мг/л; $k = 5$ – для раздражающих ядов (помечены одной звездочкой *), $k = 9$ – для всех прочих ядов (помечены двумя звездочками **).

4. Значение $K1$ для изотермического хранения аммиака приведено для случая разливов (выбросов) в поддон.

Таблица П3.4

Глубины зон возможного заражения АХОВ, км

Скорость ветра,	Эквивалентное количество АХОВ, т															
	0,01	0,05	0,1	0,5	1	3	5	10	20	30	50	70	100	300	500	1000
1	0,38	0,85	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56	38,13	52,67	65,23	81,91	166	231	363
2	0,26	0,39	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,83	16,44	21,02	28,73	35,35	44,09	87,79	121	189
3	0,22	0,48	0,68	1,53	2,17	3,99	5,35	7,96	11,94	15,18	20,59	25,21	31,30	61,47	84,50	130
4	0,19	0,42	0,59	1,33	1,88	3,28	4,36	6,46	9,62	12,18	16,43	20,05	24,80	48,18	65,92	101
5	0,17	0,38	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19	10,33	13,88	16,89	20,82	40,11	54,67	83,60
6	0,15	0,34	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20	9,06	12,14	14,79	18,13	34,67	47,09	71,7
7	0,14	0,32	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48	8,14	10,87	13,17	16,17	30,73	41,63	63,16
8	0,13	0,3	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,2	5,92	7,42	9,90	11,98	14,68	27,75	37,49	56,70

Приложение 7
РАЗМЕРЫ ЗОН ЗАГАЗОВАННОСТИ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РАСХОДАХ ГАЗА И СКОРОСТИ ВЕТРА

Таблица П.7.1

Глубина зоны загазованности
при различных расходах газа и скорости ветра

Расход газа, кг/с	Скорость ветра, м/с			
	0,5	1,0	5,0	10
	Глубина зоны загазованности, м			
0,5	40	30	10	10
1	55	40	20	15
2	75	55	25	17
3	100	70	30	20
4	120	80	35	25
5	130	90	40	28
6	140	100	45	30
7	150	110	48	34
8	160	120	50	37
9	170	125	53	39
10	180	130	55	40
12	200	150	65	46
14	210	160	69	49
16	230	170	72	51
18	250	180	76	53
20	260	180	80	55

Таблица П.7.2

Зависимость интенсивности истечения СУГ G (кг/с)
от площади отверстия S (см²).
Утечка парогазовой фазы (пробоина сверху)

S , см ²	0,3	5,5	1	2	3	5	10	25
G , (кг/с)	0,04	0,06	0,12	0,02	0,30	0,06	1,2	3,5

Таблица П.7.3

Зависимость интенсивности истечения СУГ G (кг/с)
от площади отверстия S (см²)
Истечение жидкой фазы (пробоина снизу)

S , см ²	0,3	0,5	1	2	3	5	10	25
G , (кг/с)	0,28	0,45	0,9	1,8	2,7	4,5	9	23

Таблица П.7.4

Зависимость времени истечения (горения факела) СУГ
из цистерны от площади отверстия.
Истечение парогазовой фазы (пробоина сверху)

S , см ²	0,3	0,5	1	2	3	5	10	25
t , час	200	120	60	32	20	15	8	5

Таблица П.7.5

Зависимость времени истечения СУГ
из цистерны от площади отверстия (истечение жидкой фазы)

S , см ²	0,3	0,5	1	2	3	5	10	25
t , час	27	15	7,5	3,7	2,4	1,5	0,8	0,5

Таблица П.7.6

Избыточное давление взрыва ТВС при различных расстояниях
от центра взрыва при разрушении стандартной цистерны с СУГ
объемом 54 м³ и степенью заполнения 85%

R , м	100	150	200	300	400	500	600	700	800	1000
ΔP , кПа	70	40	20	15	10	8	6	5	4	3

Таблица П.7.7

Зависимость расхода и времени истечения ЛВЖ
из аварийной цистерны от площади пробоин
и универсального сливного устройства

№	Полный объем в м ³ и масса ЛВЖ в кг	Диаметр котла D, м	Диаметр пробоины или сливного устройства d, мм	Площадь пробоины или сливного устройства S _о , см ²	Расход ЛВЖ, G, кг/мин	Время истечения, t _{ист} , мин
1	$\frac{61,2}{42000}$	2,8	100	78,5	840	50,0
			150	276	1878	22,4
			200	314	3348	12,5
2	$\frac{73,1}{49700}$	3,0	100	78,5	864	57,5
			150	176	1944	35,6
			200	314	3468	14,3
3	$\frac{85,6}{59200}$	3,2	100	78,5	900	64,7
			150	176	2010	29,0
			200	314	3600	16,2
4	$\frac{140}{95200}$	3,0	100	78,5	864	110,0
			150	176	1944	49,0
			200	314	3468	27,5
5	$\frac{161,6}{109900}$	3,2	100	78,5	900	122,0
			150	176	2010	54,7
			200	314	3600	30,5

Примечание: в графе 2 в числителе показан полный объем цистерны, а в знаменателе – масса ЛВЖ при средней плотности 800 кг/м³ и степени заполнения цистерны 85 %.

Приложение 8 ГРАНИЦЫ ЗОН ПОРАЖЕНИЯ ПРИ ВЗРЫВАХ ОБЛАКОВ ТВС

На рис. П.8.1 представлены зависимости избыточного давления ударной волны ΔP (кПа) при взрыве тепловоздушной смеси СУГ от расстояния R (м) при следующих сценариях аварий:

Кривая 1. Авария при наливе и сливе СУГ (разгерметизация трубопровода и истечение СУГ).

Кривая 2. Авария на железнодорожной станции (столкновение цистерн, сход с рельсов, срыв углового вентиля, истечение из отверстия в цистерне СУГ).

Кривая 3. Авария при наливе и сливе СУГ и на отстойных или тупиковых путях (разгерметизация углового вентиля цистерны, истечение СУГ).

Прямая 4. Критическое значение избыточного давления ударной волны, превышение которого приводит к поражению (разрушению) транспорта – $\Delta P_1 = 16$ кПа.

Прямая 5. Критическое значение избыточного давления ударной волны, превышение которого приводит к поражению людей – $\Delta P_2 = 3$ кПа.

Прямая 6. Критическое значение избыточного давления ударной волны, превышение которого приводит к поражению (разрушению) зданий – $\Delta P_1 = 20$ кПа.

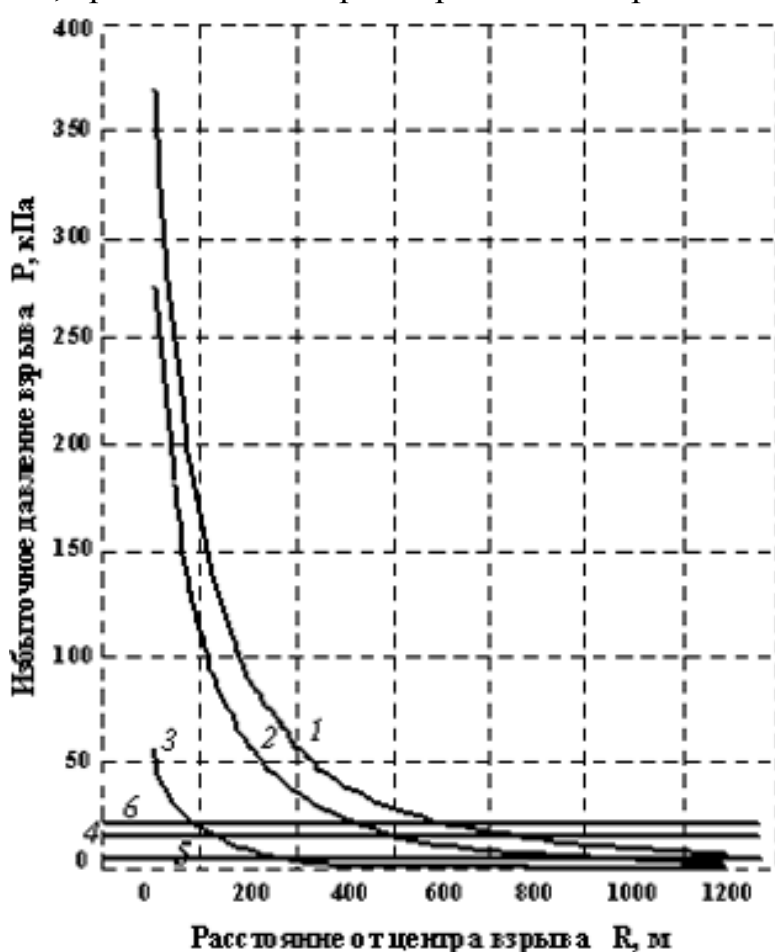


Рис. П.8.1. Зависимость избыточного давления взрыва ТВС от расстояния при различных сценариях аварии

Приложение 9
ПЛОТНОСТЬ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЖАРОВ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАССТОЯНИЯ

Таблица П.9.1

Значения плотности теплового излучения (кВт/м²) пожаров
 проливов СУГ от массы пролитого продукта
 и расстояния от границы пролива (факела)

Расстояние, м	Масса пролитого продукта, т				
	10	20	30	40	50
10	40	60	70	80	90
20	22	32	35	45	50
30	12	18	20	30	35
40	8	10	12	16	18
50	6	7	8	9	10
60	4	5	6	7	8
80	2	3	4	5	6
100	–	–	2	3	3

Таблица П.9.2

Значения плотности теплового излучения (кВт/м²)
 пожаров проливов ЛВЖ от массы пролитого продукта
 и расстояния от границы пролива (факела)

Расстояние, м	Масса пролитого продукта, т				
	10	20	30	40	50
10	25	35	40	50	55
20	15	20	22	30	35
30	8	10	12	13	14
40	5	6	7	8	9
50	4	5	6	7	8
60	3	4	4	5	5
80	–	2	3	3	3
100	–	–	1	1	2

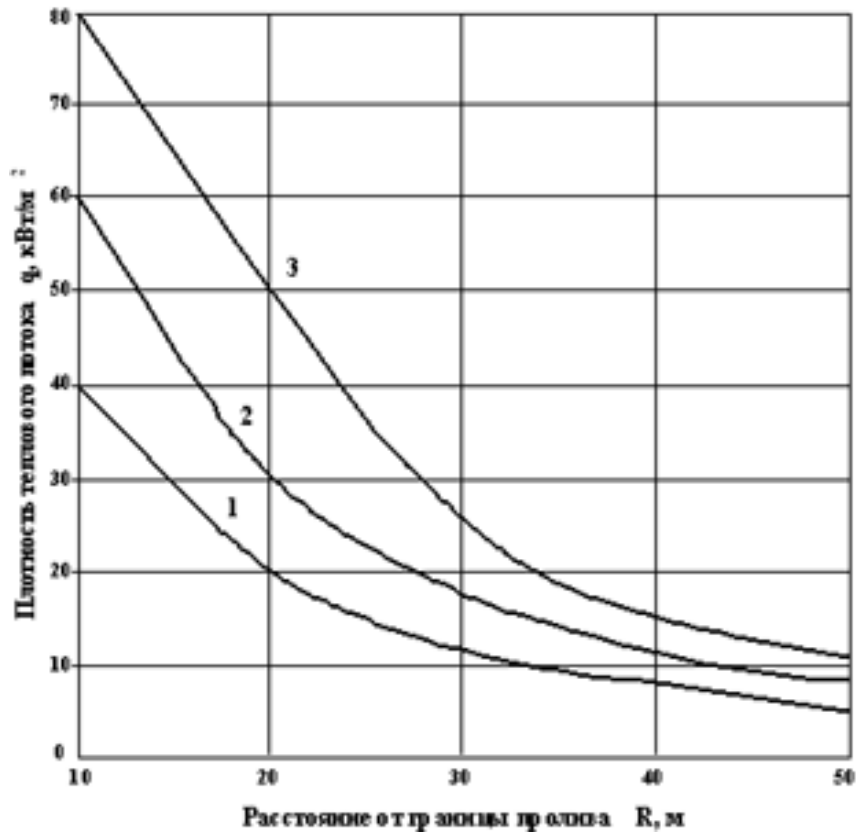


Рис. П.9.1. Зависимость плотности теплового потока пожаров проливов СУГ от расстояния от границы пролива:
 1 – пролив 10 т; 2 – пролив 20 т; 3 – пролив 40 т

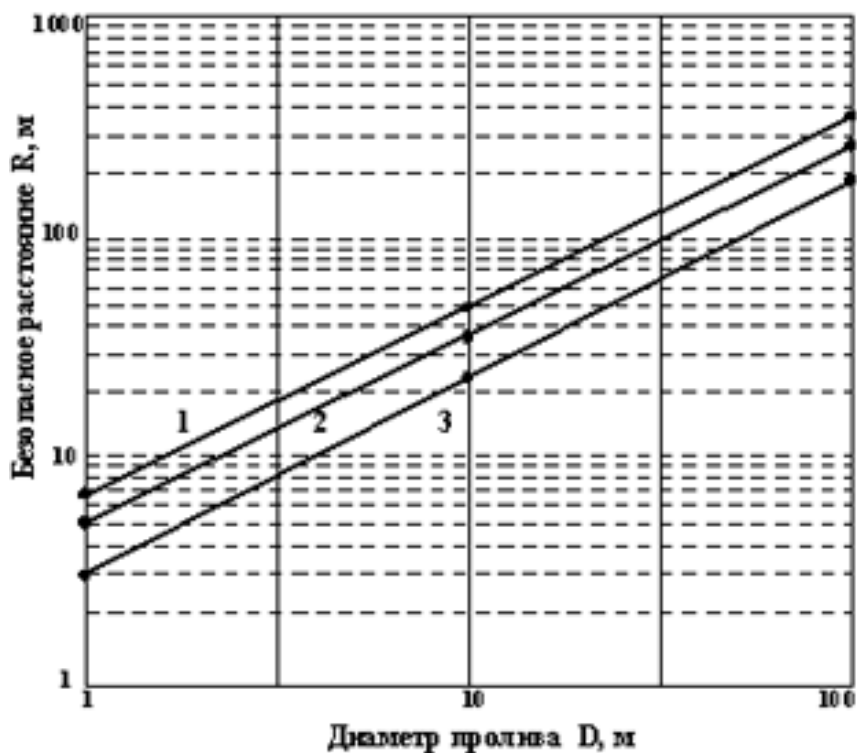


Рис. П.9.2. Зависимость размеров безопасных расстояний при пожарах СУГ от диаметра пролива: 1 – для незащищенных участков кожи; 2 – для пожарных в боевой одежде; 3 – для пожарных автомобилей

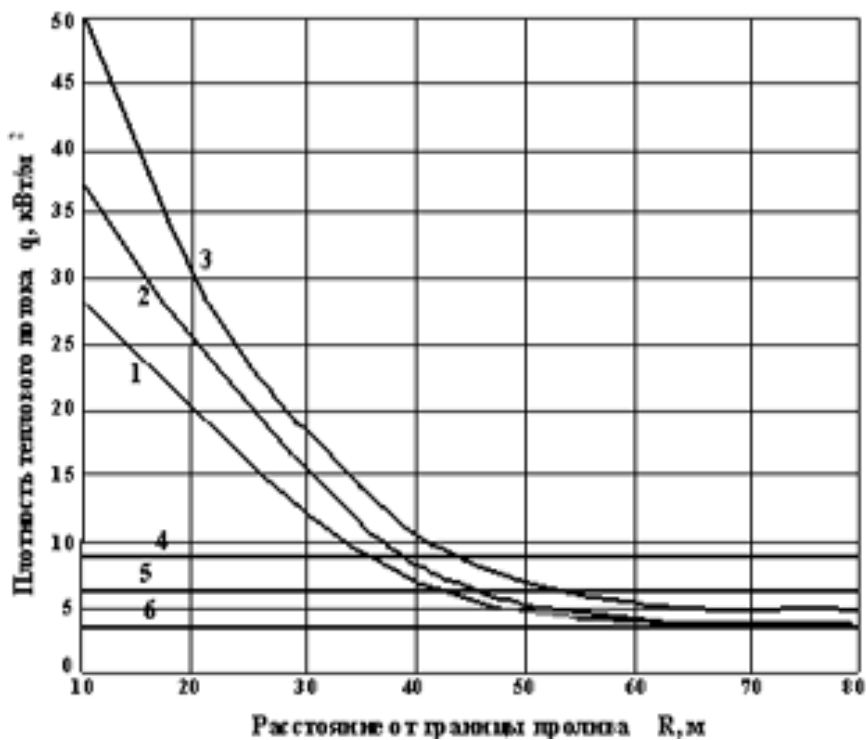


Рис. П.9.3. Зависимость плотности теплового потока пожаров проливов ЛЖВ от расстояния от границы пролива: 1 – пролив 10 т; 2 – пролив 20т; 3 – пролив 40 т; 4, 5, 6 – критические значения теплового потока для техники, людей в защитной одежде и участков кожи соответственно

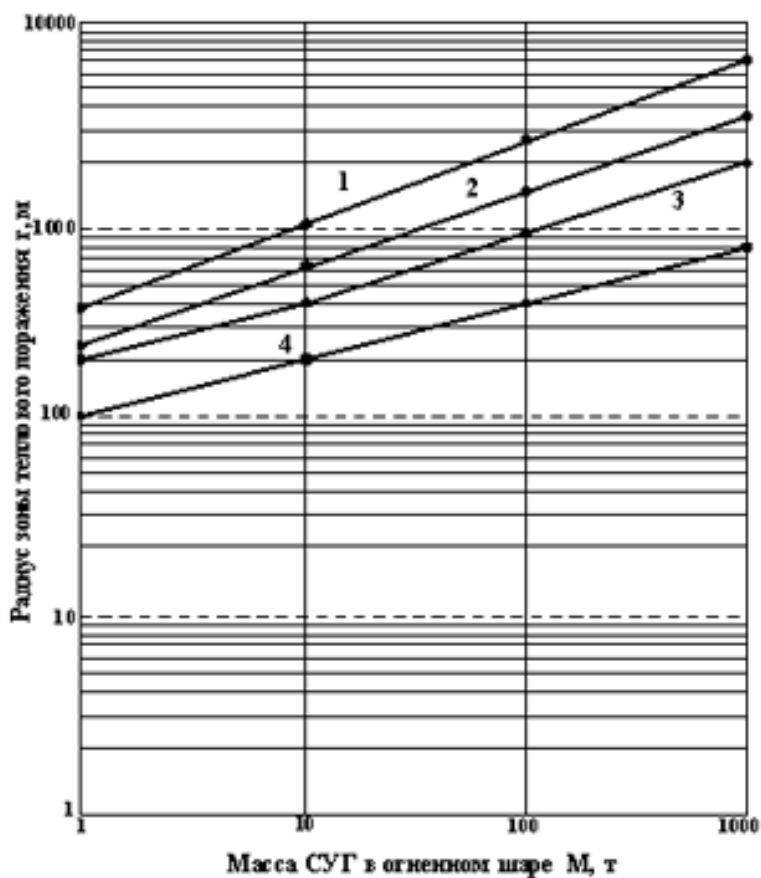


Рис. П.9.4. Зависимость размеров зон теплового поражения от массы СУГ в огненном шаре: 1 – максимальное расстояние при ожогах 2-й степени; 2 – вероятное расстояние при ожогах 2-й степени; 3 – максимальное расстояние при ожогах 3-й степени; 4 – вероятное расстояние при ожогах 3-й степени

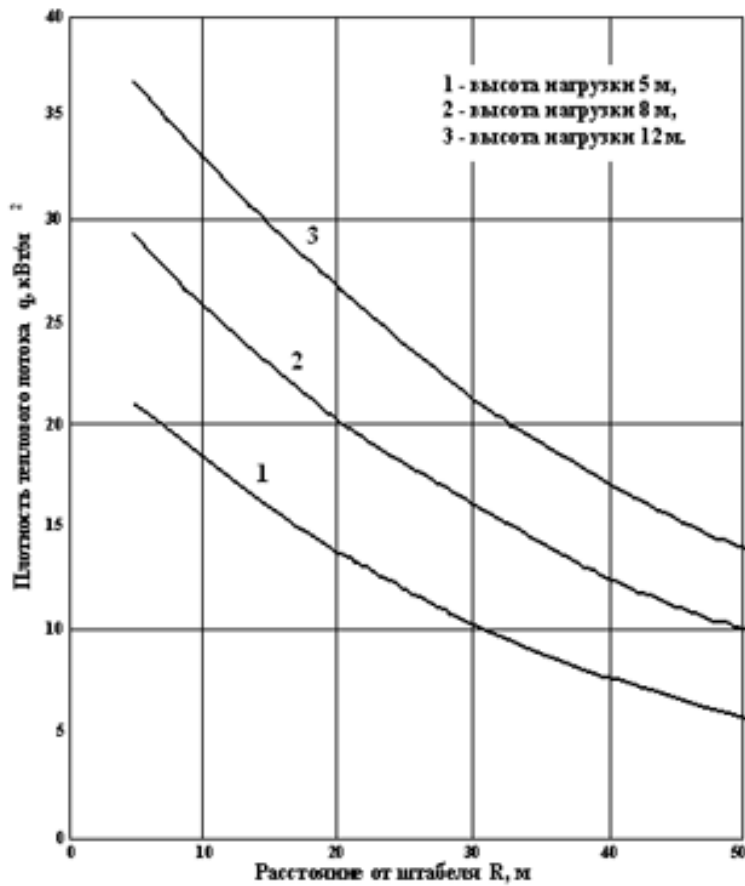


Рис. П.9.5. Зависимость плотности теплового потока q при горении древесины от расстояния штабеля R

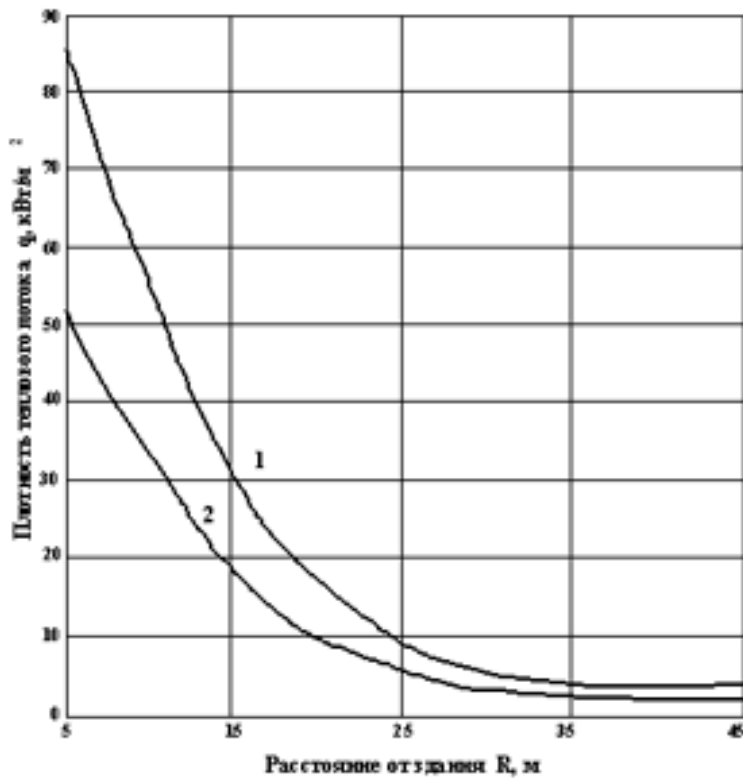


Рис. П.9.6. Зависимость плотности теплового потока при горении зданий от расстояния:
1 – здания 1-3 степени огнестойкости;
2 – здания 4-5 степени огнестойкости

Приложение 10
ДАЛЬНОСТЬ ПЕРЕНОСА
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЧАСТИЦ (ИСКР)

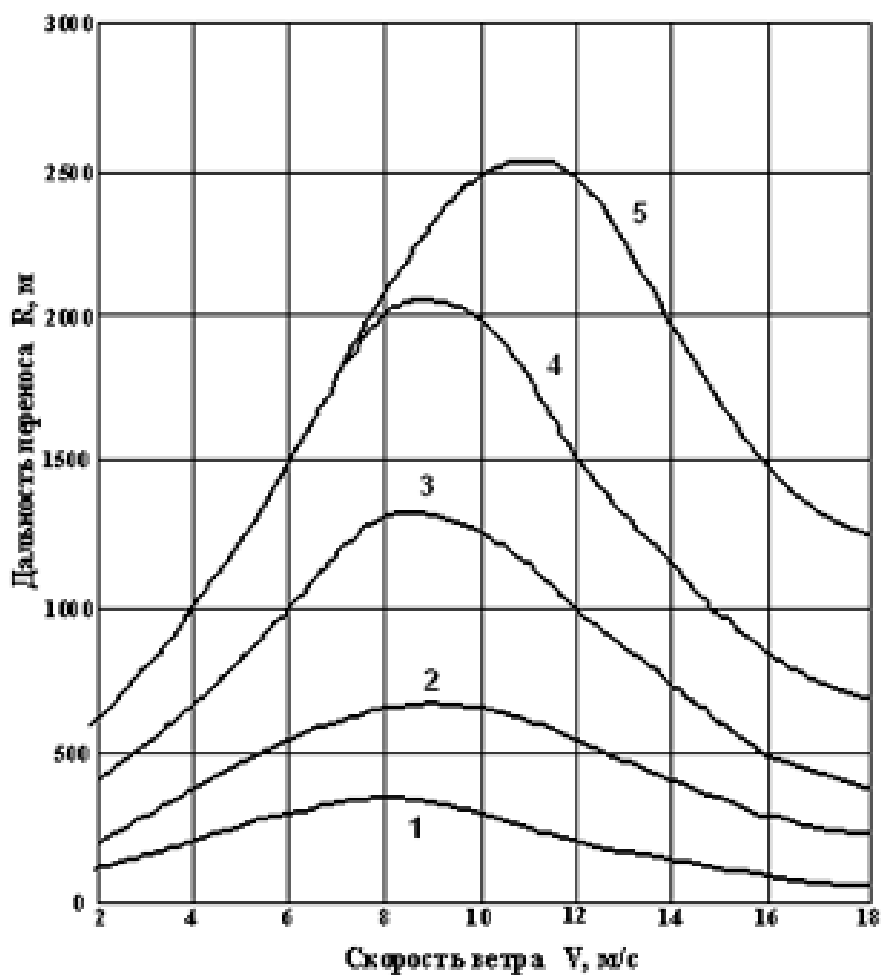


Рис. П.10.1. Дальность переноса высокотемпературных частиц в зависимости от скорости ветра и площади пожара:
1 – площадь пожара 0,3 га; 2 – 0,8 га; 3 – 1,5 га; 4 – 2,5 га; 5 – 4,5 га

Приложение 11
ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЖАРОВ ТГМ

Наименование	Массовая скорость выгорания, кг/(м ² ·мин)	Линейная скорость распространения, м/мин	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Критическая плотность теплового потока, кВт/ м ²
Бумага	0,64	0,5-1	13,4	12-18
Книги	0,25	0,5-1	13,4	15
Кожа	0,35	0,9	21	20
Волокно штапельное	0,4	0,8	14	20-30
Войлок строительный	0,2	0,7	19	
Древесина сосновая	0,9	1-2	14	21
Древесноволокнистая плита (ДВП)	0,8	1,7	21	25
ДСП	0,4	1,5	18	
Бумажно-слоистый пластик	0,5-0,8	1,5-2	18	80
Карболитовые изделия	0,2-0,4		26	
Каучук натуральный	1	1,1	42	45
Каучук синтетический	0,7	1	40	35
Картон	0,4	0,5-1	15	15-18
Киноплёнка	0,5		19	10
Линолеум	0,6		18-27	70
Лен разрыхленный	1,3	3	16	
Резина пористая	0,4	1	17	50
Оргстекло	0,9	0,5	25	
Обтирочный материал	1,3	2,5	15,7	75
Плита столярная	0,5	1,2	20	45
Пенополиуретан	0,17	3	24	
Пенополистирол (плиты)	0,9		41	28
Резина	0,6		33	23
Стеклопластик	0,9		11	19,4
Ткань хлопковая, навал	0,3	0,36	17	75
Ткань шерстяная	0,15		23	60-70
Ткани (холст, бязь, байка)		0,8-1,8		
Фанера	0,8-1		22	40-50
Резиновая и ПВХ изоляция	0,75		37	

Приложение 12
НИЗШАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ И ПЛОТНОСТЬ
ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ, ОБРАЩАЮЩИХСЯ
НА ОБЪЕКТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Наименование веществ и материалов	Низшая теплота сгорания, МДж · кг ⁻¹	Плотность, кг · м ⁻³
1. Ацетон	29	790/5
2. Бензин	41,6	722...751
3. Бензол	40,9	879
4. Бутиловый спирт	41,9	809,9
5. Дизельное топливо	43	831...921
6. Керосин	43/54	810...840
7. Ксилол	40,8	880,2
8. Мазут	39,8	925
9. Масло индустриальное	42	903...917
10. Масло трансформаторное	42	879
11. Масло турбинное	41,87	900
12. Метиловый спирт	22,7	791,5
13. Нефть	41,9	840...916
14. Соляровое масло	42	900
15. Толуол	41	867
16. Уайт-спирт	43,62	776
17. Этиловый спирт	27,2	780,9

Примечание: для ЛВЖ и ГЖ допускается принимать теплоту сгорания, равную $42 \cdot 10^{-3}$ МДж · кг⁻¹ и плотность $800 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Приложение 13
ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ
И ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУГ

Название вещества	Формула	Плотность жидкой фазы, кг·м ⁻³ ·10 ⁻³	Плотность газовой фазы, кг·м ⁻³ ·10 ⁻³	Температура кипения, °С	Удельная низшая теплота сгорания кДж·кг ⁻¹ ·10 ⁻³	Нижний концентрационный предел распространения пламени, % об	Температура самовоспламенения, °С	Радиус взрыво-опасных зон при $t_p = 28$ °С	Молярная масса, кг·кмоль ⁻¹
Пропан	C ₃ H ₈	0,52	1,78	-4,1	46,3	2,0	470	238	55
н-Бутан	C ₄ H ₁₀	0,60	2,35	-0,5	47,3	1,8	405	194	58
Изобутан	C ₄ H ₁₀	0,58	2,35	-11,7	47,2	1,8	462	195	58
Пропилен	C ₃ H ₆	0,60	1,78	-47,7	46,0	2,4	455	238	44
Изопентан	C ₅ H ₁₂	0,62	2,9	-27,7	45,2	1,4	432	206	72
н-Пентан	C ₅ H ₁₂	0,65	2,9	36,1	45,4	1,4	296	195	72
н-Бутилен	C ₄ H ₈	0,65	2,27	-6,3	45,5	1,6	384	210	56
Изобутилен	C ₄ H ₈	0,65	2,27	3,7	45,5	1,8	465	210	56
Бутадиен	C ₃ H ₆	0,65	2,18	-4,5	60,0	2,0	430	210	54
Изопрен	C ₅ H ₈	0,68	2,9	34,1	43,9	1,7	400	213	-
Амилен	C ₅ H ₁₀	0,64	2,9	30,0	45,0	1,5	273	208	-

Примечание: радиус взрывоопасных зон рассчитан по формуле (2.3) настоящего пособия при разгерметизации стандартной цистерны емкостью 54 м³ и проливе всей массы СУГ, находящейся в цистерне.

Приложение 14
ПОКАЗАТЕЛИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ (ЛВЖ и ГЖ)

№	Вещество	Химическая формула	Молярная масса, кг/моль	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С	Нижний концентрационный предел пламени, С _{нижн} , %	Характеристики вещества	Теплота сгорания, кДж·кг ⁻¹
						А	В	С				
1	Амиллацетат	C ₇ H ₁₄ O ₂	130,196	+43	+290	7,16870	1579,365	221,365	25+147	1,08	ЛВЖ	34702
2	Амиловый спирт	C ₅ H ₁₂ O	89,149	+48	+300	7,18246	1287,625	161,330	74+157	1,48	ЛВЖ	
3	Ацетальдегид	C ₂ H ₄ O	44,053	-40	+172	7,19160	1093,537	233,413	-80+20	4,12	ГЖ	28470
4	Ацетон	C ₃ H ₆ O	50,080	-18	+535	7,25058	1281,721	237,088	-15+93	2,91	ЛВЖ	
5	Бензол	C ₆ H ₆	78,113	-11	+534	6,48898	902,275	178,099	-20+6	1,43	ЛВЖ	38519
						6,98426	1252,776	225,178	-7+80			
6	Н-бутилацетат	C ₆ H ₁₂ O ₂	116,160	+29	+330	7,00641	1340,743	199,757	0+100	1,43	ЛВЖ	33000
7	Н-бутиловый спирт	C ₄ H ₁₀ O	74,122	+35	+345	9,59730	2664,684	279,638	-1+126	1,81	ЛВЖ	
8	Бутилацетат (вторичный)	C ₈ H ₁₂ O ₂	116,160	+19	+410	-	-	-	-	1,4	ЛВЖ	33000
9	Бензиловый спирт	C ₇ H ₈ O	108,130	+90	+400	7,93428	2130,42	218,0	20+112	1,3	ГЖ	
						7,58200	1904,3	200,0	112+300			
10	Гексадекан	C ₁₆ H ₃₄	226,445	+128	+207	6,78749	1656,405	136,869	105+287	0,473	ГЖ	44800
11	Гексан	C ₆ H ₁₄	86,177	-23	+234	6,87024	1166,274	223,661	-54-69	1,242	ЛВЖ	
12	Н-гексильовый спирт	C ₆ H ₁₄ O	102,176	+60	+285	7,27800	1420,273	165,469	56+157	1,23	ГЖ	44900
13	Гептан	C ₇ H ₁₆	100,203	-4	+223	6,95154	1295,405	219,819	-60+98	1,074	ЛВЖ	
14	Глицерин	C ₃ H ₈ O ₃	92,094	+198	+400	9,05260	3074,220	214,712	141+263	2,6	ГЖ	16124
15	Декан	C ₁₀ H ₂₂	142,284	+47	+230	7,39530	1809,975	227,700	17+174	0,760	ЛВЖ	44400
16	Дивинильовый эфир	C ₄ H ₆ O	70,091	-30	-360	6,98810	1055,259	228,589	-40+60	1,7	ЛВЖ	
17	Диметил-формамид	C ₃ H ₇ NO	73,094	+53	+440	7,03446	1482985	204,342	25+153	2,35	ЛВЖ	11000
18	Диоксан-1,4	C ₄ H ₈ O ₂	88,106	+11	+375	7,51611	1632425	250,725	12+101	2,0	ЛВЖ	
19	1,2-дихлорэтан	C ₂ H ₄ Cl ₂	98,960	+9	+413	7,65135	1640179	259,715	-24+83	6,2	ЛВЖ	
20	Диэтиламин	C ₄ H ₁₁ N	73,138	-14	+310	7,22314	1267,557	236,329	-33+59	1,77	ЛВЖ	33900
21	Диэтиловый эфир	C ₄ H ₁₀ O	74,122	-41	+180	6,99790	1098,945	232,372	-60+35	1,7	ЛВЖ	
22	Изобутиловый спирт	C ₄ H ₁₀ O	74,122	+28	+364	8,70512	2058,392	245,642	-9+116	1,81	ЛВЖ	33000
23	Изопентан	C ₅ H ₁₂	72,150	-52	+432	6,79306	1022,551	233,493	-83+28	1,36	ЛВЖ	
24	Изопропил-бензол	C ₉ H ₁₂	120,194	+36	+424	6,93773	1460,668	207,652	3+153	0,93	ЛВЖ	45200
25	Изопропиловый спирт	C ₃ H ₈ O	60,096	+14	+430	8,38562	1733,00	232,380	-26+148	2,23	ЛВЖ	
26	М-ксилол	C ₈ H ₁₀	106,167	+28	+530	6,58807	1906,796	234,917	20,7+181	1,1	ЛВЖ	40872

27	О-ксилол	C_8H_{10}	106,167	+31	+464	6,28893	1575,114	223,579	-3,8+144,4	1,00	ЛВЖ	40872
28	п-ксилол	C_8H_{10}	106,167	+26	+528	6,25485	1537,082	223,608	-8,1+138,3	1,1	ЛВЖ	40872
29	Метиловый спирт	CH_4O	32,042	+6	+436	8,22777	1660,454	245,818	-10+90	6,98	ЛВЖ	19500
30	Толуол	C_7H_8	92,140	+7	+535	6,0507	1328,171	217,713	-6,7+110,6	1,27	ЛВЖ	41031
31	Трихлоэтилен	C_2HCl_3	131,4	+36	+380	7,02808	1315,0	230,0	7+155	12	ТГ	
						7,4675	1675,0	280,0	155+293			
32	Уксусная к-та	$C_{3,7}H_{7,4}O_{3,7}$	111,097	+38	-	7,79845	1789,908	245,908	0+118	3,33	ЛВЖ	
33	Хлорбензол	C_6H_5Cl	112,558	+29	+637	7,26112	1607,316	235,351	-35+132	1,4	ЛВЖ	27130
34	Этилацетат	$C_4H_8O_2$	88,106	-3	+446	6,22672	1244,951	217,881	-15+75,8	2,08	ЛВЖ	
35	Этилбензол	C_8H_{10}	106,167	+20	+431	6,35879	1590,660	229,581	-9,8+136,2	1,03	ЛВЖ	40872
36	Этиловый спирт	C_2H_6O	46,069	+13	+400	8,68665	1918,508	252,125	-31+78	3,61	ЛВЖ	26900
37	Этилцелло-золье	$C_4H_{10}O_2$	90,122	+40	+215	8,74133	2392,56	273,15	20+135	1,8	ЛВЖ	

Приложение 15
ПОКАЗАТЕЛИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ СМЕСЕЙ
И ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ (ЛВЖ и ГЖ)

№	Продукт (ГОСТ, ТУ)	Суммарная формула	Молярная масса, кг/моль	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Константы уравнения Антуана			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана °С	Нижний концентрационный предел пламени $C_{н\text{кпр}}$, %	Характеристики вещества
						A	B	C			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Бензин авиационный Б-70 (ГОСТ 1012-72)	$C_{7,267}$	102,200	-34	300	8,41944	2629,65	384,195	-40+100	0,92	ЛВЖ
2	Бензин А-72 (зимний) (ГОСТ 2084-77)	$H_{14,769}$	97,200	-36	-	5,07020	682,876	222,068	-60+85	1,08	ЛВЖ
3	Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-7)	$C_{8,991}$	8,200	-36	-	4,99831	664,976	221,695	-60+95	1,06	ЛВЖ
4	Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-7)	$H_{13,108}$	95,300	-37	-	5,14031	695,019	223,220	-60+90	1,1	ЛВЖ
5	Бензин «Калоша»	$C_{7,024}$	-	-17	+350	-	-	-	-	1,1	ЛВЖ
6	Бензин А-66	$H_{13,706}$	-	-39	+255	-	-	-	-	0,76	ЛВЖ
7	Бензин А-74	$C_{6,911}$	-	-36	+300	-	-	-	-	0,79	ЛВЖ
8	Дизельное топливо «ДЗ» (зимнее) общего назначения (ГОСТ 305-82)	$H_{12,168}$	-	+53	+240	-	-	-	-	-	ЛВЖ
9	Дизельное топливо «ДЛ» (летнее) общего назначения (ГОСТ 305-82)	-	-	+40	+330	-	-	-	-	-	ЛВЖ

10	Дизельное топливо «З» (ГОСТ 305-82) для тепловых дизелей	C _{12.343} H _{23.889}	172,3	+40	–	5,95338	1255,73	199,523	40+210	0,61	ЛВЖ
11	Дизельное топливо «Л» (ГОСТ 305-82) для тепловых дизелей	C _{14.511} H _{29.120}	203,6	+61	–	5,87629	1314,04	192,473	60+240	0,52	ЛВЖ
12	Ксилол (смесь изомеров) (ГОСТ 9510-78)	C _{7.99} H _{9.98}	106,0	+24	+590	7,05479	1478,16	220,535	0+50	1,00	ЛВЖ
13	Керосин осветительный КО-20	C _{13.596} H _{26.880}	191,7	+40	–	5,69697	1211,73	194,677	40+240	0,55	ЛВЖ
14	Керосин осветительный КО-22	C _{10.914} H _{21.832}	153,1	+40	–	6,47119	1394,72	204,260	40+190	0,64	ЛВЖ
15	Керосин осветительный КО-25	C _{11.064} H _{21.752}	154,7	+40	–	6,00016	1223,85	203,341	40+190	0,66	ЛВЖ
16	Масло индустриальное «50»	–	–	+200	+380	–	–	–	–	–	ГЖ
17	Масло вазелиновое	–	–	+187	+290	–	–	–	–	–	ГЖ
18	Масло трансформаторное (ГОСТ 10121-76)	C _{21.74} H _{42.88} S _{0.004}	303,9	+150	+270	7,75932	2524,17	174,010	164+343	0,291	ГЖ
19	Масло турбинное 22	–	–	+184	+400	–	–	–	–	–	ГЖ
20	Масло ВМ-4	–	–	+212	+400	–	–	–	–	–	ГЖ
21	Масло цилиндрическое «11»	–	–	+197	+350	–	–	–	–	–	ГЖ
22	Масло индустриальное (веретенное 2)	–	–	+164	+280	–	–	–	–	–	ГЖ
23	Масло индустриальное (веретенное 3)	–	–	+158	+320	–	–	–	–	–	ГЖ
24	Масло индустриальное «машинное С»	–	–	+181	+355	–	–	–	–	–	ГЖ
25	Масло соляровое	–	–	+142	+360	–	–	–	–	–	ГЖ
26	Масло АМТ-300 (ТУ 38-1Г-68)	C _{22.25} H _{33.48} S _{0.34} N _{0.07}	312,9	+170	+290	6,99959	2240,001	167,85	170+376	0,35	ГЖ
27	Масло АМТ-300Т (ТУ 38-101243-72)	C _{19.04} H _{24.58} S _{0.196} N _{0.04}	260,3	+170	–	6,49540	2023,77	164,09	170+396	0,43	ГЖ
28	Растворитель РДВ	–	–	+2,0	+424	–	–	–	–	1,83	ЛВЖ
29	Растворитель 648	–	–	+13	+388	–	–	–	–	1,65	ЛВЖ
30	Растворитель Р-4 (н-бутилацетат-12, толуол-62, ацетон-26)	C _{5.452} H _{7.606} O _{0.535}	81,7	–9	+550	7,17192	1373,667	242,828	–15+100	1,60	ЛВЖ

31	Растворитель Р-4 (ксилол-15, толуол-70, ацетон-15)	C _{6,231} H _{7,796} O _{0,223}	86,3	-4	+550	7,15373	1415,199	244,752	-15+100	1,38	ЛВЖ
32	Растворитель Р-5 (н-бутилацетат-30, ксилол-40, ацетон-30)	C _{5,309} H _{8,655} O _{0,897}	86,3	-9	-	7,17850	1378,851	245,039	-15+100	1,57	ЛВЖ
33	Растворитель М (н-бутилацетат-30, этилацетат-5, этиловый спирт-60, изобутиловый спирт-5)	C _{2,645} H _{5,810} O _{1,187}	59,4	+6	-	8,93204	2083,566	267,735	0+50	2,85	ЛВЖ
34	Растворитель РМЛ ТУКУ 467-56 (толуол-10, этиловый спирт-64 н-бутиловый спирт-10, этилцеллозолье-16)	C _{2,645} H _{5,810} O _{1,038}	55,2	+10	-	9,57161	2487,728	290,920	0+50	2,85	ЛВЖ
35	Растворитель РМЛ218 (н-бутилацетат-9, ксилол-21,5, толуол-21,5, этиловый спирт-16 н-бутиловый спирт-3, этилцеллозолье-13, этилацетат-16)	C _{4,791} H _{8,318} O _{0,971}	81,5	+4	-	8,07751	1761,043	251,546	0+50	1,72	ЛВЖ
36	Растворитель Р-12 (н-бутилацетат-30, ксилол-10, толуол-60)	C _{6,837} H _{9,217} O _{0,515}	99,6	+10	-	7,04804	1403,079	221,483	0+100	1,26	ЛВЖ
37	Растворитель РМЛ-315 (ТУ 6-10-1013-17) (н-бутилацетат-18, ксилол-25, толуол-25, н-бутиловый спирт-15, этилцеллозолье-17)	C _{5,962} H _{9,779} O _{0,645}	95,0	+16	-	7,711160	1699,687	241,00	0+50	2,25	ЛВЖ
38	Скипидар	-	-	+34	+300	-	-	-	-	0,8	ЛВЖ
39	Уайт-спирит (ГОСТ 3134-78)	C _{10,5} H _{21,0}	147,3	+33	+260	8/01130	2218,3	273,15	20+80	0,7	ЛВЖ
40	Дизельное топливо «А» общего назначения (ГОСТ 305-82)	-	-	+30	-	-	-	-	-	-	ЛВЖ
41	Дизельное топливо «А» для тепловозных дизелей (ГОСТ 305-82)	-	-	+35	-	-	-	-	-	-	ЛВЖ

Приложение 16

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

П.16.1. Расчет размеров взрывоопасных зон избыточного давления взрыва ТВС при авариях с СУГ

Пример 1

Определить радиус взрывоопасной зоны при аварийной разгерметизации стандартной цистерны емкостью 54 м³ с сжиженным пропаном при получении пробоины площадью $S_0 = 25 \text{ см}^2$ и при мгновенной разгерметизации цистерны (продиве всего количества СУГ).

Исходные данные

Внутренний диаметр цистерны D , м.....	2,6
Расчетная температура воздуха t_p , °С.....	20
Плотность жидкой фазы $\rho_{ж}$, т · м ⁻³	0,52
Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{нкр}$, % (об).....	2,0
Давление в цистерне P , Па.....	$8 \cdot 10^5$
Плотность паров СУГ $\rho_{п}$, кг · м ⁻³	1,78
Молярная масса M_m , кг · кмоль ⁻¹	44

Решение:

1.1. Масса газа в облаке ТВС при длительном истечении СУГ из цистерны определяется по формуле (2.6):

$$M_p = 36 \cdot 520 \cdot 0,0025 \times \\ \times [2 \cdot (8 \cdot 10^5 - 1,01 \cdot 10^5) / (520 + 1,2 \cdot 9,81 \cdot 2,6)]^{1/2} = 2360 \text{ кг.}$$

1.2. Радиус зоны загазованности при $S_0 = 25 \text{ см}^2$ определяется по формуле (2.1):

$$X_{нкр} = 14,6 \cdot (2360/1,78 \cdot 2)^{0,33} = 127,4 \text{ м.}$$

Аналогичный результат можно получить без расчета по таблицам П.7.2 Прил. 7, где при $S_0 = 25 \text{ см}^2$ расход газа равен $G = 3 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$. При таком расходе газа и скорости ветра 0,5 м/с глубина зоны загазованности составит 100 м.

По упрощенной формуле для оперативных расчетов (3.3) получается приближенный результат:

$$X_{нкр} = 92 \cdot 2,36^{0,33} = 120 \text{ м.}$$

1.3. При мгновенной разгерметизации цистерны и степени заполнения цистерны $e = 0,9$, согласно п.3.1.3 масса паров (M_p) в облаке для низкокипящих СУГ определяется по формуле (3.4):

$$M = 0,9 \cdot 54 \cdot 0,52 = 25 \text{ т};$$

$$M_p = 0,62 \cdot M = 0,62 \cdot 25 = 15,5 \text{ т}.$$

Радиус взрывоопасной зоны по формуле (2.3) составит:

$$X_{\text{нкпр}} = 92 \cdot M_p^{0,33} = 92 \cdot 15,5^{0,33} = 230 \text{ м}.$$

По формуле (3.1) получается более точный результат:

$$X_{\text{нкпр}} = 14,6 \cdot (15500/1,78 \cdot 2)^{0,33} = 238 \text{ м}.$$

Для оперативных расчетов результат, полученный по формуле (2.3) практически не отличается от результата расчета по формуле (2.1) и может быть принят за основу при расчетной температуре воздуха t_p , 28°C .

В условиях низких температур воздуха плотность паров СУГ растет, а радиус загазованной зоны уменьшается незначительно. Так, например, при $t_p = -40^\circ\text{C}$ $\rho_{\text{п,}} = 2,3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ радиус взрывоопасной зоны $X_{\text{нкпр}} = 220 \text{ м}$. Поэтому приведенные выше упрощенные формулы можно использовать для практических расчетов.

Пример 2

Определить радиус зон поражения и величину избыточного давления во фронте ударной волны при взрыве облака ТВС при аварии цистерны с пропаном (исходные данные приведены в Примере 1).

Решение:

2.1. По формулам, приведенным в п. 2.3.1.4 настоящего пособия определяются границы зон поражения при истечении СУГ из пробоины.

Масса газа в облаке ТВС принимается по п.1.1 Примера 1:

$$M_p = 2360 \text{ кг} = 2,36 \text{ т}.$$

Границы зон поражения людей:

- тяжелые поражения – $R_1 = 32 \cdot 2,36^{1/3} = 42 \text{ м}$;
- порог поражения – $R_2 = 360 \cdot 2,36^{1/3} = 480 \text{ м}$.

Границы повреждения зданий:

- полные разрушения – $R_1 = 32 \cdot 2,36^{1/3} = 42 \text{ м}$;
- сильные разрушения – $R_2 = 45 \cdot 2,36^{1/3} = 60 \text{ м}$;
- средние разрушения – $R_3 = 64 \cdot 2,36^{1/3} = 85 \text{ м}$;
- умеренные разрушения – $R_4 = 120 \cdot 2,36^{1/3} = 160 \text{ м}$;
- малые повреждения – $R_5 = 360 \cdot 2,36^{1/3} = 480 \text{ м}$.

2.2. По формуле (2.8) и рис. 2.1 определяются относительные величины расстояний X_p и величины избыточного давления ΔP на расстояниях, указанных в п. 2.1 настоящего примера.

Относительная величина расстояния определяется по формуле (2.8):

$$X_p = R_1 / (0,42 \cdot M_p)^{1/3} = R_1 / (0,42 \cdot 2,36)^{1/3} = R_1 / 1,0.$$

Значения величин X_p и ΔP составят:

- для людей: $R_1 = 42$ м, $\Delta P = 100$ кПа;
 $R_2 = 480$ м, $\Delta P = 3$ кПа;
- для зданий: $R_1 = 42$ м, $X_p = 42$ м, $\Delta P = 100$ кПа;
 $R_2 = 60$ м, $X_p = 60$ м, $\Delta P = 55$ кПа;
 $R_3 = 85$ м, $X_p = 85$ м, $\Delta P = 30$ кПа;
 $R_4 = 160$ м, $X_p = 160$ м, $\Delta P = 15$ кПа;
 $R_5 = 480$ м, $X_p = 480$ м, $\Delta P = 3$ кПа.

Полученные результаты совпадают с данными табл. П.3.1 Прил. 3 с небольшими отклонениями.

2.3. При мгновенной разгерметизации цистерны, согласно п.1.3 Примера 1, масса газа в облаке ТВС составляет $M_p = 15,5$ т. Границы зон поражения с соответственно изменятся, а величины избыточного давления ΔP останутся без изменения.

Ниже приводятся результаты расчетов по изложенной выше методике для людей.

Границы зон поражения:

- тяжелые поражения – $R_1 = 32 \cdot 15,5^{1/3} = 80$ м;
- порог поражения – $R_2 = 360 \cdot 15,5^{1/3} = 900$ м.

Относительная величина расстояния определяется по формуле (2.8):

$$X_p = R_1 / (0,42 \cdot 15,5)^{1/3} = R_1 / 1,9.$$

Значения величин X_p и ΔP составят:

$$R_1 = 80 \text{ м, } X_p = 80/1,9 = 42; \Delta P = 100 \text{ кПа;}$$

$$R_2 = 900 \text{ м, } X_p = 900/1,9 = 474; \Delta P = 3 \text{ кПа.}$$

П.16.2. Расчет площади разлива, размеров взрывоопасных зон и избыточного давления взрыва ТВС при авариях цистерн с ЛВЖ

Пример 3

Определить площадь разлива ЛВЖ, радиус взрывоопасной зоны и избыточное давление взрыва при частичной аварийной разгерметизации сливного устройства площадью $S_0 = 78,5$ см² ($d = 100$ мм) стандарт-

ной цистерны с полным объемом 61,2 м³ и при проливе всего количества бензина АИ93, находящегося в цистерне.

Исходные данные

Внутренний диаметр цистерны D , м.....	2,8
Степень заполнения цистерны.....	0,85
Расчетная температура воздуха t_p , °С.....	28
Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{нкпр}$, % об).....	1,1
Константы уравнения Антуана: $A = 5,14031$ $B = 695,019$ $C_A = 223,220$	
Теплота сгорания $Q_{сг}$, кДж · кг ⁻¹	43641
Температура вспышки $t_{свп}$, °С.....	37
Молярная масса M_M , кг · кмоль ⁻¹	95,3

Решение:

3.1. Согласно п. 2.3.2.5 расход бензина, средняя скорость и полное время истечения при частичной аварийной разгерметизации сливного устройства определяются по формулам (2.20) и (2.21):

$$v_{ср} = 0,3 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2,8} = 2,22 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1};$$

$$G = 60 \cdot 2,22 \cdot 800 \cdot 0,00785 = 840 \text{ кг} \cdot \text{мин}^{-1};$$

$$\tau_{ист} = M/G = 42000/840 = 50 \text{ мин},$$

где M – масса бензина в цистерне.

$$M = 800 \cdot 61,2 \cdot 0,85 = 42000 \text{ кг}.$$

3.2. Согласно п. 2.3.3.4 площадь разлива бензина, находящегося в цистерне, определяется по формуле (2.24):

$$S_p = f \cdot e \cdot V_{ж}, \text{ м}^2 = 5 \cdot 0,85 \cdot 61,2 = 260 \text{ м}^2.$$

3.3. Рост площади разлива бензина в зависимости от времени определяется согласно п. 2.3.2.7 по формуле (b¹):

$$S_p(\tau) = (0,00625 \cdot 840) \cdot \tau = 5,25 \cdot \tau,$$

где коэффициент 5,25 представляет собой скорость роста площади разлива, м² · мин⁻¹.

По формуле (b¹) можно определить площадь разлива в любой момент времени от начала аварии:

$$\tau = 10 \text{ мин}, S_p = 5,25 \cdot 10 = 52,5 \text{ м}^2;$$

$$\begin{aligned}\tau &= 30 \text{ мин, } S_p = 5,25 \cdot 30 = 157,5 \text{ м}^2; \\ \tau &= 50 \text{ мин, } S_p = 5,25 \cdot 50 = 262,5 \text{ м}^2.\end{aligned}$$

3.4. Для расчета радиуса взрывоопасной зоны по формуле (2.9) необходимо сначала определить массу испарившейся жидкости по формуле (2.10), интенсивность испарения по формуле (2.12), давление насыщенных паров ЛВЖ по формуле (2.13) и плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре по формуле (2.14).

Расчет перечисленных параметров проводится в следующей последовательности.

3.4.1. Определяется масса пролитой ЛВЖ по формуле (2.19):

$$M(\tau) = \rho_{\text{ж}} \cdot V_{\text{ж}} \cdot e = 800 \cdot 61,2 \cdot 0,85 = 42000 \text{ кг.}$$

Масса пролитой ЛВЖ в зависимости от времени истечения определяется по формуле:

$$M(\tau) = G \cdot \tau,$$

где $\tau < \tau_{\text{ист}}$.

В нашем примере $G = 840 \text{ кг} \cdot \text{мин}^{-1}$, поэтому:

$$M(\tau) = 240 \cdot \tau.$$

На 50-й минуте масса пролитой ЛВЖ равна массе, находящейся в цистерне:

$$M(\tau) = 840 \cdot 50 = 42000 \text{ кг.}$$

3.4.2. Определяется давление насыщенных паров бензина по формуле (2.13):

$$P_{\text{н}} = 0,133 \cdot 10^{[5,14031 - (695,019 / (223,220 + 28))]} = 0,133 \cdot 10^{2,37} = 31\text{Б}2 \text{ кПа.}$$

3.4.3. Определяется интенсивность испарения паров бензина при неподвижной среде по формуле (2.12):

$$I_p = 10^{-6} \cdot 1 \cdot 95,3^{0,5} \cdot 31,2 = 3,05 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}.$$

3.4.4. Определяется расчетная продолжительность поступления паров бензина в окружающее пространство с полной площади разлива по формуле (2.11):

$$T = M / (I_p \cdot S_p) = 42000 / (3,05 \cdot 10^{-4} \cdot 260) = 531645 \text{ с} > 14400 \text{ с.}$$

Принимаем расчетное время испарения $T = 14400 \text{ с}$, $K = 1$.

3.4.5. Определяется масса паров, поступившая в окружающее пространство с полной поверхности пролитого бензина, по формуле (2.10):

$$M_p = I_p \cdot T \cdot S_p = 3,05 \cdot 10^{-4} \cdot 14400 \cdot 262,5 = 1150 \text{ кг.}$$

3.4.6. Определяется плотность паров бензина при расчетной температуре по формуле (2.14):

$$\rho_n = \frac{95,3}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 28)} = 3,86 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}.$$

3.4.7. Определяется радиус зоны загазованности (взрывоопасной зоны) при полной разгерметизации цистерны по формуле (2.9):

$$\begin{aligned} X_{\text{нкпр}} &= 3,2 \cdot K^{0,5} \cdot [P_n / C_{\text{нкпр}}]^{0,8} \cdot [M_p / (\rho_n \cdot P_n)]^{0,33} = \\ &= 3,2 \cdot 1^{0,5} \cdot [31,2 / 1,1]^{0,8} \cdot [1150 / (3,86 \cdot 31,2)]^{0,33} = \\ &= 3,2 \cdot 1 \cdot 14,53 \cdot 2,1 = 98 \text{ м}. \end{aligned}$$

3.4.8. Масса паров бензина, поступающая в окружающее пространство в зависимости от времени истечения, определяется согласно п.2.3.2.6 по формуле (с¹):

$$M_p(\tau) = (90 \cdot I_p \cdot G) \cdot \tau = (90 \cdot 3,05 \cdot 10^{-4} \cdot 840) \cdot \tau = 23 \cdot \tau,$$

где коэффициент 23 представляет собой скорость поступления паров бензина в окружающее пространство, кг · мин⁻¹.

По формуле (с¹) можно оперативно рассчитать количество паров бензина, поступивших в облако ТВС в любой момент времени от начала аварии:

- при $\tau = 10$ мин. $M_p = 23 \cdot 10 = 230$ кг,
- при $\tau = 30$ мин. $M_p = 23 \cdot 30 = 690$ кг,
- при $\tau = 50$ мин. $M_p = 23 \cdot 50 = 1150$ кг.

На 50-й минуте масса паров бензина соответствует массе, поступившей в облако ТВС, рассчитанной по формуле (2.10) с полной поверхности пролитого бензина.

3.4.9. Радиус зоны загазованности изменяется во времени в зависимости от количества паров бензина, поступивших в облако.

В зависимости от времени размер взрывоопасной зоны определяется согласно п. 2.3.2.6 по формуле (d¹):

$$\begin{aligned} X_{\text{нкпр}} &= 14,13 \cdot [(31,2/1,1)^{0,8} \cdot (3,05 \cdot 10^{-4} \cdot 840)^{0,33}] \cdot \tau^{0,33} = \\ &= (14,13 \cdot 14,53 \cdot 0,131) \cdot \tau^{0,33} = 27 \cdot \tau^{0,33}, \end{aligned}$$

где коэффициент 27 представляет собой скорость роста радиуса взрывоопасной зоны, м · мин⁻¹.

По формуле (d¹) можно оперативно рассчитать радиус взрывоопасной зоны в любой момент времени от начала аварии:

- при $\tau = 10$ мин. $X_{\text{нкпр}} = 27 \cdot 10^{0,33} = 58$ м,
- при $\tau = 30$ мин. $X_{\text{нкпр}} = 27 \cdot 30^{0,33} = 83$ м,
- при $\tau = 50$ мин. $X_{\text{нкпр}} = 27 \cdot 50^{0,33} = 98$ м.

На 50-й минуте радиус взрывоопасной зоны соответствует размеру зоны при проливе всего количества бензина, рассчитанного по формуле (2.9) (см. п. 3.4.7 настоящего раздела).

По приведенным выше формулам для данного примера можно построить графики зависимости рассмотренных параметров от времени истечения бензина из цистерны:

$$S_p(\tau) = 5,25 \cdot \tau, \text{ м}^2;$$

$$M(\tau) = 840 \cdot \tau, \text{ м};$$

$$M_p(\tau) = 23 \cdot \tau, \text{ кг};$$

$$X_{\text{нкпр}}(\tau) = 27 \cdot \tau^{0,33}, \text{ м}.$$

3.4.10. По приведенной методике можно рассчитать перечисленные выше параметры обращающихся на объектах железнодорожного транспорта ЛВЖ в цистернах существующих моделей. Полученные расчетные данные (графики) можно использовать в качестве приложений к оперативным планам ликвидации аварий и тушения пожаров.

3.5. Величина избыточного давления ΔP при взрыве ТВС, образовавшихся в результате аварии цистерны с бензином, определяется по формулам (2.17) и (2.18) в следующей последовательности.

3.5.1. Рассчитывается величина приведенной массы паров бензина при проливе всего количества бензина, находящегося в цистерне:

$$M_{\text{пр}} = (Q_{\text{ср}}/Q_0) \cdot M_p \cdot K_z = (43641/4520) \cdot 1150 \cdot 0,1 = 1110 \text{ кг}.$$

3.5.2. Определяется величина избыточного давления на границе взрывоопасной зоны ($r = 98$ м):

$$\Delta P = 101 \cdot (0,8 \cdot 1110^{0,33}/98 + 3 \cdot 1110^{0,66}/98^2 + 5 \cdot 1110/98^3) = 12,12 \text{ кПа}.$$

Рассчитанные по формуле (2.17) величины избыточного давления на различных расстояниях от геометрического центра облака приведены в приведенной ниже таблице:

$r, \text{ м}$	10	20	50	98	300
$\Delta P, \text{ кПа}$	952	189	33,3	12	3,00

3.6. Величина избыточного давления взрыва на границе взрывоопасной зоны в начальной стадии аварии или в любой момент времени от ее начала рассчитывается в указанной в п.3.5 настоящего примера последовательности, но с учетом массы паров бензина, поступивших в облако ТВС в заданное время.

Например, при $\tau = 10$ мин от начала аварии:

$$M_p = 23 \cdot 10 = 230 \text{ кг};$$

$$X_{\text{нкр}} = 27 \cdot 10^{0,33} = 58 \text{ м};$$

$$M_{\text{пр}} = (43641/4520) \cdot 230 \cdot 0,1 = 223 \text{ кг};$$

$$\Delta P = 101 \cdot (0,8 \cdot 223^{0,33}/58 + 3 \cdot 223^{0,66}/58^2 + 5 \cdot 223/58^3) = 12,1 \text{ кПа}.$$

Величины избыточного давления взрыва на 10-й и 50-й минутах от начала аварии равны. Это объясняется тем, что радиус зоны загазованности увеличивается пропорционально расходу бензина из сливного устройства, площади разлива и массе поступающих паров ЛВЖ в окружающее пространство.

П.16.3. Расчет плотности теплового излучения пожаров проливов и огненных шаров

Пример 4

Определить ожидаемую плотность теплового излучения на расстоянии $r = 40$ м от пожара пролива ЛВЖ.

Исходные данные:

В результате разгерметизации трубопровода произошла утечка и загорание бензина на площади 300 м^2 . Скорость ветра незначительна (меньше 1 м/с).

Решение:

Для расчета диаметра и радиуса пламени используется формула (2.25):

$$D_{\text{п}} = (4 \cdot S_{\text{р}}/\pi)^{0,5} = 4 \cdot 300/3,14)^{0,5} = 19,5 \text{ м}; r_{\text{п}} = 10 \text{ м}.$$

По Прил. 5 определяется средне поверхностная плотность теплового излучения факела пламени: $E = 130 \text{ кВт/м}^2$.

По формуле (2.27) определяется коэффициент облученности φ между факелом пламени и элементарной площадкой на поверхности облучаемого объекта:

$$\varphi = \frac{10^2 \cdot 40}{(10^2 + 40^2)^{1,5}} \cdot [1 - 0,0581 \ln(40)] = 0,05.$$

По формуле (2.26) определяется величина плотности теплового излучения q на расстоянии 40 м от пожара:

$$q = E \cdot \varphi = 130 \cdot 0,05 = 6,5 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}.$$

В соответствии с данными табл. П.4.2 (Прил. 4) данное значение плотности теплового излучения не вызывает воспламенение горючих материалов.

Пример 5

Определить ожидаемую плотность теплового излучения на расстоянии $r = 100$ м от огненного шара и оценить опасность излучения.

Исходные данные:

В результате столкновения двух цистерн с СУГ произошел пожар пролива вещества. От теплового воздействия пожара пролива произошел взрыв второй цистерны с нагрузкой 24 т СУГ с образованием огненного шара.

Решение:

По формулам (2.28) – (2.30) определяются масса огненного шара, его радиус и время существования:

$$M_{\text{ош}} = 0,6 \cdot M = 0,6 \cdot 24 = 14,4 \text{ т};$$

$$R_{\text{ош}} = 29 \cdot M_{\text{ош}}^{1/3} = 29 \cdot 2,4 = 70 \text{ м};$$

$$t_{\text{ош}} = 4,5 \cdot M_{\text{ош}}^{1/3} = 10,8 \text{ с}.$$

По формуле (2.27) определяется φ коэффициент облученности между факелом пламени и элементарной площадкой на поверхности облучаемого объекта при $r_{\text{п}} = R_{\text{ош}} = 70$ м и $r = 100$ м:

$$\varphi = \frac{70^2 \cdot 100}{(70^2 + 100^2)^{1,5}} \cdot [1 - 0,0581 \ln(100)] = 0,197.$$

По Прил. 5 определяется средне поверхностная плотность теплового излучения факела пламени $E = 200$ кВт/м².

По формуле (2.26) определяется величина плотности теплового излучения q на заданном расстоянии:

$$q = E \cdot \varphi = 200 \cdot 0,197 = 39,5 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}.$$

В соответствии с данными табл. П.4.2 (Прил. 4) данное значение плотности теплового излучения при времени облучения 10,8 с не вызывает воспламенение горючих материалов.

Вероятность поражения людей тепловым потоком зависит от индекса дозы теплового излучения (I), который определяется из соотношения (2.31):

$$I = t_{\text{ом}} \cdot (1000 \cdot q)^{4/3} = 10,8 \cdot (1000 \cdot 39,5)^{4/3} = 1,24 \cdot 10^7.$$

Доля пораженных тепловым излучением определяется по табл. П.1.3 или рис. П.1.2 (Прил. 1) и составляет около 50 %, получивших ожоги II степени, и 15 %, получивших смертельное поражение.

П.16.4. Расчет зон химического заражения

Пример 6

Определить глубину зоны заражения АХОВ.

Исходные данные:

В результате столкновения на сортировочной станции двух цистерн с жидким хлором произошел разлив 40 т АХОВ. Метеоусловия: скорость ветра 5 м/с, температура воздуха 0 °С, состояние атмосферы – изотермия. Время испарения 40 мин.

Решение:

По формуле (2.32) определяются эквивалентное количество продукта в первичном облаке:

$$Q_{\text{э}1} = K1 \cdot K3 \cdot K5 \cdot K7 \cdot Q_0 = 0,18 \cdot 1 \cdot 0,23 \cdot 0,6 \cdot 40 = 1 \text{ т.}$$

Определение эквивалентного количества вещества по вторичному облаку производится по формуле (2.33):

$$Q_{\text{э}2} = (1 - K1) \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4 \cdot K5 \cdot K6 \cdot K7 \cdot Q_0 / (h \cdot \rho) = \\ (1 - 0,18) \cdot 0,052 \cdot 1 \cdot 2,34 \cdot 0,23 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 40 / (0,05 \cdot 1,553) = 11,8 \text{ т.}$$

По таблицам Прил. 6 находим глубину зоны заражения первичным облаком $\Gamma_1 = 1,68$ км и вторичным облаком $\Gamma_2 = 6$ км.

Полная глубина зоны заражения определяется по формуле (2.34):

$$\Gamma = \Gamma_{\text{max}} + 0,5 \Gamma_{\text{min}} = 6 + 0,5 \cdot 1,68 = 6,84 \text{ км.}$$

П.16.5. Оценка пожарной обстановки при аварии с опасными грузами

Пример 7

Провести оценку пожарной обстановки при аварии с ЛВЖ и СУГ на сортировочной станции.

Исходные данные:

При проведении маневренных работ произошло столкновение цистерны с ЛВЖ (керосин) и цистерны, содержащей СУГ (пропан). Цистерны стандартные объемом соответственно 61,2 и 54 м³, загрузка ЛВЖ 42 т, загрузка СУГ 24 т, степень заполнения 0,85. В результате столкновения цистерна с ЛВЖ получила пробоину площадью 78,5 см², из которой начал вытекать керосин. Через 41 мин. Пролитый керосин воспламенился. В результате теплового воздействия происходит взрыв цистерны с СУГ с образованием огненного шара.

Решение:

1. Производится оценка времени и площади разлива ЛВЖ.

Время истечения ЛВЖ определяется по табл. П.7.5 Прил. 7. В данном случае при площади пробоины $78,5 \text{ см}^2$ время полного истечения составляет 50 мин.

Согласно п. 2.3.2.5 расход керосина из пробоины и средняя скорость определяются по формулам (2.20) и (2.21):

$$v_{\text{cp}} = 0,3 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2,8} = 2,22 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1},$$

$$G = 60 \cdot 2,22 \cdot 800 \cdot 0,00785 = 840 \text{ кг} \cdot \text{мин}^{-1}.$$

На 41-й минуте согласно п.2.3.2.6 по формуле (b^1) площадь разлива составит:

$$S_p(\tau) = (0,00625 \cdot G) \cdot \tau = (0,00625 \cdot 840) \cdot 41 = 215 \text{ м}^2.$$

Длина и ширина фронта пожара пролива определяются исходя из условия прямоугольной формы его распространения (п.2.6.1.4):

$$S_{\text{п}} = a \cdot b,$$

где $S_{\text{п}}$ – площадь пожара, м^2 ;

a – длина фронта пожара, м;

b – ширина фронта пожара, м.

Ширина фронта пожара при $S_{\text{п}} = S_p = 215 \text{ м}^2$ составляет:

$$b = (S_{\text{п}}/3,5)^{1/2} = 7,85 \text{ м}.$$

Длина фронта пожара:

$$a = 3,5 \cdot b = 27,5 \text{ м}.$$

2. Производится расчет возможного количества вагонов, попавших в зону пожара, в соответствии с п.2.6.4.

Общее количество вагонов в очаге пожара:

$$N = S_{\text{п}} \cdot K_p / S_B = 215 \cdot 0,75 / 40 = 4 \text{ шт.}$$

количество N_k вагонов на крайних железнодорожных путях по длине фронта пожара:

$$N_k = a / (I_B + 1) = 27,5 / (12 + 1) = 2 \text{ шт.};$$

количество $N_{\text{ш}}$ вагонов на крайних железнодорожных путях по ширине фронта пожара:

$$N_k = b / r_{\text{жд}} = 7,85 / 4 = 2 \text{ шт.}$$

Таким образом, в зоне пожара могут находиться 4 цистерны (вагона). Возможная пожарная обстановка показана на рис. П.16.1.

3. Производится расчет зоны опасного воздействия теплового излучения пожара пролива, т.е. зоны возможного распространения пожара при $q_{кр} > 12,5 \text{ кВт/м}^2$.

Плотность теплового излучения при пожаре пролива определяется по табл. П.9.2 Прил. 9. Масса пролитого керосина согласно п.2.3.2.6 по формуле (а) составит:

$$M(\tau) = G \cdot \tau = 840 \cdot 41 = 34,4 \text{ т.}$$

В этом случае по табл. П.9.2 плотность теплового излучения на расстоянии 30 м составит $12,5 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$.

Таким образом, граница опасной зоны (зоны возможного распространения пожара) расположена на расстоянии 30 м от границы пролива.

На рис. П.16.1 показана зона возможного распространения пожара, т.е. при нахождении в данной зоне горючих материалов произойдет их воспламенение.

4. Через 15–25 мин (в соответствии с п.2.6.1.3) после начала теплового воздействия пожара пролива на цистерну с СУГ произойдет взрыв этой цистерны с образованием огненного шара.

По формулам (2.28) – (2.30) определяются масса огненного шара, его радиус и время существования:

$$M_{ош} = 0,6 \cdot M = 0,6 \cdot 24 = 14,4 \text{ т;}$$

$$R_{ош} = 29 \cdot M_{ош}^{1/3} = 29 \cdot 2,4 = 70 \text{ м;}$$

$$t_{ош} = 4,5 \cdot M_{ош}^{1/3} = 10,8 \text{ с.}$$

Полагается, что в зоне радиусом 70 м (радиус огненного шара) все горючие материалы воспламеняются.

По формуле (2.27) п.2.3.4.4 определяется коэффициент облученности ϕ и величина плотности теплового излучения q (кВт/м^2) на различных расстояниях от огненного шара. Так как при величине теплового излучения более 85 кВт/м^2 происходит воспламенение через 3–5 с (Прил. 4), полагается, что при времени облучения 10,8 с (времени существования огненного шара) воспламенение произойдет при $q_{кр} = 60 \text{ кВт/м}^2$. Такой величине плотности соответствует расстояние от поверхности огненного шара – 50 м.

Таким образом, зона возможного распространения пожара от воздействия огненного шара (рис. П.16.1) составляет 120 м (70 м + 50 м) от цистерны с СУГ (места аварии).

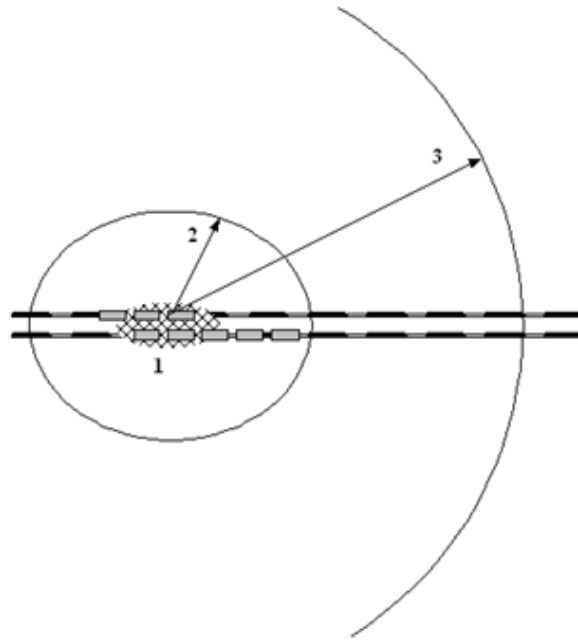


Рис. П.12.1. Зоны возможного распространения пожара при аварии с проливом ЛВЖ и образованием огненного шара (масштаб 1:1000): 1 – пожар пролива ЛВЖ; 2 – зона возможного распространения пожара пролива; 3 – фрагмент зоны возможного распространения пожара от теплового воздействия огненного шара

Литература

1. ВНТП 05-97. Определение категорий помещений и зданий предприятий и объектов железнодорожного транспорта по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: ГипротрансТЭИ, 1997. – 99 с.
2. Предупреждение крупных аварий: Практическое руководство. – М.: Московский НИИ охраны труда. 1992. – 256 с.
3. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС (Книга 2). – М.: МЧС, 1994. – 76 с.
4. Определение категорий наружных установок по пожарной опасности. НПБ 107-97. – М.: ГУГПС МВД России, 1997. – 22 с.
5. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. – М.: Металлургия, 1988. – 126 с.
6. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. (РД 52.04.253-90). – М.: Штаб ГО СССР, 1990.
7. Организация и тактика тушения пожаров в подвижном составе железнодорожного транспорта / Рекомендации. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1987. – 80 с.

8. Рекомендации по тушению пожаров на железнодорожном транспорте (временные). – М.: ВНИИЖТ, 1995. – 198 с.
9. Рекомендации по противопожарной защите объектов и подвижного состава с опасными грузами. – М.: Транспорт, 1994. – 63 с.
10. Инструкция по организации аварийно-восстановительных работ на железных дорогах Российской Федерации. ЦРБ-353. – М.: МПС РФ, 1996. – 32 с.
11. Правила безопасности и порядок ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами при перевозке их по железным дорогам. – М.: Транспорт, 1995.
12. Указания по составлению в частях и гарнизонах пожарной охраны оперативных планов и карточек тушения пожаров. – М.: ГУПО МВД, 1970.
13. Боевой устав пожарной охраны (Приложение 2 к приказу МВД России от 5.07.95 г. № 257). – М., 1995.
14. Правила пожарной безопасности на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1994. – 159 с.
15. Положение о восстановительных поездах на железнодорожном транспорте Российской Федерации. ЦРБ-364. – М.: МПС РФ, 1996. – 32 с.
16. ГОСТ 19433-86. Грузы опасные. Классификация и маркировка.
17. ГОСТ Р 22.0.06-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники природных чрезвычайных ситуаций. Поражающие факторы. Номенклатура параметров поражающих воздействий.
18. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
19. ПТЭ. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (ЦРБ/162 от 26.04.93 г.) – М.: Транспорт, 1993. – 161 с.
20. Правила перевозок опасных грузов. – М.: Транспорт, 1996. – 252 с.
21. Инструкция по движению поездов и маневровой работе. – М.: Транспорт, 1993. – 288 с.
22. Инструкция по составлению техническо-распорядительных актов станций. ЦД-223. – М.: МПС РФ, 1994. – 37 с.
23. СТН Ц-01-95. Строительно-технические нормы МПС Российской Федерации. Железные дороги колеи 1520 мм. – М.: Транспорт, 1994. – 63 с.
24. СНиП 2.07.01-89*. Градостроительство. Планировка и застройка городских поселений. – М.: ЦНИИП градостроительства, 1989.
25. Соглашение между МВД России и МПС России о порядке осуществления государственного пожарного надзора и других полномочий

Государственной противопожарной службы МВД Российской Федерации на объектах Министерства путей сообщения. 1995 – 5 с.

26. Программа подготовки личного состава частей и гарнизонов пожарной охраны. Приказ МВД СССР от 4.03.87 г. № 44.

27. Типовой технологический процесс работы сортировочной станции. – М.: Транспорт, 1988. – 240 с.

28. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. – М.: Химия, 1987. – 272 с.

29. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.

30. Кимстач И.Ф. и др. Пожарная тактика. – М.: Стройиздат, 1984. – 590 с.

31. Романенко П.Н., Бубырь Н.Ф., Башкирцев М.П. Теплопередача в пожарном деле. – М.: ВИПТШ, 1969. – 424 с.

32. Маршалл В. Основные опасности химических производств. – М.: Мир, 1989. – 672 с.

33. Ройтман М.Я. Противопожарное нормирование в строительстве. – М.: Стройиздат, 1985. – 590 с.

34. Баратов А.Н., Иванов Е.Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтехимической промышленности. – М.: Химия, 1979. – 368 с.

35. Бейкер У. Взрывные явления. Оценка и последствия: в 2 кн. / У. Бейкер и др.; пер. с англ. под ред. Я.Б.Зельдовича, Б.Е. Гельфанда. – М.: Мир, 1986. – 123 с.

36. Теряев В.Г. и др. Крупные производственные аварии: медицинские аспекты / В.Г. Теряев и др. – М.: МИПП «Пролог», 1992. – 128 с.

37. Радзиевский С.И. Пожаробезопасность и противопожарная защита кораблей / С.И. Радзиевский, В.М. Хнычкин. – Л.: Судостроение, 1987. .

38. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение / М.В. Бесчастнов. – М.: Химия, 1991. – 432 с.

39. Абдурагимов И.М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / И.М. Абдурагимов, В.Ю. Говоров, В.Е. Макаров. – М.: ВИПТШ, 1980. – 255 с.

40. Шебеко Ю.Н. Пожаровзрывоопасность перевозок СУГ железнодорожным транспортом / Ю.Н. Шебеко и др. // Пожаровзрывобезопасность. – 1993. № 1. – С.39–45.

41. Безродный И.Ф. Тушение нефти и нефтепродуктов / И.Ф. Безродный и др. – М.: ВНИИПО, 1996. – 216 с.

42. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения. Справочник: в 2 кн. / под ред. А.Н. Баратова. А.Я. Корольченко. – М.: Химия, 1990. – 384 с.

43. Рекомендации по обеспечению пожарной безопасности объектов нефтепродуктообеспечения, расположенных на селитебной территории. – М.: ВНИИПО, 1997. – 50 с.

44. Специализированные цистерны для перевозки опасных грузов. Справочное пособие. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 214 с.

45. ГОСТ Р 22.9.05-95. Безопасность чрезвычайных ситуаций. Комплекс средств индивидуальной защиты спасателей. Общие технические требования.

3. РАСЧЕТ КРИТЕРИЕВ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ СГОРАНИИ ВЗРЫВООПАСНОЙ ПЫЛИ

3.1. Расчет избыточного давления при сгорании пылевоздушной смеси в помещении

Одним из поражающих факторов является избыточное давление, служащее количественным критерием категории опасности.

Избыточное давление при сгорании пылевоздушной смеси Δp , кПа, рассчитывается по формуле:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_{\Pi} \cdot \rho_B \cdot C_B \cdot T_0 \cdot K_H}; \quad (3.1)$$

где m – расчетная масса взвешенной в объеме помещения горючей пыли, образовавшейся в результате аварийной ситуации, кг;

H_T – теплота сгорания истекающего вещества, Дж/кг;

P_0 – начальное атмосферное давление, кПа;

Z – доля участия взвешенной горючей пыли при сгорании пылевоздушной смеси (0,5 при газе и пыли; 0,3 при парах жидкости; 1 при водороде);

V_{Π} – свободный объем помещения, который принимается как 80 % от геометрического объема помещения, м³;

ρ_B – плотность воздуха до сгорания пылевоздушной смеси при начальной температуре T_0 , кг/м³;

C_B – теплоемкость воздуха, кДж/(кг · К);

T_0 – начальная температура воздуха в помещении, К;

K_H – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения (принимается равным 3).

К пылям, способным образовывать горючие пылевоздушные смеси, относят дисперсные материалы, характеризующиеся наличием показателей пожарной опасности: нижним концентрационным пределом распространения пламени, максимальным давлением, развиваемым при сгорании пылевоздушной смеси (более 50 кПа), и скоростью его нарастания, минимальным пожароопасным содержанием кислорода (менее 21 %).

Определим значения приведенных составляющих формулы (3.1) для определения избыточного давления:

а) атмосферное давление $P_0 = 101$ кПа;

б) коэффициент участия горючего вещества во взрыве $Z = 0,5$ (при газе и пыли при отсутствии возможности получения сведений для расчета);

в) свободный объем помещения $V_{\Pi} = 0,8 \cdot 45 \cdot 120 \cdot 7 = 30\,240$ м³;

- г) плотность воздуха $\rho_{\text{в}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$;
- д) теплоемкость воздуха $C_{\text{в}} = 1010 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$;
- е) температура в помещении $T_0 = 293 \text{ К}$;
- ж) коэффициент негерметичности $K_{\text{н}} = 3$;
- з) теплота сгорания истекающего вещества $H_{\text{т}} = 93,37 \cdot 10^6 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$;
- и) расчетную массу m , кг, принимаем равной $m = 0,8 \cdot 170\,000 = 136\,000 \text{ кг}$.

Учитывая заданные условия расчетной ситуации согласно формуле (3.1) определяем избыточное давление

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{m \cdot H_{\text{т}} \cdot P_0 \cdot Z}{V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} \cdot T_0 \cdot K_{\text{н}}} = \\ &= \frac{136000 \text{ кг} \cdot 93,37 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} \cdot 101 \text{ кПа} \cdot 0,5}{30240 \text{ м}^3 \cdot 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 1010 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} \cdot 293 \text{ К} \cdot 3} = \\ &= 19905,12 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

Таким образом, избыточное давление, рассчитанное для заданной ситуации составляет 19905,12 кПа. Исходя из этого, определяем категорию помещения по взрывопожарной и пожарной опасности (НПБ 105-95) – **Б взрывопожароопасная.**

3.2. Расчет интенсивности теплового излучения и времени существования «огненного шара»

Образование «Огненных шаров» приводит к тяжелым последствиям. Они вызывают вторичные пожары, так как интенсивность теплового излучения очень высока.

Расчет интенсивности теплового излучения «огненного шара» q , кВт/м², проводят по формуле:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \quad (3.2)$$

где E_f – среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, кВт/м²;

F_q – угловой коэффициент облученности;

τ – коэффициент пропускания атмосферы.

E_f определяют на основе имеющихся экспериментальных данных.

Допускается принимать E_f равным 450 кВт/м².

F_q рассчитывают по формуле:

$$F_q = \frac{H / D_s + 0,5}{4[(H / D_s + 0,5)^2 + (r / D_s)^2]^{1,5}}, \quad (3.3)$$

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:

$$D_s = 5,33 m^{0,327}, \quad (3.4)$$

где m – масса горючего вещества, кг.

H определяют в ходе специальных исследований. Допускается принимать H равной $D_s/2$.

Время существования «огненного шара» t_s , с, рассчитывают по формуле

$$t_s = 0,92 m^{0,303}. \quad (3.5)$$

Коэффициент пропускания атмосферы m рассчитывают по формуле

$$\tau = \exp [-7,0 \cdot 10^{-4} (\sqrt{r^2 + H^2} - D_s / 2)]. \quad (3.6)$$

Определяем эффективный диаметр «огненного шара» D_s .

По формуле (3.3), принимая $H = D_s / 2 = 127,165$ м, находим угловой коэффициент облученности F_q .

По формуле (3.6) находим коэффициент пропускания атмосферы τ .

По формуле (3.2), принимая $E_f = 450$ кВт/м², находим интенсивность теплового излучения q .

По формуле (3.5) определяем время существования «огненного шара» t_s .

Итак, значение интенсивности излучения «Огненного шара» составляет XXX кВт/м², при такой величине возможны (ожоги первой степени и смертельное поражение людей).

3.3. Расчет параметров волны давления при сгорании горючей пыли

Основными параметрами волны давления при сгорании горючей пыли в открытом пространстве являются избыточное давление и импульс волны давления. При большой величине избыточного давления возможно повреждение находящихся поблизости оборудования и других зданий.

Избыточное давление Δp , кПа, развиваемое при сгорании, рассчитывают по формуле:

$$\Delta p = p_0 \left(0,8 m_{\text{пр}}^{0,33} / r + 3 m_{\text{пр}}^{0,66} / r^2 + 5 m_{\text{пр}} / r^3 \right), \quad (3.7)$$

где p_0 – атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);

r – расстояние от геометрического центра облака, м;

$m_{пр}$ – приведенная масса горючей пыли, кг, рассчитанная по формуле:

$$m_{пр} = (Q_{сг} / Q_0)m_{г,п} Z, \quad (3.8)$$

где $Q_{сг}$ – удельная теплота сгорания газа или пара, Дж/кг;

Z – коэффициент участия, который допускается принимать равным 0,05;

Q_0 – константа, равная $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг;

$m_{г,п}$ – масса горючих газов и (или) паров, поступивших в результате аварии в окружающее пространство, кг.

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

$$i = 123m_{пр}^{0,66} / r. \quad (3.9)$$

Находим приведенную массу $m_{пр}$ по формуле (3.8)

Находим избыточное давление Δp по формуле (3.7).

Находим импульс волны давления i по формуле (3.9).

3.4. Расчет размеров возможного пожара и его потенциальной энергии

Размер пожара и его потенциальную энергию определяют на основе учета особенностей пыли, технологического оборудования и его конструктивного исполнения.

Площадь возможного пожара $F_{пож}$ определяют по формуле:

$$F_{пож} = \pi \cdot (V_{л} \cdot \tau_p)^2, \quad (3.10)$$

где $V_{л}$ – линейная скорость распространения пламени, м/с, (принимаем 0,12 м/с);

τ_p – расчетное время развития пожара, с.

Тогда $F_{пож} = 3,14 \cdot (0,12 \cdot 120)^2 = 651,1 \text{ м}^2$. Тогда диаметр пожара

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{пож}}{\pi}} = 28,79 \text{ м}.$$

Высота пламени h , м, рассчитывается по формуле:

$$h = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{m}{\rho_B \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0.61}, \quad (3.11)$$

где d – диаметр пожара, м;

m – удельная массовая скорость выгорания, кг/(м²·с);

ρ_v – плотность воздуха, кг/м³ (равна 1,2);

g – ускорение свободного падения, м/с².

Продолжительность пожара τ рассчитывают исходя из условия, что горячая пыль размещенная на 100 м² горит без условия тушения.

$$\tau = N/n, \quad (3.12)$$

где N – количество горючего вещества, кг;

n – скорость выгорания муки, кг/(м²·ч) (равна 100).

Потенциальная энергия пожара $E_{\text{пож}}$ вычисляется по формуле:

$$E_{\text{пож}} = G_n \cdot Q \cdot K, \quad (3.13)$$

где G_n – масса сгораемого вещества, кг;

Q – теплота сгорания горючей пыли, кДж/кг (равна для муки – 93 370 кДж/кг);

K – коэффициент недожога (равен для муки – 0,95).

$$E_{\text{пож}} = 136\,000 \cdot 93370 \cdot 0,95 = 12,06 \cdot 10^9 \text{ кДж.}$$

Итак, в данном разделе рассмотрены расчеты критериев пожаро-взрывоопасности при сгорании горючей пыли, значения которых представляют в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Критерии пожаровзрывоопасности

№ п/п	Наименование критерия	Обозначение	Значение	Единица измерения
1	Избыточное давление	Δp		кПа
2	Интенсивность теплового излучения «огненного шара»	q		кВт/м ²
3	Время существования «огненного шара»	t_s		с
4	Избыточное давление (при сгорании горючей пыли на открытом пространстве)	Δp		кПа
5	Импульс волны давления	i		Па · с
6	Площадь пожара	$F_{\text{пож}}$		м ²
7	Диаметр пожара	d		м
8	Высота пламени	h		м
9	Продолжительность пожара	τ		ч
10	Потенциальная энергия пожара	$E_{\text{пож}}$		кДж

По полученным критериям пожаровзрывоопасности определяют величины индивидуального и социального рисков.

4. МЕТОД РАСЧЕТА ИНДИВИДУАЛЬНОГО И СОЦИАЛЬНОГО РИСКОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

4.1. Сущность метода

Настоящий метод устанавливает порядок расчета индивидуального и социального риска для персонала. Показателем оценки индивидуального и социального риска для персонала на объектах является вероятность воздействия P_v опасных факторов пожара (ОФП), перечень которых определен ГОСТ 12.1.004.

Вероятность воздействия ОФП определяют для пожароопасной ситуации, при которой место возникновения пожара находится на первом этаже вблизи одного из эвакуационных выходов из здания (сооружения).

4.2. Основные расчетные зависимости

1. Уровень обеспечения безопасности людей при пожарах отвечает требуемому, если:

$$Q_v \leq Q_v^H, \quad (4.1)$$

где Q_v^H – нормируемый индивидуальный риск, $Q_v^H = 10^{-6}$ год⁻¹;
 Q_v – расчетный индивидуальный риск.

2. Расчетный индивидуальный риск Q_v в каждом здании (помещении) рассчитывают по формуле

$$Q_v = Q_p P_{пр} (1 - P_э) (1 - P_{п.з}). \quad (4.2)$$

где Q_p – вероятность пожара в здании в год;

$P_{пр}$ – вероятность присутствия людей в здании, при работе:

0,33 – в одну смену;

0,67 – в две смены;

1,00 – в три смены;

$P_э$ – вероятность эвакуации людей;

$P_{п.з}$ – вероятность эффективной работы технических решений противопожарной защиты.

3. Вероятность эвакуации $P_э$ рассчитывают по формуле

$$P_э = 1 - (1 - P_{э.п})(1 - P_{д.в}). \quad (4.3)$$

где $P_{э.п}$ – вероятность эвакуации по эвакуационным путям;

$P_{д.в}$ – вероятность эвакуации по наружным эвакуационным лестницам, переходам в смежные секции здания.

4. Вероятность $P_{э.л}$ рассчитывают по формуле

$$P_{э.л} = \begin{cases} \frac{\tau_{бл} - t_p}{\tau_{нэ}}, & \text{если } t_p < \tau_{бл} < t_p + \tau_{нэ}; \\ 0,999, & \text{если } t_p + \tau_{нэ} \leq \tau_{бл}; \\ 0, & \text{если } t_p \geq \tau_{бл}; \end{cases} \quad (4.4)$$

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

t_p – расчетное время эвакуации людей, мин;

$\tau_{нэ}$ – интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей, мин.

Расчетное время эвакуации людей из помещений и зданий устанавливают 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 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 длину и ширину каждого участка пути эвакуации принимают по проекту. Длину пути по лестничным маршам, а также по пандусам измеряют по длине марша. Длину пути в дверном проеме принимают равным 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

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i, \quad (4.5)$$

где t_1 – время движения людского потока на первом (начальном) участке, мин;

$t_1, t_2, t_3, \dots, t_i$ – 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

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1}, \quad (4.6)$$

где l_1 – длина первого участка пути, м;

V_1 – скорость движения людского потока по горизонтальному пути на первом участке, м/мин (определяют по табл. 4.1 в зависимости от плотности D).

Плотность людского потока на первом участке пути D_1 рассчитывают по формуле

$$D_1 = \frac{N_1 f}{l_1 \delta_1}, \quad (4.7)$$

где N_1 – число людей на первом участке, чел;

f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, m^2 , принимаемая равной 0,100 – взрослого в домашней одежде; 0,125 – взрослого в зимней одежде; 0,070 – подростка;

δ_1 – ширина первого участка пути, м.

Скорость V_1 движения людского потока на участках пути, следующих после первого, принимают по табл. 4.1 в зависимости от интенсивности движения людского потока по каждому из этих участков пути, которую вычисляют для всех участков пути, в том числе и для дверных проемов, по формуле

$$q_i = \frac{q_{i-1} \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (4.8)$$

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 [интенсивность движения людского потока на первом участке пути $q = q_{i-1}$ определяют по табл. 4.1 по значению D_1 , установленному по формуле (4.7)].

Если значение q_i определяемое по формуле (4.8), меньше или равно q_{\max} , то время движения по участку пути t_i , мин, равно:

$$t_i = \frac{l_i}{V_i}, \quad (4.9)$$

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.

Таблица 4.1

Интенсивность и скорость движения людского потока
при различной 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	16,6	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
0,70	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 d интенсивность движения следует определять по формуле $q = 2,5 + 3,75 d$.

Если значение q_i , определенное по формуле (4.8), больше q_{\max} то ширину S , данного участка пути следует увеличивать на такое значение, при котором соблюдается условие

$$q_i \leq q_{\max}. \quad (4.10)$$

При невозможности выполнения условия (4.10) интенсивность и скорость движения людского потока по участку i определяют по таб-

лице 4.1 при значении $D = 0,9$ и более. При этом следует учитывать время задержки движения людей из-за образовавшегося скопления.

При слиянии в начале участка i двух и более людских потоков (рис. 4.1) интенсивность движения q_i , м/мин, рассчитывают по формуле

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (4.11)$$

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.

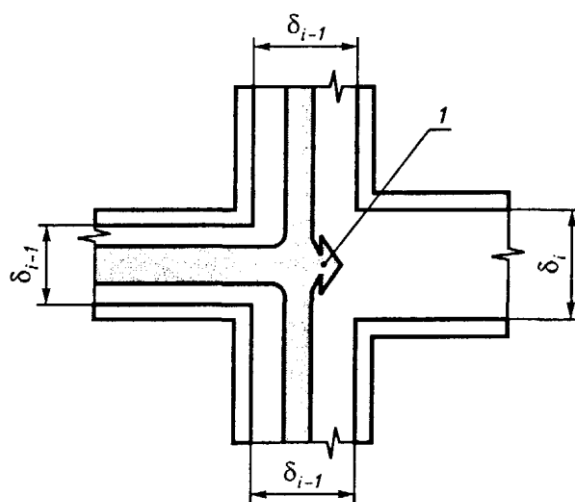


Рис. 4.1. Слияние людских потоков: 1 – начало участка i

Если значение q_i определенное по формуле (4.11), больше q_{\max} то ширину δ_i , данного участка пути следует увеличивать на такое значение, чтобы соблюдалось условие (4.10). В этом случае время движения по участку i определяют по формуле (4.9).

5. Время $\tau_{\text{бл}}$ вычисляют путем расчета допустимой концентрации дыма и других ОФП на эвакуационных путях в различные моменты времени. Допускается время $\tau_{\text{бл}}$ принимать равным необходимому времени эвакуации $t_{\text{нб}}$.

Необходимое время рассчитывают как произведение критической для человека продолжительности пожара на коэффициент безопасности. Предполагается, что каждый опасный фактор воздействует на человека независимо от других.

Критическую продолжительность пожара для людей, находящихся на этаже очага пожара, определяют из условия достижения одним из

ОФП в поэтажном коридоре своего предельно допустимого значения. В качестве критерия опасности для людей, находящихся выше очага пожара, рассматривают условие достижения одним из ОФП предельно допустимого значения в лестничной клетке на уровне этажа пожара.

Температуру, концентрацию токсичных компонентов продуктов горения и оптическую плотность дыма в коридоре этажа пожара и в лестничной клетке определяют в результате решения системы уравнений теплогазообмена для помещений очага пожара, поэтажного коридора и лестничной клетки.

Уравнение движения, связывающее перепады давлений на проемах с расходами через проемы, имеет вид

$$G = \text{sign}(\Delta p) \mu B (y_2 - y_1) \sqrt{2\rho |\Delta p|}, \quad (4.12)$$

где G – расход газов через проем, кг/с;

μ – коэффициент расхода проема ($\mu = 0,8$ для закрытых проемов и $\mu = 0,64$ для открытых);

B – ширина проемов, м;

y_2, y_1 – нижняя и верхняя границы потока, м;

ρ – плотность газов, проходящих через проем, кг/м³;

Δp – средний в пределах y_2, y_1 перепад полных давлений, Па.

Нижняя и верхняя границы потока зависят от положения плотности равных давлений

$$y_0 = \frac{p_i - p_j}{g(\rho_j - \rho_i)}, \quad (4.13)$$

где p_i, p_j – статическое давление на уровне пола i -го и j -го помещений, Па;

ρ_j, ρ_i – среднеобъемные плотности газа j -м и i -м помещениях, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Если плотность равных давлений расположена вне границ рассматриваемого проема ($y_0 \leq h_1$ или $y_0 \geq h_2$), то поток в проеме течет в одну сторону и границы потока совпадают с физическими границами проема h_1 и h_2 . Перепад давлений Δp Па, в этом случае рассчитывают по формуле

$$\Delta p = p_i - p_j + g(h_1 + h_2)(\rho_i - \rho_j) / 2. \quad (4.14)$$

Если плотность равных давлений расположена в границах потока ($h_1 < y_0 < h_2$), то в проеме текут два потока: из i -го помещения в j -е и из j -го в i -е. Нижний поток имеет границы h_1 и y_0 , перепад давления Δp для этого потока рассчитывают по формуле

$$\Delta p = p_i - p_j + g (y_0 + h_1) (\rho_j - \rho_i)/2. \quad (4.15)$$

Поток в верхней части проема имеет границы y_0 и h_2 , перепад давления Δp , Па, для него рассчитывают по формуле

$$\Delta p = p_i - p_j + g (h_2 + y_0) (\rho_j - \rho_i)/2. \quad (4.16)$$

Знак расхода газов (входящий в помещение расход считают положительным, выходящий – отрицательным) и значение ρ зависит от знака перепада давлений:

$$\rho, \text{sign}(\Delta p) = \begin{cases} -1, \rho = j \text{ при } p < 0 \\ +1, \rho = i \text{ при } p > 0. \end{cases} \quad (4.17)$$

Уравнение баланса массы выражается зависимостью

$$d(\rho_j V_j) / dt = \psi + \sum_i G_i - \sum_k G_k, \quad (4.18)$$

где V_j – объем помещения, м³;

t – время, с;

ψ – скорость выгорания пожарной нагрузки, кг/с;

$\sum_i G_i$ – сумма расходов газов, входящих в помещение, кг/с;

$\sum_k G_k$ – сумма расходов газов, выходящих из помещения, кг/с

Уравнение энергии для коридора и лестничной клетки:

$$d(C_v \rho_j V_j T_j) / dt = C_p \sum_i T_i G_i - C_p T_j \sum_k G_k, \quad (4.19)$$

где C_v, C_p – удельная изохорная и изобарная теплоемкости, кДж/(кг · К);

T_i, T_j – температура газов соответственно в i -м и j -м помещениях, К.

Уравнение баланса масс отдельных компонентов продуктов горения и кислорода

$$d(X_{L,j} \rho_j V_j) / dt = \psi L_L + \sum_i X_{L,i} G_i - X_{L,j} \sum_k G_k, \quad (4.20)$$

где $X_{L,j}, X_{L,i}$ – концентрация L компонентов продуктов горения в j -м и i -м помещениях, кг/кг;

L_L – количество L компонента продуктов горения (кислорода), выделяющегося (поглощающегося) при сгорании одного килограмма пожарной нагрузки, кг/кг.

Уравнение баланса оптической плотности дыма

$$V_j d\mu_j / dt = \psi D_m + \sum_i \mu_i G_i - \mu_j \sum_k G_k, \quad (4.21)$$

где μ_j, μ_i – оптическая плотность дыма в j -м и i -м помещениях, Нп/м;
 D_m – дымообразующая способность пожарной нагрузки, Нп · м/кг.
 Оптическая плотность дыма при обычных условиях связана с расстоянием предельной видимости в дыму соотношением

$$l_{пр} = 2,38 / \mu.$$

Время начала эвакуации $\tau_{н.э}$ для зданий (сооружений) без систем оповещения рассчитывают по результатам исследования поведения людей при пожарах в зданиях конкретного назначения.

При наличии в здании системы оповещения о пожаре $\tau_{н.э}$ принимают равным времени срабатывания системы с учетом ее инерционности. При отсутствии необходимых исходных данных для определения времени начала эвакуации в зданиях (сооружениях) без систем оповещения $\tau_{н.э}$ следует 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 $P_{э.п}$ вычисляют по зависимости

$$P_{э.п} = \begin{cases} 0,999, & \text{если } t_p \leq t_{нб}; \\ 0, & \text{если } t_p \geq t_{нб}, \end{cases} \quad (4.23)$$

где $t_{нб}$ – необходимое время эвакуации из зальных помещений.

Примечание. Зданиями (сооружениями) без систем оповещения считают те здания (сооружения), возникновение пожара внутри которых может быть замечено одновременно всеми находящимися там людьми.

$t_{нб}$ рассчитывают для наиболее опасного варианта развития пожара, характеризующегося наибольшим темпом нарастания ОФП в рассматриваемом помещении. Сначала рассчитывают критическую продолжительность пожара $t_{кр}$, с, по условию достижения каждым из ОФП предельно допустимых значений в зоне пребывания людей (рабочей зоне):

- по повышенной температуре:

$$t_{кр}^T = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 + \frac{70 - t_0}{(273 + t_0)Z} \right] \right\}^{1/n}, \quad (4.24)$$

- по потере видимости:

$$t_{\text{кр}}^{\text{п.в}} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 - \frac{V \ln(1,05 \alpha E)}{l_{\text{пр}} B D_m Z} \right]^{-1} \right\}^{1/n}, \quad (4.25)$$

- по пониженному содержанию кислорода:

$$t_{\text{кр}}^{\text{O}_2} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 - \frac{0,044}{\left(\frac{BL_{\text{O}_2}}{V} + 0,27 \right) Z} \right]^{-1} \right\}^{1/n}, \quad (4.26)$$

- по каждому из газообразных токсичных продуктов горения:

$$t_{\text{кр}}^{\text{т.г}} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 - \frac{V X}{BLZ} \right]^{-1} \right\}^{1/n}, \quad (4.27)$$

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

$$B = \frac{353 C_p V}{(1 - \varphi) \eta Q},$$

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/с ^{n} ;

Z – безразмерный параметр, учитывающий неравномерность распределения ОФП по высоте помещения;

Q – низшая теплота сгорания материала, МДж/кг;

C_p – удельная изобарная теплоемкость газа, МДж/(кг · К);

φ – коэффициент теплотерь;

η – коэффициент полноты горения;

V – свободный объем помещения, м³;

α – коэффициент отражения предметов на путях эвакуации;

E – начальная освещенность, 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 материала, кг/кг;

X – предельно допустимое содержание токсичного газа в помещении, кг/м³; $X_{CO_2} = 0,11$ кг/м³; $X_{CO} = 1,16 \cdot 10^{-3}$ кг/м³; $X_{HCl} = 23 \cdot 10^{-6}$ кг/м³); L_{O_2} – удельный расход кислорода, кг/кг.

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

Z рассчитывают по формуле

$$Z = \frac{h}{H} \cdot \exp\left(1,4 \cdot \frac{h}{H}\right), \text{ при } H \leq 6 \text{ м}, \quad (4.28)$$

где h – высота рабочей зоны, м ($h = h_{пл} + 1,7 - 0,5\delta$; $h_{пл}$ – высота площадки, на которой находятся люди, над полом помещения, м; δ – разность высот пола, равная нулю при горизонтальном его расположении, м);

H – высота помещения, 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 рассчитывают так:

- для случая горения жидкости с установившейся скоростью

$$A = \psi_F F \text{ при } n = 1,$$

где ψ_F – удельная массовая скорость выгорания жидкости, кг/(м² · с);

- для кругового распространения пожара

$$A = 1,05 \psi_F v^2 \text{ при } n = 3,$$

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, распространения огня в горизонтальном направлении по занавесу после охвата его пламенем по всей высоте)

$$A = \psi_F v b \text{ при } n = 2,$$

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

При отсутствии специальных требований α и E принимают равными 0,3 и 50 лк соответственно, и значение $l_{пр} = 20$ м.

Исходные данные для проведения расчетов могут быть взяты из справочной литературы.

Из полученных в результате расчетов значений критической продолжительности пожара выбирают минимальное:

$$t_{кр} = \min \left(t_{кр}^T, t_{кр}^{п.в}, t_{кр}^{O_2}, t_{кр}^{ТГ} \right) \quad (4.29)$$

Необходимое время эвакуации людей $t_{нб}$, мин, из рассматриваемого помещения рассчитывают по формуле

$$t_{нб} = \frac{0,8 t_{кр}}{60} \quad (4.30)$$

При расположении людей на различных по высоте площадках необходимое время эвакуации следует определять для каждой площадки.

Свободный объем помещения соответствует разности между геометрическим объемом и объемом оборудования или предметов, находящихся внутри. Если рассчитать свободный объем невозможно, то допускается принимать его равным 80 % геометрического объема.

При наличии в здании незадымляемых лестничных клеток расчетный индивидуальный риск Q_v для людей, находящихся в помещениях, расположенных выше этажа пожара, рассчитывают по формуле

$$Q_v = Q_{п} (1 - P_{п.з}). \quad (4.31)$$

6. Вероятность эвакуации людей $P_{д.в}$ по наружным эвакуационным лестницам и другими путями эвакуации принимают равной 0,05 – в жилых; 0,03 – в остальных при наличии таких путей; 0,001 – при их отсутствии.

7. Вероятность эффективного срабатывания противопожарной защиты $P_{п.з}$ рассчитывают по формуле

$$P_{п.з} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (4.32)$$

где n – число технических решений противопожарной защиты в здании;

R_i – вероятность эффективного срабатывания i -го технического решения.

8. Для эксплуатируемых зданий (сооружений) расчетный индивидуальный риск допускается проверять окончательно с использованием статистических данных по формуле

$$Q_v = \frac{N_T}{TN_{об}} \quad (4.33)$$

где N_T – число пожаров с гибелью людей в рассматриваемой группе однотипных зданий за период времени T , лет;

$N_{об}$ – количество наблюдаемых объектов в группе.

Однотипными считают здания (сооружения) с одинаковой категорией пожарной опасности, одинакового функционального назначения и с близкими основными параметрами: геометрическими размерами, конструктивными характеристиками, количеством горючей нагрузки, вместимостью (числом людей в здании), производственными мощностями.

4.3. Оценка индивидуального риска

1. Для проектируемых зданий (сооружений) индивидуальный риск первоначально оценивают по (4.2) при $P_э$, равной нулю. Если при этом выполняется условие $Q_в \leq Q_в^H$, то безопасность людей в зданиях (сооружениях) обеспечена на требуемом уровне системой предотвращения пожара. Если это условие не выполняется, то расчет индивидуального риска $Q_в$ следует проводить по расчетным зависимостям, приведенным в разделе 4.2.

2. Допускается индивидуальный риск оценивать по $Q_в$ в одном или нескольких помещениях, наиболее удаленных от выходов в безопасную зону (например верхние этажи многоэтажных зданий).

4.4. Расчет социального риска

Социальный риск оценивается как вероятность гибели в результате пожара 10 и более человек в течение года. Расчеты проводят следующим образом.

4.4.1. Определяют вероятность Q_{10} гибели 10 и более человек в результате пожара.

4.4.1.1. Для производственных помещений Q_{10} рассчитывают по формуле

$$Q_{10} = \begin{cases} 0, & \text{если } t_p + \tau_{нэ} \leq \tau_{бл}; \\ 0, & \text{если } t_p < \tau_{бл} < t_p + \tau_{нэ} \text{ и } N < 10; \\ \frac{M-9}{M}, & \text{если } t_p < \tau_{бл} < t_p + \tau_{нэ} \text{ и } M \geq 10, \end{cases} \quad (4.34)$$

где M – максимально возможное количество погибших в результате пожара, чел.;

$$M = N \cdot \frac{t_p + \tau_{кэ} - \tau_{бп}}{t_p}, \quad (4.35)$$

где N – количество работающих в помещении (здании), чел.

4.4.1.2. Для зальных помещений вероятность Q_{10} гибели 10 и более человек рассчитывают по формуле

$$Q_{10} = \begin{cases} 0, & \text{если } t_p \leq \tau_{бп}; \\ 0, & \text{если } t_p \geq \tau_{бп} \text{ и } M < 10; \\ \frac{M-9}{M}, & \text{если } t_p \geq \tau_{бп} \text{ и } M \geq 10, \end{cases} \quad (4.36)$$

$$M = N \cdot \frac{\tau_{бп}}{t_p}, \quad (4.37)$$

где

4.4.2. Вероятность гибели от пожара 10 и более человек в течение года R_{10} рассчитывают по формуле

$$R_{10} = Q_{п} P_{пр} (1 - P_{э}) (1 - P_{пз}) Q_{10}. \quad (4.38)$$

4.4.3. Для эксплуатируемых здания (сооружений) расчетное значение социального риска допускается проверять окончательно с использованием аналитических данных по формуле

$$R_{10} = \frac{N_{10}}{TN_{об}}, \quad (4.39)$$

где N_{10} – число пожаров, повлекших за собой гибель 10 и более человек в течение периода наблюдения T , лет:

$N_{об}$ – число наблюдаемых объектов.

Пример. Оценить индивидуальный и социальный риск для людей, работающих в механообрабатывающем цехе (зальное помещение).

Данные для расчета

В механообрабатывающем цехе размером $104 \times 72 \times 16,2$ м произошел аварийный разлив и загорание масла на площади 420 м^2 .

В цехе работают 80 чел. на четырех механических участках в три смены, $P_{пр} = 1$. Цех имеет два эвакуационных выхода посередине. Ширина центрального прохода между механическими участками равна 4 м, а ширина проходов между оборудованием и стенами равна 2 м, на участках работают по 20 чел. Люди находятся на нулевой отметке. Время установления стационарного режима выгорания масла по экспери-

ментальным данным составляет 900 с. Характеристики горения масла, взятые из литературных источников, следующие:

- низшая теплота сгорания $Q = 41,9$ МДж/кг; дымообразующая способность, $D = 243$ Нп· м²/кг; удельный выход углекислого газа $L_{CO_2} = 0,7$ кг/кг; удельное потребление кислорода $L_{O_2} = 0,282$ кг/кг; удельная массовая скорость выгорания $\psi = 0,03$ кг/(м²· с).

Расчет

Расчетная схема эвакуации представлена на рис. 4.2.

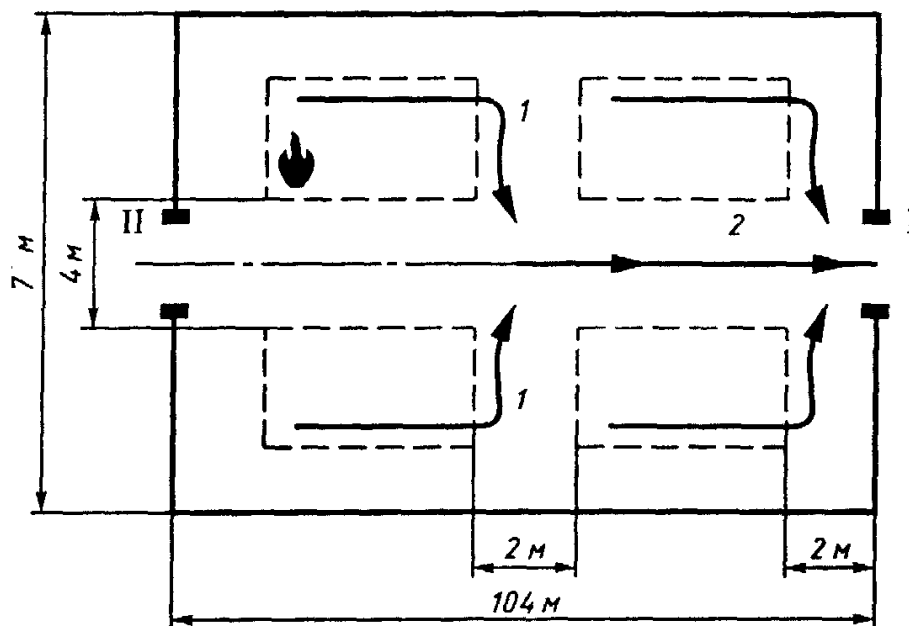



Рис. 4.2. Расчетная схема эвакуации:

 – место пожара; I, II – эвакуационные выходы;
 1, 2 – участки эвакуационного пути

Эвакуацию осуществляют в направлении первого эвакуационного выхода, так как второй заблокирован очагом пожара.

Плотность людского потока на первом участке эвакуационного пути:

$$D_1 = \frac{N_1 f}{l_1 \delta_1} = \frac{20 \cdot 1}{88 \cdot 2} = 0,1 \text{ м}^{-2}.$$

Время движения людского потока по первому участку:

$$t_1 = \frac{l_1}{v_1} = \frac{88}{100} = 0,88 \text{ мин.}$$

Интенсивность движения людского потока по второму участку:

$$q_2 = \frac{2q_1\delta_1}{\delta_2} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 2}{4} = 1 \text{ м/мин.}$$

Время движения людского потока по второму участку, так как $q_2 = 1 < q_{\max} = 16,5$:

$$t_2 = \frac{l_2}{v_2} = \frac{52}{100} = 0,52 \text{ мин.}$$

Расчетное время эвакуации:

$$t_p = t_1 + t_2 = 0,88 + 0,52 = 1,4 \text{ мин.}$$

Геометрические характеристики помещения:

$$h = 1,7 \text{ м; } V = 0,8 \cdot 104 \cdot 72 \cdot 16,2 = 94,044 \text{ м}^3.$$

При горении жидкости с неустановившейся скоростью:

$$A = \frac{0,67 \psi F}{\sqrt{\tau_{\text{ст}}}} = 0,67 \cdot \frac{0,03}{\sqrt{900}} \cdot 420 = 0,277 \quad ; \text{ при } n = 1,5.$$

Определяем $t_{\text{кр}}$ при $x = 0,3$ и $E = 40$ лк, $B = 2136$ кг:

$$Z = \frac{h}{H} \cdot \exp\left(1,4 \cdot \frac{h}{H}\right) = \frac{1,7}{16,2} \cdot \exp\left(1,4 \cdot \frac{1,7}{16,2}\right) = 0,12 \quad ; l_{\text{пр}} = 20 \text{ м;}$$

- по повышенной температуре

$$t_{\text{кр}}^{\tau} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 + \frac{70 - t_0}{(273 + t_0)Z} \right] \right\}^{1/n} = \left\{ \frac{2136}{0,277} \cdot \ln \left[1 + \frac{70 - 20}{(273 + 20)0,12} \right] \right\}^{1/1,5} = 362 \text{ с;}$$

- по потере видимости:

$$t_{\text{кр}}^{\text{п.в}} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 - \frac{V \ln(1,05 \alpha E)}{l_{\text{пр}} B D Z} \right]^{-1} \right\}^{1/n} = \left\{ \frac{2136}{0,277} \cdot \ln \left[1 - \frac{97044 \ln(1,05 \cdot 0,3 \cdot 40)}{20 \cdot 2136 \cdot 243 \cdot 0,12} \right]^{-1} \right\}^{1/1,5} = 135 \text{ с;}$$

- по пониженному содержанию кислорода:

$$t_{\text{кр}}^{\text{O}_2} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 - \frac{0,044}{\left(\frac{B_{\text{пр}} L_{\text{O}_2}}{V} + 0,27 \right) Z} \right]^{-1} \right\}^{1/n} = (7710 \ln(-2,6))^{1/1,5};$$

- по выделению углекислого газа

$$t_{\text{кр}}^{\text{CO}_2} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 - \frac{V X}{B L Z} \right]^{-1} \right\}^{1/n} = \left\{ \frac{2136}{0,277} \cdot \ln \left[1 - \frac{97044 \cdot 0,1}{2136 \cdot 0,7 \cdot 0,12} \right]^{-1} \right\}^{1/1,5} = (7710 \cdot \ln(-0,016))^{1/1,5};$$

$$t_{\text{эп}} = \min(t_{\text{эп}}^{\text{T}}, t_{\text{эп}}^{\text{П.В}}) = \min(362, 135) = 135 \text{ с.}$$

Необходимое время эвакуации людей из помещения:

$$t_{\text{нб}} = K_{\text{б}} t_{\text{кр}} = 0,8 \cdot 135 = 108 \text{ с} = 1,8 \text{ мин.}$$

Из сравнения t_p с $t_{\text{нб}}$ получается:

$$t_p = 1,4 < t_{\text{нб}} = 1,8.$$

Вероятность эвакуации по эвакуационным путям:

$$P_{\text{э.п}} = 0,999.$$

Вероятность эвакуации:

$$P_{\text{э}} = 1 - (1 - (1 - P_{\text{э.п}}) (1 - P_{\text{д.в}})) = 1 - (1 - (1 - 0,999) (1 - 0)) = 0,999.$$

Расчетный индивидуальный риск:

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{п}} P_{\text{пр}} (1 - P_{\text{э}}) (1 - P_{\text{п.з}}) = 0,2 \cdot 1 (1 - 0,999) (1 - 0) = 2 \cdot 10^{-4};$$

$$Q_{\text{в}} = 2 \cdot 10^{-4} > Q_{\text{к}}^{\text{н}} = 10^{-6}.$$

То есть условие безопасности людей не выполнено, значение индивидуального риска больше допустимого.

Выполним оценку социального риска на рассматриваемом участке по формуле (4.36). Поскольку $t_p < \tau_{\text{ол}}$ принимаем $Q_{10} = 0$, следовательно, вероятность гибели в результате пожара 10 и более человек на рассматриваемом участке равна 0.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ПЛОЩАДИ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ

Рассмотрим задачу определения безопасной площади разгерметизации оборудования и помещений, в которых обращаются горючие газы, жидкости или пыли, способные создавать с воздухом взрывоопасные смеси, сгорающие *ламинарно* или *турбулентно* во фронтальном режиме.

Безопасная площадь разгерметизации – такая площадь сбросного сечения предохранительного устройства, вскрытие которой в процессе сгорания смеси внутри оборудования или помещения позволяет сохранить последние от разрушения или деформации.

Не распространяется на системы, склонные к детонации или объемному самовоспламенению.

5.1. Сущность вопроса

Безопасную площадь разгерметизации определяют по расчетным формулам на основе данных:

- о параметрах оборудования,
- о показателях пожаровзрывоопасности горючих смесей,
- о условиях возникновения и развития процесса.

Устанавливается зависимость безопасной площади разгерметизации:

- от объема оборудования или помещения и максимально допустимого давления внутри него;
- давления и температуры технологической среды;
- термодинамических и термокинетических параметров горючей смеси;
- условий истечения;
- степени турбулентности.

5.2. Расчет безопасной площади разгерметизации технологического оборудования с газопаровыми смесями

Безопасную площадь разгерметизации технологического оборудования с газопаровыми смесями определяют по следующим безразмерным критериальным соотношениям:

$$W \geq \frac{\chi(E_i - 1)}{\sqrt{E_i(\pi_m - 1)}}, \quad (5.1)$$

- для сосудов, рассчитанных на максимальное относительное давление взрыва $1 < \pi_m \leq 2$ (при одновременном выполнении условия $p_m > 2p'$) в знаменателе формулы (1) сомножитель $(\pi_m - 1)$ отсутствует, и

$$W \geq 0,9 \cdot \frac{\chi(\pi_e - \pi_m)}{\sqrt{E_i}}, \quad (5.2)$$

- для сосудов, выдерживающих давление взрыва в диапазоне относительных значений $2 < \pi_m < \pi_e$.

В формулах (5.1) и (5.2) приняты следующие обозначения (индексы i, u, e, m относятся соответственно к начальным параметрам, параметрам горючей смеси, характеристикам горения в замкнутом сосуде, максимальным допустимым значениям):

$$\pi_m = \frac{p_m}{p_i} \text{ – относительное максимально допустимое давление в со-}$$

сосуде, которое не приводит к его деформации и (или) разрушению;

p_m – абсолютное максимально допустимое давление внутри сосуда, которое не приводит к его деформации и (или) разрушению. Па;

p_i – абсолютное начальное давление горючей смеси в аппарате, при котором происходит инициирование горения, Па;

p' – абсолютное давление в пространстве, в которое происходит истечение, в момент достижения максимального давления взрыва внутри аппарата (атмосфера, буферная емкость и т.п.), Па;

$$\pi_e = \frac{p_e}{p_i} \text{ – относительное максимальное давление взрыва данной}$$

горючей смеси в замкнутом сосуде;

p_e – абсолютное максимальное давление взрыва данной горючей смеси в замкнутом сосуде при начальном давлении смеси p_i , Па;

E_i – коэффициент расширения продуктов сгорания смеси;

χ – фактор турбулентности, представляющий собой в соответствии с принципом Гуи-Михельсона отношение действительной поверхности фронта пламени в аппарате к поверхности сферы, в которую можно собрать продукты сгорания, находящиеся в данный момент времени внутри сосуда.

Комплекс подобия W представляет собой с точностью до постоянного множителя произведение двух отношений – эффективной площади разгерметизации к внутренней поверхности сферического сосуда равного объема и скорости звука в исходной смеси к начальной нормальной скорости пламени:

$$W = \frac{1}{(36\pi_0)^{0,333}} \cdot \frac{\mu F}{V^{0,667}} \left(\frac{RT_{u_i}}{M_i} \right)^{0,5} \cdot \frac{1}{S_{u_i}}, \quad (5.3)$$

где π_0 – число «пи»;

μ – коэффициент расхода при истечении свежей смеси и (или) продуктов сгорания через устройство взрыворазрежения (предохранительная мембрана, клапан, разгерметизатор и т.п.);

F – площадь разгерметизации (сбросного сечения), м²;

V – максимальный внутренний объем сосуда, в котором возможно образование горючей газопаровой смеси, м³;

R – универсальная газовая постоянная, равная 8314 Дж / (кмоль · К);

T_{u_i} – температура горючей смеси, К;

M_i – молекулярная масса горючей смеси, кг/кмоль;

S_{u_i} – нормальная скорость распространения пламени при началь-

ных значениях давления и температуры горючей смеси, м/с.

Формулы (5.1) и (5.2) могут быть использованы как для определения безопасной площади разгерметизации F при проектировании аппаратов по максимально допустимому относительному давлению взрыва в нем π_m (прямая задача), так и для определения максимально допустимого начального давления горючей смеси p_i в аппарате, рассчитанном на максимальное давление p_m , с уже имеющимся сбросным люком площадью F , например при анализе аварий (обратная задача).

Формулы (5.1) и (5.2) охватывают весь диапазон возможных давлений в оборудовании с различной степенью негерметичности $1 < \pi_m \leq \pi_e$.

Точность определения диаметра сбросного сечения по инженерным формулам (5.1), (5.2) в сравнении с точным компьютерным решением системы дифференциальных уравнений динамики развития взрыва составляет около 10 %.

5.3. Степень влияния различных параметров на безопасную площадь разгерметизации технологического оборудования с газопаровыми смесями

В настоящем методе реализован подход к расчету площади сбросного сечения, заключающийся в учете влияния различных параметров и условий на безопасную площадь разгерметизации посредством соответствующего изменения эффективного значения фактора турбулентности (отношение фактора турбулентности к коэффициенту расхода).

Расчет безопасной площади разгерметизации проводится, как правило, для наиболее опасных (околостехиометрического состава) смесей, если не доказана невозможность их образования внутри защищаемого объекта.

5.4. Зависимость фактора турбулентности от условий развития взрыва в технологическом оборудовании с газопаровыми смесями при точечном источнике зажигания

Зависимость фактора турбулентности от условий развития горения, исходя из сегодняшнего уровня знаний, может быть представлена для полых объектов формулой

$$\chi = (1 + a_1 V) \left(1 + a_2 \cdot \frac{F}{V^{0,667}} \right) \left(a_3 + a_4 \cdot \frac{\pi_e - \pi_m}{\pi_e - 2} \right), \quad (5.4)$$

где a_1, a_2, a_3, a_4 – эмпирические коэффициенты, определяемые по табл. 5.1.

Таблица 5.1

Эмпирические коэффициенты для расчета фактора турбулентности¹

Условия развития горения	Эмпирические коэффициенты			
	a_1	a_2	a_3	a_4
Объем сосуда V до 10 м^3 , степень негерметичности $F/V^{0,667}$ до 0,25	0,15	4	1,0	0,0
Объем сосуда V до 200 м^3 , $1 < \pi_m \leq 2$:				
начально открытые сбросные сечения	0,00	0	2,0	0,0
начально закрытые сбросные сечения	0,00	0	8,0	0,0
Объем сосуда V до 200 м^3 , $2 \leq \pi_m < \pi_e$:				
начально открытые сбросные сечения	0,00	0	0,8	1,2
начально закрытые сбросные сечения	0,00	0	2,0	6,0
Объем сосуда V до 10 м^3 ; степень негерметичности $F/V^{0,667}$ до 0,04; наличие сбросного трубопровода, $1 < \pi_m < 2$:				
без орошения истекающих газов	0,00	0	4,0	0,0
с орошением истекающих газов	0,15	4	1,0	0,0

¹ Для отсутствующих в таблице условий развития горения, например для оборудования объемом более 200 м^3 , фактор турбулентности определяют экспертно. В таких случаях (объекты объемом более 200 м^3 , объекты с внутренними элементами и струйным и другими видами зажигания, а также инерционными сбросными элементами и т.п.) определение безопасной площади разгерметизации следует осуществлять с использованием программ расчета динамики взрыва

Для полых аппаратов объемом менее 1 м^3 фактор турбулентности χ составляет от 1 до 2.

С ростом объема аппарата фактор турбулентности увеличивается и для полых аппаратов объемом около 10 м^3 составляет от 2,5 до 5 в зависимости от степени негерметичности (отношение $F/V^{0,667}$) аппарата.

Для сосудов объемом до 200 м^3 различной формы с незначительными встроенными внутрь элементами фактор турбулентности не превышает, как правило, 8.

Влияние формы аппарата

Для аппаратов с соотношением длины к диаметру до 5:1 можно считать, что форма аппарата не влияет на значение фактора турбулентности, т.к. увеличение поверхности пламени из-за его вытягивания по форме аппарата компенсируется уменьшением поверхности в результате более раннего касания пламени стенок сосуда.

Влияние начальной герметизации аппарата

Для полых аппаратов объемом до 200 м^3 с начально открытыми сбросными сечениями, например люками, значение фактора турбулентности, как правило, не превышает 2, для аппаратов с начально закрытыми сбросными сечениями (мембраны, разгерметизаторы и т.д.) не превышает 8.

Влияние степени негерметичности аппарата $F/V^{0,667}$.

Увеличение степени негерметичности $F/V^{0,667}$ в 10 раз от 0,025 до 0,25, что равнозначно увеличению площади разгерметизации в 10 раз для одного и того же аппарата, приводит к возрастанию фактора турбулентности в 2 раза (для аппаратов объемом около 10 м^3 с 2,5 до 5).

Влияние максимально допустимого давления в аппарате (коррелирует с влиянием давления разгерметизации).

При увеличении относительного максимально допустимого давления внутри аппарата (прочности аппарата) в диапазоне $1 < \pi_m \leq 2$ фактор турбулентности не изменяется.

С ростом относительного максимально допустимого давления выше $\pi_m > 2$ (до $\pi_m = \pi_e$) для начально открытых сбросных сечений фактор турбулентности снижается с 2 до 0,8, для начально закрытых – с 8 до 2.

Этот результат согласуется с физическими представлениями о том, что при большем значении давления, которое выдерживает аппарат, меньше площадь сбросного сечения, а следовательно, фронт пламени подвергается меньшему возмущающему воздействию.

Влияние условий истечения

Если истечение горючей смеси и продуктов сгорания осуществляется через сбросной трубопровод, расположенный за разгерметизирую-

щим элементом и имеющий диаметр, приблизительно равный диаметру сбросного отверстия, то значение фактора турбулентности вне зависимости от объема сосуда до $10\text{--}15\text{ м}^3$ принимается равным 4 (для сосудов со степенью негерметичности $F/V^{0,667}$ около $0,015\text{--}0,035$, когда оснащение сосудов сбросным трубопроводом оправдано по соображениям разумного соотношения характерных размеров сосуда и трубопровода) при условии $\pi_m < 2$.

При оснащении системы разгерметизации оросителем или другим аналогичным устройством, установленным в трубопроводе непосредственно за разгерметизатором для подачи хладагента в истекающую из аппарата смесь, фактор турбулентности принимается таким же, как при истечении непосредственно из аппарата в атмосферу. Эффект интенсификации горения в аппарате при сбросе газов через трубопровод исчезает при увеличении давления разгерметизации до $0,2\text{ МПа}$ при начальном давлении $0,1\text{ МПа}$.

Влияние условий разгерметизации «Мгновенное» вскрытие сбросного сечения повышает вероятность возникновения вибрационного горения внутри аппарата. Амплитуда в акустической волне вибрационного горения может достигать $\pm 0,1\text{ МПа}$. Перемешивание смеси, например вентилятором, приводит к уменьшению колебаний давления.

Влияние препятствий и турбулизаторов

Вопрос о влиянии различных препятствий, расположенных на пути распространения пламени, и турбулентности в смеси перед фронтом пламени является одним из определяющих в выборе фактора турбулентности. Наиболее правильным методом определения фактора турбулентности при наличии внутри аппарата сложных препятствий и турбулизованной смеси может считаться метод, основанный на сравнении расчетной и экспериментальной динамики роста давления (зависимость давление – время).

Имеющиеся данные указывают, что ускорение пламени на специальных препятствиях достигает $\chi \approx 15$ и более уже в сосудах объемом около 10 м^3 .

Для углеводородовоздушных смесей турбулентное распространение пламени с автономной генерацией турбулентности внутри зоны горения характеризуется максимальным фактором турбулентности, около $\chi = 4$.

При искусственно создаваемой изотропной турбулентности максимальное значение фактора турбулентности при точечном зажигании не превышает $4\text{--}6$. Дальнейшее увеличение степени изотропной турбулентности приводит к гашению пламени.

Для сосудов со встроенными и подвижными элементами, влияние которых на значение фактора турбулентности не может быть в настоящее время оценено, например с использованием литературных данных или экспертным методом, выбор фактора турбулентности должен ограничиваться снизу значением $\chi = 8$.

Коэффициент расхода μ

Коэффициент расхода μ является эмпирическим коэффициентом, учитывающим влияние реальных условий истечения на расход газа, определенный по известным теоретическим модельным соотношениям.

Для предохранительных мембран и разгерметизирующих устройств с непосредственным сбросом продуктов сгорания в атмосферу, как правило, $\mu = 0,61$. При наличии сбросных трубопроводов μ от 0,4 до 1 (включая случай с подачей хладагента в трубопровод непосредственно за мембраной).

Значение коэффициента расхода возрастает в указанном диапазоне с увеличением скорости истечения и температуры истекающего газа с ростом фактора турбулентности.

Произведение коэффициента расхода на площадь разгерметизации μF представляет собой эффективную площадь разгерметизации.

Аналог принципа Ле Шателье-Брауна Согласно критериальному соотношению (5.1) относительное избыточное давление

$$(\pi_m - 1) \sim \left(\frac{\chi}{\mu F} \right)^2. \quad (5.5)$$

Теоретические и экспериментальные исследования процесса сгорания газа в негерметичном сосуде позволили установить аналог принципа Ле Шателье-Брауна: газодинамика горения газа в негерметичном сосуде реагирует на внешнее изменение условий протекания процесса в том направлении, при котором эффект внешнего воздействия ослабляется.

Так увеличение с целью снижения давления площади разгерметизации F_B 10 раз в сосуде объемом порядка 10 м^3 сопровождается увеличением фактора турбулизации в 2 раза. Физическое объяснение наблюдаемого явления достаточно простое: с увеличением площади разгерметизации возрастает возмущающее воздействие на фронте пламени.

Избыточное давление коррелирует согласно критериальному соотношению (5.5) с отношением $(\chi / \mu)^2$, а не просто χ . Как показали исследования, уменьшение размера ячейки турбулизирующей решетки, приводящей к возрастанию фактора турбулизации в 1,75 раза (с 8 до 14), сопровождается существенно меньшим увеличением отношения χ / μ – лишь в 1,11 раза. Сказанное необходимо учитывать при факторе турбулентности $\chi \geq 5$.

5.5. Определение нормальной скорости распространения пламени и термодинамических параметров

Нормальная скорость характеризует реакционную способность горючих газовых смесей при фронтальных режимах горения. Наиболее перспективным является экспериментально-расчетный метод оптимизации, позволяющий определять нормальную скорость в бомбе постоянного объема в широком диапазоне температур и давлений. Метод изложен в ГОСТ 12.1.044.

Входящая в критериальные соотношения (5.1) и (5.2) в составе комплекса Аномальная скорость распространения пламени $S_{и_i}$ при давлении и температуре, соответствующих началу развития процесса горения, может быть определена экспериментально или взята из научно-технической литературы, прошедшей оценку достоверности приведенных в ней данных. Если данные по нормальной скорости при характерных для технологического процесса давлении p и температуре T отсутствуют, то в ограниченном диапазоне экстраполяции можно воспользоваться для оценки формулой

$$S_{и_i} = S_{и_0} \left(\frac{p}{p_0} \right)^n \left(\frac{T}{T_0} \right)^m, \quad (5.6)$$

где $S_{и_i}$ – известное значение нормальной скорости при давлении p_0 и температуре T_0 ;

n и m – соответственно барический и температурный показатели.

В диапазоне давлений от 0,04 до 1,00 МПа и температур от 293 до 500 К для стехиометрических смесей метана, пропана, гексана, гептана, ацетона, изопропанола и бензола с воздухом барический показатель с ростом давления и температуры свежей смеси увеличивается и находится в диапазоне от 3,1 до 0,6. При значениях давления и температуры, близких к атмосферным, барический и температурный показатели для горючих паровоздушных смесей могут быть приняты в первом приближении соответственно равными $n = -0,5$ и $m = 2,0$.

Термодинамические параметры E_i , π_e , γ_b определяют термодинамическим расчетом, например на компьютерах по известным методикам.

Коэффициент расширения E_i равен по определению

$$E_i = \frac{M_i T_{b_i}}{M_{b_i} T_{u_i}},$$

где T_{b_i} и M_{b_i} – соответственно температура и молекулярная масса продуктов сгорания горючей смеси.

Молекулярную массу смеси идеальных газов M , кг/моль, определяют по формуле

$$M = \sum_j M_j n_j, \quad (5.7)$$

где M_j и n_j – соответственно молекулярная масса и мольная доля j -го компонента смеси.

Коэффициент расширения может быть также определен из приближенного уравнения

$$E_i = 1 + \frac{\pi_e - 1}{\gamma_b}. \quad (5.8)$$

В табл. 5.2 приведены рассчитанные на компьютере значения термодинамических параметров для некоторых стехиометрических газопаровых смесей в предположении, что продукты сгорания состоят из следующих 19 компонентов в газовой фазе: H_2 , H_2O , CO_2 , N_2 , Ar , C , H , O , N , CO , CH_4 , HCN , O_2 , O_3 , OH , NO , NO_2 , NH_3 , HNO_3 . Стехиометрическая концентрация горючего $\varphi_{ст}$ в воздухе средней влажности определялась по известной формуле

$$\varphi_{ст} = \frac{100}{4,8445\beta + 1}, \quad (5.9)$$

где β – стехиометрический коэффициент, равный количеству молекул кислорода, необходимых для сгорания одной молекулы горючего.

Таблица 5.2

Результаты расчета значений π_e , γ_b , E_i , T_{b_i} и $S_{и}$
для некоторых стехиометрических газопаровых смесей
при начальном давлении 0,1 МПа и температуре 298,15 К

Горючее	Формула	$\varphi_{ст}$, % об.	π_e	γ_b	E_i	T_{b_i}	$S_{и}$, м/с
Метан	CH_4	9,355	8,71	1,25	7,44	2204	0,305
Пропан	C_3H_8	3,964	9,23	1,25	7,90	2245	0,320
<i>n</i> -Гексан	C_6H_{14}	2,126	9,38	1,25	8,03	2252	0,290
<i>n</i> -Гептан	C_7H_{16}	1,842	9,40	1,25	8,05	2253	0,295
Ацетон	C_3H_6O	4,907	9,28	1,25	7,96	2242	0,315
Изопропанол	C_3H_8O	4,386	9,34	1,24	8,00	2220	0,295
Бензол	C_6H_6	2,679	9,30	1,25	7,99	2321	0,360

Для многокомпонентных смесей и смесей, проведение расчетов по которым по тем или иным причинам вызывает трудности, определение максимального относительного давления π_e , а следовательно, и коэффициента расширения E_i по формуле (8) проводят по соответствующей методике ГОСТ 12.1.044.

5.6. Формулы для расчета безопасной площади разгерметизации оборудования и помещений, в которых обращается горючая пыль

Расчет безопасной площади разгерметизации низкопрочных замкнутых оболочек, не выдерживающих избыточное давление свыше 10 кПа, производится по формуле

$$F = CF_s / P_{\max и}^{0,5}, \quad (5.10)$$

где F – безопасная площадь разгерметизации (суммарная площадь легкобрасываемых покрытий), м²;

C – константа, определяемая по табл. 5.3;

F_s – площадь внутренней поверхности замкнутой оболочки, м²;

$P_{\max и}$ – максимально допустимое избыточное давление взрыва пыли в защищаемом объеме при наличии истечения через сбросные отверстия, кПа.

Уровень взрывопожароопасности пыли зависит от индекса взрывопожароопасности K_{st} и определяется по табл. 5.4.

Таблица 5.3

Уровень взрывопожароопасности пыли	C , кПа ^{0,5}
1	0,26
2	0,30
3	0,51

Таблица 5.4

Диапазон значений индекса взрывопожароопасности пыли, МПа · м/с	Уровень взрывопожароопасности пыли
$0 < K_{st} \leq 20$	1
$20 < K_{st} \leq 30$	2
$30 < K_{st}$	3

Удельная масса легкобрасываемого покрытия, как правило, не должна превышать 4,0 кг/м².

Расчет безопасной площади разгерметизации высокопрочных замкнутых оболочек, находящихся под давлением, близким к атмосферному, выдерживающих избыточное давление свыше 10 кПа, производится по формуле

$$F = aV^{0,666} (9,87K_{st})^b (0,01P_{\max и})^c, \quad (5.11)$$

где $a = 0,000571 \exp(0,0197 P_{s,и})$;

$b = 0,978 \exp(-0,001037 P_{s,и})$;

$c = -0,687 \exp(0,00223 P_{s,и})$;

K_{st} – индекс взрывопожароопасности пыли, МПа · м/с;

$P_{s,и}$ – избыточное давление вскрытия сбросного сечения, кПа;

V – объем защищаемой емкости, м³.

Область применения расчета по формуле (5.11)

$$L/D < 5; \quad 1 < V < 1000; \quad 10 < P_{\max и} < 200;$$

$$5 < K_{st} < 60; \quad P_{s,и} > 5; \quad P_{\max и} - P_{s,и} > 5$$

$$95 < P_i < 120,$$

где L, D – соответственно линейный и поперечный размеры оболочки, м;

P_i – абсолютное начальное давление горючей смеси в аппарате, при котором происходит инициирование горения, кПа.

Удельная масса запорного элемента, как правило, не должна превосходить 12,0 кг/м². При необходимости установки сбросных каналов их диаметр должен быть не менее диаметра сбросного отверстия при минимальной длине и количестве изгибов. Установка сбросного канала приводит к существенному росту требуемой величины $P_{\max и}$.

5.7. Формулы для расчета безопасной площади разгерметизации оборудования и помещений, в которых обращаются гибридные смеси

Для гибридной взрывоопасной смеси (горючего газа с горючей пылью) расчет ведут по более опасной компоненте (обычно газу).

Пример

Данные для расчета. Технологический аппарат объемом 12 м³ рассчитан на максимальное избыточное давление 0,2 МПа (абсолютное давление 0,3 МПа) и предназначен для работы при атмосферном давлении с содержащей ацетон реакционной массой. Аппарат имеет рубашку обогрева (80 °С). Необходимо определить безопасную площадь разгерметизации. Нормальная скорость распространения пламени наиболее опасной стехиометрической ацетон-воздушной смеси при атмосферном давлении и температуре (298 К) составляет 0,32 м/с. Следовательно, при температуре в аппарате 80 °С (353 К) максимальная нормальная скорость распространения пламени в соответствии с (5.6)

$$S_{н} = 0,32 (353/298)^2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1} \approx 0,45 \text{ м/с}.$$

Для стехиометрической ацетон-воздушной смеси $\pi_e = 9,28$; $E_i = 7,96$; $M_i = 58 \cdot 0,05 + 28 \cdot 0,95 = 29,5$ кг/моль. Так как $\pi_m = 0,3/0,1 = 3$ превы-

шает значение 2, то для вычисления безопасной площади разгерметизации воспользуемся критериальным соотношением (5.2). Выражение для комплекса подобия W в соответствии с (5.3) и определенными значениями $S_{и_i}$ и M_i может быть записано в виде

$$W = \frac{1}{\sqrt[3]{36 \cdot 3,14}} \cdot \frac{\mu F}{12^{0,667}} \sqrt{\frac{8314 \cdot 353}{29,5}} \cdot \frac{1}{0,45} \approx 28\mu F,$$

где F – площадь разгерметизации, м^2 .

Следовательно, критериальное соотношение (5.2) относительно F можно записать в виде

$$F \geq \frac{\chi}{\mu} \cdot \frac{0,9}{28} \cdot \frac{(9,28 - 3)}{\sqrt{7,96}} = 0,07 \cdot \frac{\chi}{\mu} \text{ м}^2.$$

С увеличением степени негерметичности сосуда объемом около 10 м^3 $F/V^{0,667}$ от 0,025 до 0,25 значение фактора турбулентности возрастает от 2,5 до 5. Предположим, что $\chi = 2,5$ при $\mu = 1$. При этом минимальная площадь разгерметизации $F = 0,175 \text{ м}^2$, а значит $F/V^{0,667} = 0,03$. Последнее подтверждает, что значение фактора турбулентности выбрано правильно. Действительно, если бы мы предположили, что $\chi = 5$, то получили бы слишком низкое для такой степени турбулентности значение $F/V^{0,667} = 0,06$ (вместо 0,25). Итак, безопасная площадь разгерметизации составляет в данном случае $0,175 \text{ м}^2$, что равнозначно сбросному отверстию диаметром 0,47 м.

6. СТАДИИ ПОЖАРА

I фаза (10 мин) – *начальная стадия*, включающая переход возгорания в пожар (1–3 мин) и рост зоны горения (5–6 мин).

В течение первой фазы происходит преимущественно линейное распространение огня вдоль горючего вещества или материала. Горение сопровождается обильным дымовыделением, что затрудняет определение места очага пожара. Среднеобъемная температура повышается в помещении до 200 °С (темп увеличения среднеобъемной температуры в помещении 15 °С в 1 мин). Приток воздуха в помещение увеличивается. Поэтому очень важно в это время обеспечить изоляцию помещения от наружного воздуха (не рекомендуется открывать или вскрывать окна и двери в горящее помещение. В некоторых случаях, при достаточном обеспечении герметичности помещения, наступает самозатухание пожара).

Если очаг пожара виден, необходимо по возможности принять меры к тушению пожара первичными средствами пожаротушения.

Продолжительность первой фазы составляет 2–30 % продолжительности пожара.

II фаза (30–40 мин) – *стадия объемного развития пожара*.

Бурный процесс горения; температура внутри помещения поднимается до 250–300 °С, начинается объемное развитие пожара. Пламя заполняет весь объем помещения, и процесс распространения пламени происходит уже не поверхностно, а во всем объеме помещения. Разрушение остекления происходит через 15–20 мин от начала пожара. Из-за разрушения остекления приток свежего воздуха резко увеличивает развитие пожара. Темп увеличения среднеобъемной температуры составляет до 50 °С в 1 мин. Температура внутри помещения повышается с 500–600 до 800–900 °С.

Стабилизация пожара происходит на 20–25 минуте от начала пожара и продолжается в течение 30–60 мин.

III фаза – *затухающая стадия пожара*.

Догорание в виде медленного тления.

Температурное поле пожара неравномерно в объеме помещения. Так, при горении бензина на площади 2 м² в помещении объемом 100 м³ на 15 минуте в зоне горения температура составила 900 °С, а в самой удаленной точке 200 °С. При этом у потолка температура достигала 800 °С и более, по центру высоты помещения – 500 °С, у пола – 200 °С.

Нагретые продукты горения поднимаются к верхней части помещения, что особенно характерно для помещений с высокими потолками.

Поэтому в условиях задымленного помещения наилучшая видимость и соответственно наименьшая концентрация отравляющих веществ у припольного пространства.

Исходя из анализа динамики развития пожара, можно сделать некоторые выводы:

1. Автоматические системы пожарной сигнализации и тушения пожара должны срабатывать в начале первой фазы развития пожара. В этой фазе пожар еще не достиг максимальной интенсивности развития.

При отсутствии автоматических систем сигнализации о пожаре время сообщения в пожарную охрану значительно увеличивается.

2. Тушение пожара подразделениями пожарной охраны начинается, как правило, через 10–15 мин после получения извещения о пожаре, т.е. через 15–20 мин после его возникновения (3–5 мин до срабатывания системы сигнализации о пожаре; 5–10 мин – следование на пожар; 3–5 мин – подготовка к тушению пожара). К этому моменту пожар, как правило, переходит во вторую стадию.

В зависимости от характеристики горючей среды или горящего объекта пожары подразделяются на следующие классы и подклассы (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Классы пожаров

Класс	Характеристика класс	Подкласс	Характеристика подкласса
A	Горение твердых веществ	A1	сопровождается тлением (древесина, бумага, текстиль)
		A2	без тления (пластмасса, каучук)
B	Горение жидких веществ	B1	нерастворимых в воде (бензин, нефтепродукты и др.)
		B2	растворимых в воде (спирты, ацетон и др.)
C	Горение газов	—	бытовой газ, водород, аммиак, пропан и др.
D	Горение металлов и металлосодержащих веществ	D1	легких металлов (Al, Mg и их сплавов)
		D2	щелочных металлов
		D3	металлосодержащих веществ (металлоорганика, гидриды металлов и др.)
(E)	Горение электроустановок	—	электроизоляционные материалы оборудования под напряжением

2. Огнестойкость зданий насосных станций.

Характеристики огнестойкости строительных конструкций. Взаимосвязь огнестойкости конструкций и степени огнестойкости зданий.

Классификация зданий и сооружений по пожарной опасности производится в соответствии со СНИП 21-07-97.

Классификация начинается со строительных конструкций.

Строительные конструкции характеризуются **огнестойкостью и пожарной опасностью**.

Показателем огнестойкости является предел огнестойкости строительных конструкций, который устанавливается по времени (в минутах) наступления одного или последовательно нескольких, нормируемых для данной конструкции, признаков предельных состояний:

- потери несущей способности (К);
- потери целостности (Е);
- потери теплоизолирующей способности (I).

Пределы огнестойкости строительных конструкций и их условные обозначения устанавливаются по ГОСТ 30247. При этом предел огнестойкости окон устанавливается только по времени наступления потери целостности (Е).

По пожарной опасности строительные конструкции подразделяются на 4 класса, которые устанавливаются по ГОСТ 30403:

- КО (непожароопасные);
- К1 (малопожароопасные);
- К2 (умереннопожароопасные);
- К3 (пожароопасные).

ГОСТ 30247.0 устанавливает общие требования к методам испытаний строительных конструкций и элементов инженерных систем (далее конструкций) на огнестойкость при стандартных условиях теплового воздействия и применяется для установления пределов огнестойкости.

Предельное состояние конструкции по огнестойкости – состояние конструкции, при котором она утрачивает способность сохранять одну из своих противопожарных функций.

Сущность методов заключается в определении времени от начала теплового воздействия на конструкцию до наступления одного или последовательно нескольких предельных состояний по огнестойкости с учетом функционального назначения конструкции.

Различают следующие основные виды предельных состояний строительных конструкций по огнестойкости:

- *Потеря несущей способности (К)* вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций.
- *Потеря целостности (Е)* в результате образования в конструкциях сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения или пламя.
- *Потеря теплоизолирующей способности (I)* вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции до пре-

дельных для данной конструкции значений: в среднем более чем на 140 °С или в любой точке более чем на 180 °С в сравнении с температурой конструкции до испытания или более 220 °С независимо от температуры конструкции до испытания.

Для нормирования пределов огнестойкости несущих и ограждающих конструкций по ГОСТ 30247.1 используются следующие предельные состояния:

- для колонн, балок, ферм, арок и рам – только потеря несущей способности конструкции и узлов – R;
- для наружных несущих стен и покрытий – потеря несущей способности и целостности – R, E, для наружных ненесущих стен – E;
- для ненесущих внутренних стен и перегородок – потеря теплоизолирующей способности и целостности – E, I;
- для несущих внутренних стен и противопожарных преград – потеря несущей способности, целостности и теплоизолирующей способности – R, E, I.

Обозначение предела огнестойкости строительной конструкции состоит из условных обозначений, нормируемых для данной конструкции предельных состояний, цифры, соответствующей времени достижения одного из этих состояний (первого по времени) в минутах.

Например:

R 120 – предел огнестойкости 120 минут – по потере несущей способности;

RE 60 – предел огнестойкости 60 минут – по потере несущей способности и потере целостности независимо от того, какое из двух предельных состояний наступит ранее;

REI 30 – предел огнестойкости 30 минут – по потере несущей способности, целостности и тепло-изолирующей способности независимо от того, какое из двух предельных состояний наступит ранее.

Если для конструкции нормируются (или устанавливаются) различные пределы огнестойкости по различным предельным состояниям, обозначение предела огнестойкости состоит из двух или трех частей, разделенных между собой наклонной чертой. Например: R 120/EI 60.

ГОСТ 30403 устанавливает требования к методу испытания строительных конструкций на пожарную опасность.

Сущность метода заключается в определении показателей пожарной опасности конструкции при ее испытании в условиях теплового воздействия, установленных данным стандартом в течение времени, определяемого требованиями к этой конструкции по огнестойкости.

При установлении класса пожарной опасности конструкции учиты-

вают:

- наличие теплового эффекта от горения или термического разложения материалов;
- наличие пламенного горения;
- размеры повреждения конструкции и составляющих ее материалов;
- характеристики пожарной опасности составляющих конструкцию материалов.

Конструкции подразделяются на 4 класса по пожарной опасности в соответствии с табл. 6.2.

Таблица 6.2

Условия отнесения конструкций к классам пожарной опасности

Класс	Допускаемый размер повреждения конструкций, см		Наличие		Допускаемые характеристики пожарной опасности поврежденного материала		
	вертикальных	горизонтальных	теплого эффекта	горения	Группа		
					горючести	воспламеняемости	дымообразующей способности
К0	0	0	н.д.	н.д.	–	–	–
К1	До 40 « 40	До 25 « 25	н.д.	н.д.	н.р.	н.р.	н.р.
			н.р.	н.д.	Г2	В2	Д2
К2	Более 40, но до 80 То же	Более 25, но до 50 То же	н.д.	н.д.	н.р.	н.р.	н.р.
			н.р.	н.д.	Г3	В3	Д2
К3	Не регламентируется						

Одна и та же конструкция может принадлежать к различным классам пожарной опасности в зависимости от времени теплового воздействия. Например:

К0 (15) – конструкция класса К0 при времени теплового воздействия 15 мин;

К1 (30)/К3 (45) – конструкция класса К1 при времени теплового воздействия 30 мин и класса К3 при времени теплового воздействия 45 мин.

Здания, а также части зданий, выделенные противопожарными стенами, – пожарные отсеки (далее – здания) – подразделяются по степени огнестойкости, классам конструктивной и функциональной пожарной опасности.

Степень огнестойкости здания – классификационная характеристика, определяемая показателями огнестойкости строительных конструкций.

Здания и пожарные отсеки подразделяются по степеням огнестойкости согласно табл. 6.3.

Таблица 6.3

**Взаимосвязь степени огнестойкости зданий
с пределами огнестойкости строительных конструкций**

Степень огнестойкости здания	Предел огнестойкости строительных конструкций, не менее						
	Несущие элементы здания	Наружные несущие стены	Перекрытия междуэтажные (в том числе чердачные и над подвалами)	Элементы бесчердачных покрытий		Лестничные клетки	
				Настилы (в том числе с утеплителем)	Фермы, балки, прогоны	Внутренние стены	Марши и площадки лестниц
I	R 120	E 30	REI 60	RE 30	R 30	REI 120	R 60
II	R 90	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 90	R 60
III	R 45	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 60	R 45
IV	R 15	E 15	REI 15	RE 15	R 15	REI 45	R 15
V	Не нормируется						

К несущим элементам здания относятся конструкции, обеспечивающие его общую устойчивость и геометрическую неизменяемость при пожаре, – несущие стены, рамы, колонны, балки, ригели, фермы, арки, связи, диафрагмы жесткости и т.п.

Пределы огнестойкости заполнения проемов (дверей, ворот, окон и люков) не нормируются, за исключением специально оговоренных случаев и заполнения проемов в противопожарных преградах.

В случаях когда минимальный требуемый предел огнестойкости конструкции указан R 15 (RE 15, REI 15), допускается, применять незащищенные стальные конструкции независимо от их фактического предела огнестойкости, за исключением случаев, когда предел огнестойкости несущих элементов здания по результатам испытаний составляет менее R 8.

Класс конструктивной пожарной опасности здания определяется степенью участия строительных конструкций в развитии пожара и образовании его опасных факторов. Здания и пожарные отсеки по конструктивной пожарной опасности подразделяются на классы согласно таблице 6.4.

Таблица 6.4

Классы конструктивной пожарной опасности зданий

Класс конструктивной пожарной опасности здания	Класс пожарной опасности строительных конструкций, не ниже				
	Несущие стержневые элементы (колонны, ригели, фермы и др.)	Стены наружные с внешней стороны	Стены, перегородки, перекрытия и бесчердачные покрытия	Стены лестничных клеток и противопожарные преграды	Марши и площадки лестниц в лестничных клетках
C0	K0	K0	K0	K0	K0
C1	K1	K2	K1	K0	K0
C2	K3	K3	K2	K1	K1
C3	Не нормируется			K1	K3

7. МОЛНИЕЗАЩИТА ОБЪЕКТА

Расчет выполняется согласно документу РД 34.21.122.87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений».

Одной из причин взрыва на защищаемом объекте может быть атмосферное электричество – прямые удары молнии, вследствие чего необходима ее отдельная молниезащита.

Молниезащита – комплекс защитных устройств, предназначенных для обеспечения безопасности людей, сохранности зданий и сооружений, оборудования и материалов от возможных взрывов, загораний и разрушений, вызванных электричеством, тепловым или механическим воздействием молний.

7.1. Молниезащита мельницы

Определяем необходимость выполнения молниезащиты и ее исполнение для здания мельницы IV степени огнестойкости в местности со среднегодовой продолжительностью гроз 50 г/год и типом грунта суглинков с эквивалентным удельным сопротивлением 500 Ом · м.

В соответствии с назначением зданий необходимость выполнения молниезащиты и ее категория, а при использовании стержневых молниеотводов – тип зоны защиты определяют в зависимости от среднегодовой продолжительности гроз в месте нахождения здания, а также от ожидаемого количества поражений его молнией в год.

Согласно РД 32.21.122.87 «Инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений» для мельницы выполняют молниезащиту III категории. В данном случае в качестве молниеотводов требуется максимально использовать вытяжные трубы, водопроводные башни, и другие возвышающиеся наземные предметы.

7.2. Оценка среднегодовой продолжительности гроз и ожидаемого количества поражений молнией здания мельницы

Среднегодовая продолжительность гроз в часах определяется по утвержденным для некоторых областей региональными картами продолжительности гроз, или по средним многолетним (порядка 10 лет) данным метеостанций, ближайшей от места нахождения здания и сооружения.

Ожидаемое количество поражений в год определяют по формуле:

$$N = (S + 6 \cdot h) \cdot (L + 6 \cdot h) \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (7.1)$$

где S – ширина защищаемого здания, м;
 h – наибольшая высота здания или сооружения, м;
 L – длина защищаемого здания, м;
 n – среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности в месте расположения здания.

Пример

Ожидаемое количество поражений молнией в год для здания мельницы прямоугольной формы длиной 120 м, шириной 45 м, высотой 7 м определяют:

$$N = (45 + 6 \cdot 7) \cdot (120 + 6 \cdot 7) \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 56\,376 \cdot 10^{-6} = 0,056376.$$

Полученное значение показывает, что поражение молнией здания мельницы происходит один раз в 20 лет.

7.3. Построение зоны защиты

Защита от прямых ударов молнии здания мельницы III категории с неметаллической кровлей выполняется тросовыми молниеотводами, обеспечивающими зону защиты Б.

Установка молниеприемников и молниеотводов на самом здании мельницы не рекомендуется, поскольку здание IV степени огнестойкости выполнено из сгораемых материалов облегченной конструкции (по взрывозащите). Таким образом, целесообразно выполнить молниезащиту одиночным тросовым молниеотводом.

Зона защиты одиночного тросового молниеотвода приведена на рис. 7.1. Она представляет собой двускатную плоскость с приставленными полуконусами на концах. Горизонтальное сечение зоны защиты на высоте защищаемого сооружения h_x , представляет собой прямоугольник с приставленными к малым сторонам полукругами радиусом r_x . С учетом стрелы провеса троса сечением 35–50 мм² при известной высоте опор $h_{\text{оп}}$ и длине пролета a высота троса определяется:

$$h = h_{\text{оп}} - 2, \text{ при } a < 120 \text{ м}, \quad (7.2)$$

$$h = h_{\text{оп}} - 3 \text{ при } 120 < a < 150. \quad (7.3)$$

Зона защиты одиночного тросового молниеотвода имеет следующие габаритные размеры.

Высота зоны защиты:

$$h_0 = 0,92 \cdot h. \quad (7.4)$$

Радиус зоны защиты на уровне земли:

$$r_0 = 1,7 \cdot h. \quad (7.5)$$

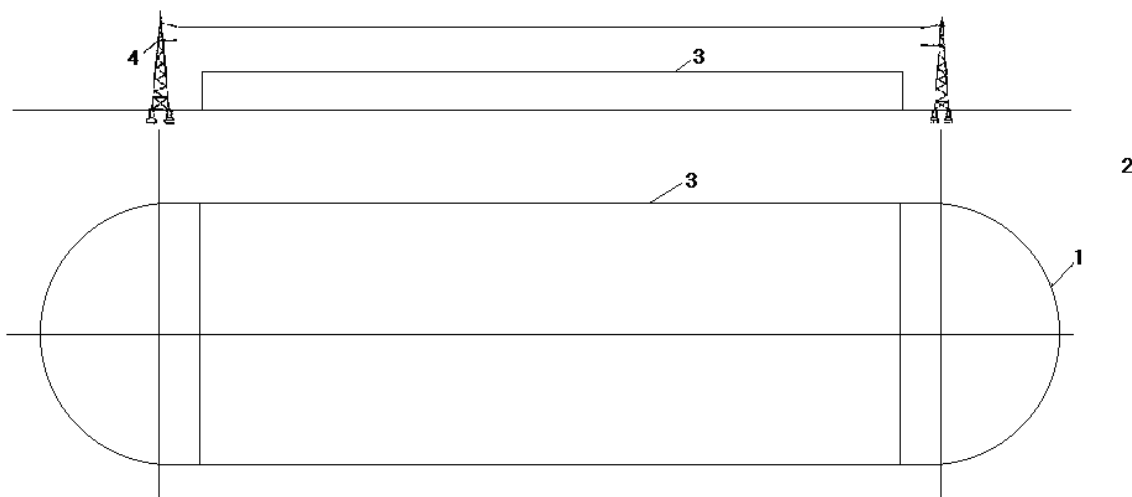


Рис. 7.1. Общий вид молниезащиты здания мельницы. М 1 : 1000

Для зоны Б высота одиночного тросового молниеотвода при известных значениях высоты здания и половин ширины определяют по формуле:

$$h = (r_x + 1,85 \cdot h_x) / 1,7. \quad (7.6)$$

Расположив опоры у торцов здания, принимают, что радиус зоны защиты на уровне высоты здания r_x , равен половине ширины здания:

$$r_x = S / 2. \quad (7.7)$$

Получаем $r_x = 45 / 2 = 22,5$ м,

высота тросового молниеотвода $h = (22,5 + 1,85 \cdot 7) / 1,7 = 20,85$ м.

Так как для III категории молниезащиты при установке отдельно стоящих молниеотводов расстояние от них по воздуху и в земле до защищаемого объекта и вводимых в него подземных коммуникаций не нормируется, то расстояние опор от торцов здания принимают равным 5 м. Тогда длина пролета троса $a = 120 + 2 \cdot 5 = 130$ м.

Исходя из условия (7.3) $120 < a = 130 < 150$, определяем высоту опор,

преобразуя формулу (7.3) $h_{оп} = 20,85 + 3 = 23,85$ м.

Высота зоны защиты $h_0 = 0,92 \cdot 20,85 = 19,182$ м.

Радиус зоны защиты на уровне земли $r_0 = 1,7 \cdot 20,85 = 35,445$ м.

Фундаментом и заземлителем одновременно служит конструкция из 4х железобетонных подножников. Защита от заноса высокого потенциала по подземным коммуникациям осуществляется путем их присоединения на вводе в здание к железобетонному фундаменту здания.

Таким образом, определили параметры конструкции молниеотводов:

- высота тросового молниеотвода 20,85 м;

- высота опоры 23,85 м;
- длина пролета троса 130 м;
- высота зоны защиты 19,182 м;
- радиус защиты на уровне земли 35,445 м.

8. ЗАЩИТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ УСТАНОВКАМИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Выбор огнетушащих веществ и составов для тушения пожаров необходимо проводить в соответствии с данными таблице 8.1.

Технико-экономическое обоснование принятого решения должно базироваться на анализе пожарной опасности с учетом физико-химических свойств обращающихся в производственном процессе веществ и материалов.

Таблица 8.1

Классификация пожаров

Класс пожара	Характеристика горючей среды или горящего объекта	Рекомендуемые огнетушащие составы и средства
A	Обычные твердые горючие материалы (дерево, уголь, бумага, резина, текстильные материалы и др.)	Все виды огнетушащих средств (только на начальной стадии), водопенные огнетушащие вещества, вода со смачивателями
B	Горючие жидкости и плавящиеся при нагревании материалы (мазут, бензин, лаки, масла, спирт, стеарин, каучук, некоторые синтетические материалы и др.)	Распыленная вода, все виды водопенных составов, составы на основе галогеналкилов, порошки, газоаэрозольные составы
C	Горючие газы (водород, ацетилен, углеводороды и др.)	Газовые составы: инертные разбавители (N ₂ , CO ₂), галогеноуглеводороды, порошки, вода аэрозольного распыла с добавками и без, вода как средство охлаждения, газоаэрозольные составы
D	Металлы и их сплавы (калий, натрий, алюминий, магний)	Порошки (при спокойной подаче на горящую поверхность)
E	Оборудование под напряжением	Порошки, CO ₂ , хладоны, газоаэрозольные составы

Тип и параметры установок пожаротушения следует выбирать в соответствии с действующим нормативным документом по противопожарной защите зданий и сооружений. Рекомендуемый перечень нормативного документа приведен в таблице 8.2.

Таблица 8.2

Тип установок	Огнетушащее вещество (состав)	Способ пожаротушения	Нормативный документ
Установки водяного пожаротушения	Вода (компактная и распыленная)	По площади, локальный по площади	ГОСТ Р 50680; ГОСТ 12.3.046; СНиП 2.04.09;
Установки парового пожаротушения	Водяной пар	Объемный	ГОСТ 12.3.046
Установки пенного пожаротушения	Растворы пенообразователей	По площади, локальный по площади, локальный по объему	ГОСТ Р 50800; ГОСТ 12.3.046; СНиП 2.04.09; СНиП 2.11.03
Установки порошкового пожаротушения	Огнетушащие порошковые составы	По площади, по объему, локальный по площади, локальный по объему	ГОСТ 12.3.046; ГОСТ 26952
Установки газового пожаротушения	Газовые составы	Объемный, локальный по объему	ГОСТ Р 50969; ГОСТ 12.3.046; СНиП 2.04.09
Установки аэрозольного пожаротушения	Аэрозоли солей щелочных и щелочно-земельных металлов	Объемный	ГОСТ 12.3.046; СНиП 2.04.09; НПБ 21-94
Примечание: Допускаются к применению установки пожаротушения, не отраженные в данном приложении, по разрешению органов государственного пожарного надзора для конкретного технологического процесса.			

9. УСТАНОВКИ ГАЗОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ – ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ

9.1. Основные понятия.

Классификация установок пожаротушения

В соответствии с ГОСТ 12.2.047-86 установка пожаротушения – это совокупность стационарных технических средств для тушения очагов пожара в результате подачи огнетушащего вещества.

Установки пожаротушения подразделяют:

- по степени автоматизации:
 - на автоматические – установка пожаротушения, автоматически срабатывающая при превышении контролируемым фактором (факторами) пожара установленных пороговых значений в защищаемой зоне;
 - автоматизированные – установка пожаротушения, автоматически обнаруживающая загорание, выдающая извещение о нем и приводящаяся в действие вручную;
 - ручные – только ручной способ приведения в действие;
- по виду огнетушащего вещества (ОТВ):
 - водяные;
 - пенные;
 - газовые;
 - порошковые;
 - аэрозольные;
 - комбинированные;
- по способу тушения:
 - объемные – установка создает не поддерживающую горение среду во всем объеме защищаемого помещения;
 - поверхностные – установка воздействует на горящую поверхность;
 - локально-объемные – установка создает не поддерживающую горение среду в части объема помещения, например, в объеме, где расположена отдельная технологическая единица;
 - локально-поверхностные – установка воздействует на часть поверхности защищаемого помещения или отдельную технологическую единицу;
- по инерционности:
 - малоинерционные – инерционность не более 3 с;
 - средней инерционности – от 3 до 180 с;
 - высокой инерционности – более 180 с.

Под инерционностью установки понимают время с момента достижения контролируемым фактором пожара (дым, тепло и т.п.) порога срабатывания чувствительного элемента до срабатывания установки (без учета временной задержки на эвакуацию и остановку технологического оборудования).

- по продолжительности действия:
 - импульсные – время подачи ОТВ менее 1 с;
 - кратковременного действия – от 1 до 600 с;
 - средней продолжительности действия – от 10 до 30 мин;
 - длительного действия – более 30 мин;
- по виду привода:
 - ручные;
 - электрические;
 - гидравлические;
 - пневматические;
 - с механическим приводом
 - или комбинацией перечисленных видов привода.

Автоматические установки пожаротушения условно разделяют на две составные части:

- технологическую;
- электротехническую.

Составные части АУП объединены общим алгоритмом работы.

Технологическая часть АУП содержит ОТВ, сосуды для его хранения и подачи, трубопроводы, насадки или распылители, другое оборудование. К технологической части АУП относят также побудительные системы.

Электротехническая часть АУП содержит приборы приемно-контрольные и приборы управления пожарные; шлейфы пожарной сигнализации и пожарные извещатели; соединительные и питающие линии технических средств пожарной сигнализации и аппаратуры управления и др.

9.2. Объекты защиты автоматическими установками пожаротушения

В соответствии с ГОСТ 12.3.046-91 необходимость применения и выбор типа автоматических установок пожаротушения (АУП) обуславливаются уровнем пожарной опасности конкретного объекта. При этом учитывают:

- скорость развития пожара в начальной стадии;
- экономическую целесообразность применения установки;

- время прибытия пожарных подразделений к месту возможного пожара;
- нормы расхода ОТВ на пожаротушение.

Приложение А свода правил СП5.13130.2009, является основным документом, который определяет необходимость применения АУП и установок пожарной сигнализации на объектах защиты.

9.3. Выбор типа автоматических установок пожаротушения

Выбор типа АУП может быть осуществлен с применением рекомендаций. Рекомендации не распространяются на АУП для зданий и сооружений, проектируемых по специальным нормам, зданий из легких металлических конструкций, ряда складских зданий и установок блокирования и завесы.

Приведенные в рекомендациях алгоритм и методика выбора АУП могут быть использованы на стадии предпроектных решений.

9.4. Автоматические установки газового пожаротушения

9.4.1. Область применения

Автоматические установки газового пожаротушения (АУГП) предназначены для создания не поддерживающей горение среды в защищаемом объеме. Применяется объемный или локально-объемный способ тушения.

АУГП практически не причиняют ущерб защищаемому объекту, поэтому их применяют для защиты вычислительных центров и телефонных узлов, библиотек, архивов, музеев, деньгохранилищ банков, ряда складов в закрытых помещениях, а также камер окраски, пропитки, сушки и др. АУГП предпочтительны для тушения горючих жидкостей и твердых материалов, горение которых достаточно долго не переходит в тление. Они могут также успешно применяться для тушения пожара газов, если в условиях тушения не образуется взрывопожароопасной газовой атмосферы.

По распространению УГП стоят на третьем месте после водяных и пенных установок и составляют пятую часть от общего количества установок пожаротушения.

Установки газового пожаротушения (далее по тексту раздела – установки) применяются для ликвидации пожаров классов А, В, С по ГОСТ 27331 и электрооборудования (электроустановок с напряжением

не выше указанного в ТД на используемые газовые огнетушащие вещества (ГОТВ)).

Следует учесть, что отечественные нормы НПБ 88-2001* не распространяются на проектирование автоматических установок пожаротушения и пожарной сигнализации:

- зданий и сооружений, проектируемых по специальным нормам;
- технологических установок, расположенных вне зданий;
- зданий складов с передвижными стеллажами;
- зданий складов для хранения продукции в аэрозольной упаковке;
- зданий складов с высотой складирования грузов более 5,5 м.

Область применения АУГП, проектирование которых производится по СП 5.13130.2009, ограничена следующими требованиями.

Установки объемного пожаротушения (кроме установок азотного и аргонного пожаротушения) следует применять для защиты помещений (оборудования), имеющих стационарные ограждающие конструкции с параметром негерметичности не более установленных значений.

Проектирование установок объемного пожаротушения для защиты помещений с большими значениями параметра негерметичности производится по дополнительным нормам, разрабатываемым для конкретного объекта.

Запрещается применение установок объемного углекислотного (CO₂) пожаротушения:

а) в помещениях, которые не могут быть покинуты людьми до начала работы установки;

б) в помещениях с большим количеством людей (50 человек и более).

Установки объемного пожаротушения (кроме установок азотного и аргонного пожаротушения) применяются для защиты помещений (оборудования), имеющих стационарные ограждающие конструкции с параметром негерметичности не более значений, указанных в таблице приложения Д СП5.13130.2009.

Для установок азотного и аргонного пожаротушения параметр негерметичности не должен превышать 0,001 м⁻¹.

Установки газового пожаротушения не должны применяться для тушения пожаров:

- волокнистых, сыпучих, пористых и других горючих материалов, склонных к самовозгоранию и тлению внутри объема вещества (древесные опилки, хлопок, травяная мука и др.);
- химических веществ и их смесей, полимерных материалов, склонных к тлению и горению без доступа воздуха;
- гидридов металлов и пирофорных веществ;

- порошков металлов (натрий, калий, магний, титан и др.).

Тушение пожаров класса С предусматривается, если при этом не происходит образования взрывоопасной атмосферы.

Требования к АУГП определены ГОСТ Р 50969-96 и СП5.13130.2009.

9.4.2. Классификация и состав установок газового пожаротушения

Требования к проектированию

Установки подразделяются:

- *по способу тушения*: объемного тушения, локального по объему;
- *по способу хранения* газового огнетушащего вещества: централизованные, модульные;
- *по способу включения* от пускового импульса: с электрическим, пневматическим, механическим пуском или их комбинацией.

Для АУГП могут быть предусмотрены следующие виды включения (пуска):

- автоматический (основной);
- дистанционный (ручной);
- местный (ручной).

Технологическая часть установок содержит сосуды с ГОТВ, трубопроводы и насадки. Кроме того, в состав технологической части установок могут входить побудительные системы.

В установках применяются газовые огнетушащие вещества (ГОТВ), указанные в таблице 9.1.

Таблица 9.1

Сжиженные газы	Сжатые газы
Двуокись углерода (CO ₂)	Азот (N ₂)
Хладон 23 (CF ₃ H)	Аргон (Ar)
Хладон 125 (C ₂ F ₅ H)	Инерген:
Хладон 218 (C ₃ F ₈)	азот – 52 % (об.)
Хладон 227ea (C ₃ F ₇ H)	аргон – 40 % (об.)
Хладон 318Ц (C ₄ F ₈ Ц)	двуокись углерода – 8 % (об.)
Шестифтористая сера (SF ₆)	
Хладон ТФМ-18И	Аргонит:
ФК-5-1-12 (CF ₃ CF ₂ C(O)CF(CF ₃) ₂)	азот (N ₂) – 50 % (об.)
Хладон 217J1(C ₃ F ₇ J)	аргон (Ar) – 50 % (об.)
Хладон CF3J	

В качестве газа-вытеснителя следует применять азот, технические характеристики которого соответствуют ГОСТ 9293. Допускается ис-

пользовать воздух, для которого точка росы должна быть не выше минус 40 °С.

Согласно ISO 14520 огнетушащими газами называют неэлектропроводные вещества, которые легко испаряются и не оставляют следов на оборудовании защищаемого объекта.

Основное достоинство газовых ОТВ заключается в том, что они не причиняют ущерба защищаемому объекту, а также пригодны для защиты дорогостоящего электрооборудования под напряжением.

Газовое пожаротушение является наиболее дорогостоящим, поэтому обычно применяется для тушения пожаров, которые нельзя или экономически нецелесообразно тушить другими ОТВ.

Газовые ОТВ (далее по тексту – ГОТВ) относятся к средствам объемного тушения.

Требования безопасности

При проектировании следует учитывать требования к безопасности применения АУГП. Первая ступень безопасности установлена нормативно.

Согласно п. 8.7.1 СП 5.13130.2009 установка газового пожаротушения должна обеспечивать **задержку выпуска ГОТВ** в защищаемое помещение при автоматическом и дистанционном пуске на время, необходимое для эвакуации из помещения людей, отключение вентиляции, кондиционирования и т.п.), закрытие заслонок (противопожарных клапанов и т.д.), но **не менее 10 с** от момента включения в помещении устройств оповещения об эвакуации.

Время эвакуации определяется расчетом и может превышать 10 с. При этом время полного закрытия заслонок (клапанов) в воздуховодах вентиляционных систем в защищаемом помещении не должно превышать указанного времени задержки в это помещение.

Согласно ISO 14520-1, п. G.4.3.1 [11] следует избегать любого воздействия хладонов (даже с концентрацией NOAEL) и продуктов их разложения. Требования установки систем оповещения о выпуске ОТВ и задержки выпуска направлены на предотвращение воздействия ОТВ на людей в процессе пожаротушения.

Сведения о продолжительности (времени) безопасного воздействия хладона 125 и хладона 227ea на человека в зависимости от концентрации газа приведены в рекомендациях ВНИИПО [5] и содержатся в таблице 9.2.

Таблица 9.2

Концентрация ГОТВ, % (об.)	Время безопасного воздействия, мин (по данным NFPA 2001)	
	хладона 125 (табл. 1 – 6.1.2.1 (b))	хладона 227ea (табл. 1 – 6.1.2.1 (c))
9,0	5,00	5,00
9,5	5,00	5,00
10,0	5,00	5,00
10,5	5,00	5,00
11,0	5,00	1,13
11,5	5,00	0,60
12,0	1,67	0,49
12,5	0,59	–
13,0	0,54	–
13,5	0,49	–

Сведения о безопасности применения инертных газов приведены в ISO 14520-1:

Следует избегать воздействия инертных газов, приводящих к снижению концентрации кислорода. Требования к применению систем оповещения о выпуске ОТВ и задержки выпуска направлены на предотвращение воздействия ОТВ на людей. Следующие дополнительные меры должны приниматься на случай отказа этих систем:

Разрешается использовать системы на основе инертных газов с концентрацией ниже 43 % (соответствующей концентрации кислорода 12 %, эквивалентной концентрации уровня моря) при выполнении следующих условий:

а) помещение с постоянным пребыванием людей;

б) обеспечивается время воздействия на людей не больше, чем 5 минут.

Разрешается использовать системы на основе инертных газов с концентрацией от 43 до 52 % (соответствующей концентрации кислорода от 12 до 10 %, эквивалентной концентрации уровня моря) при выполнении следующих условий:

а) помещение с постоянным пребыванием людей;

б) обеспечивается время воздействия на людей не больше, чем 3 минут.

Разрешается использовать системы на основе инертных газов с концентрацией от 52 до 62 % (соответствующей концентрации кислорода от 10 до 8 %, эквивалентной концентрации уровня моря) при выполнении следующих условий:

а) помещение с непостоянным пребыванием людей;

б) где необходимо, обеспечивается время воздействия на людей не больше, чем 30 секунд.

Наибольшую опасность для человека представляет огнетушащая среда с применением CO_2 . Согласно рекомендациям ВНИИПО такая среда в помещении *непригодна для дыхания*.

Безопасная для человека концентрация CO_2 ($\text{C}_{\text{от}}$, при времени экспозиции 1–3 мин) не превышает 5 % (об.), опасная для жизни при кратковременной экспозиции – выше 10 % (об.). Для тушения пожара требуется концентрация CO_2 больше 25 % (об.). Это свидетельствует о чрезвычайно высокой опасности для человека атмосферы, образующейся в помещении при тушении пожара CO_2 .

В связи с этим п. 8.1.2 СП 5.13130.2009 запрещает применение установок объемного углекислотного (CO_2) пожаротушения:

а) в помещениях, которые не могут быть покинуты людьми до начала работы установки;

б) в помещениях с большим количеством людей (50 человек и более).

Целесообразно отказаться от применения углекислотных установок пожаротушения для защиты помещения с постоянными рабочими местами (постоянным пребыванием людей).

Во всех случаях основным способом защиты персонала защищаемого помещения от вредного воздействия ГОТВ и продуктов его пиролиза является своевременная и организованная эвакуация до подачи ГОТВ. Эвакуация осуществляется по сигналам звуковых и световых оповещателей, которые размещены в защищаемом помещении в соответствии с СП5.13130.2009 и ГОСТ 12.3.046.

Проектирование АУГП (рисунок 9.1 и 9.2) производится в соответствии с СП5.13130.2009. При составлении проекта технологической части установки производят расчеты:

- массы ГОТВ в установке пожаротушения;
- диаметра трубопроводов установки, типа и количества насадков, времени подачи ГОТВ (гидравлический расчет). Методика расчета для углекислотной установки, содержащей изотермический резервуар, приведена в приложении СП5.13130. Для остальных установок расчет рекомендуется производить по методикам, согласованным в установленном порядке;

- площади проема для сброса избыточного давления в защищаемом помещении при подаче газового огнетушащего вещества.

Предпочтительно применять симметричную схему трубопроводной разводки АУГП, рисунок 9.2.

Для подачи хладонов и сжатых газов обычно применяют насадки радиального типа. Такие насадки подразделяют на стеновые (монтаж у стены) и потолочные (монтаж под потолком). Подача ГОТВ из стеновых насадков приводит к появлению реактивных сил значительной

(в отдельных случаях до 200 кг) величины. Поэтому стеновые насадки насадки необходимо правильно ориентировать в пространстве (с указанием в проекте) и фиксировать на узле крепления. Пример стенового и потолочного насадка радиального типа приведен на рисунке 9.3 и 9.4.

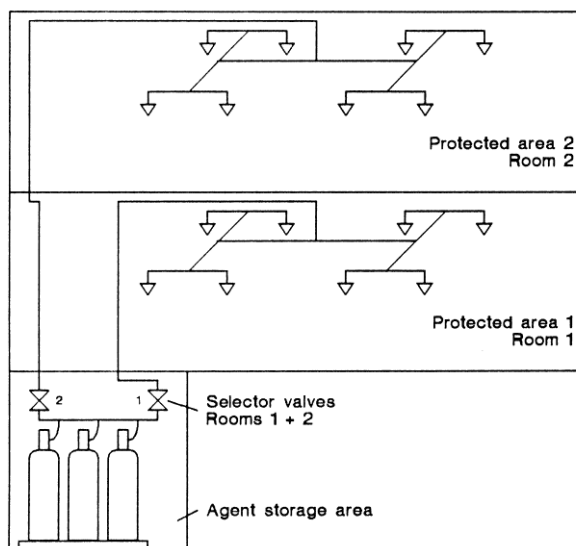


Рис. 9.1. Симметричная схема трубопроводной разводки АУГП

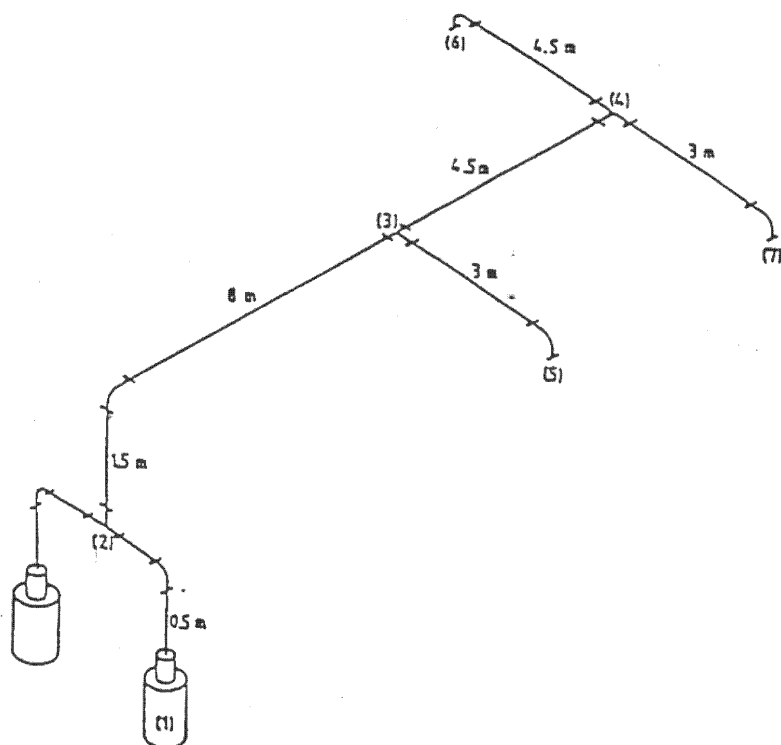


Рис. 9.2. Несимметричная схема трубопроводной разводки АУГП

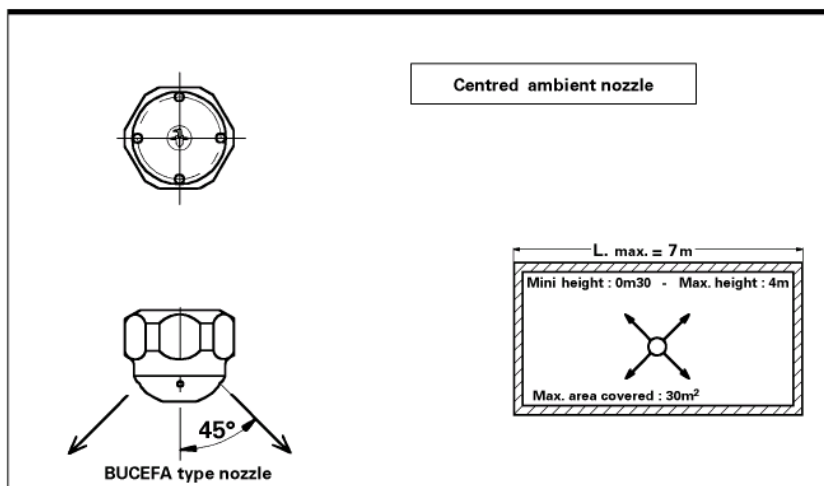


Рис. 9.3. Потолочный насадок радиального типа

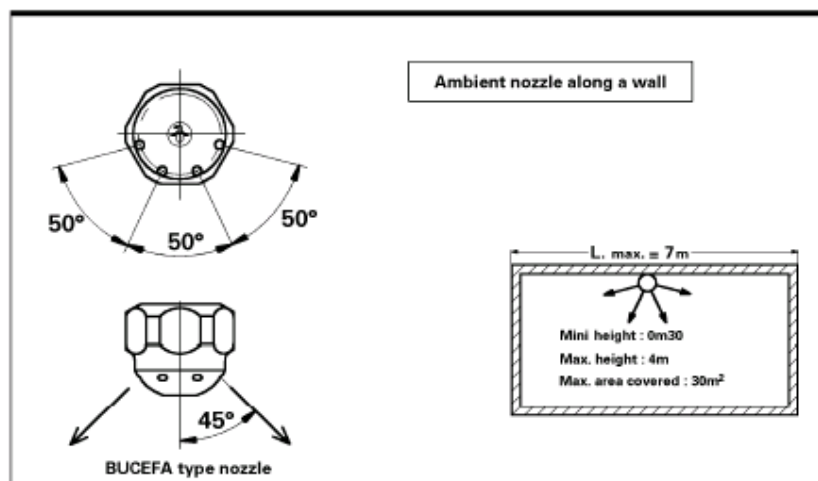
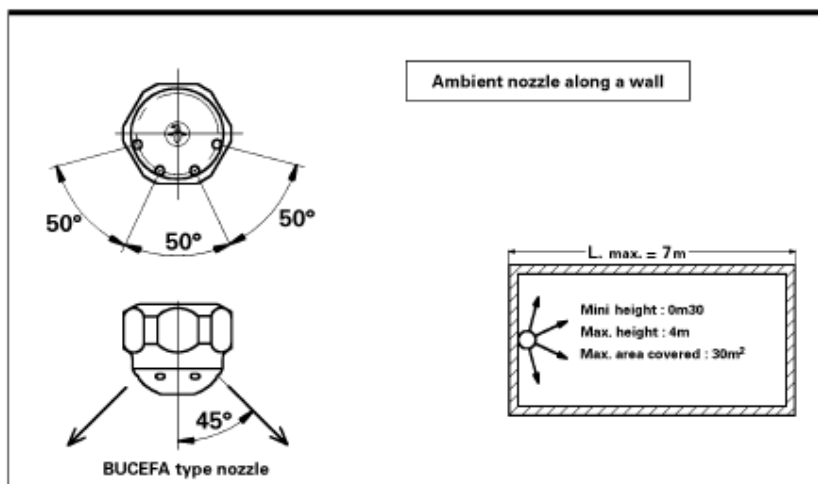


Рис. 9.4. Стеновой насадок радиального типа

Пример применения насадки радиального типа (потолочного) в защищаемом помещении и пространстве фальшпола приведен на рисунке 9.5.

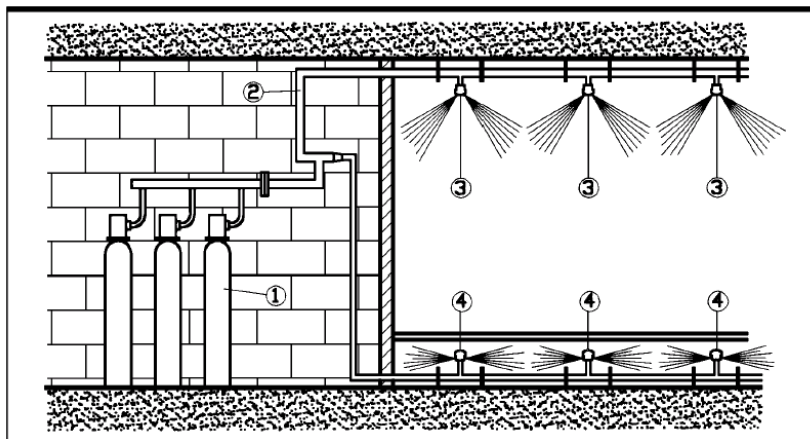


Рис. 9.5. Насадок радиального типа (потолочный) в защищаемом помещении и пространстве фальшпола

За рубежом проектные организации уделяют значительное внимание правильной ориентации тройников, особенно при подаче сжиженных ГОТВ. Пример правильной ориентации тройников приведен на рисунке 9.6.

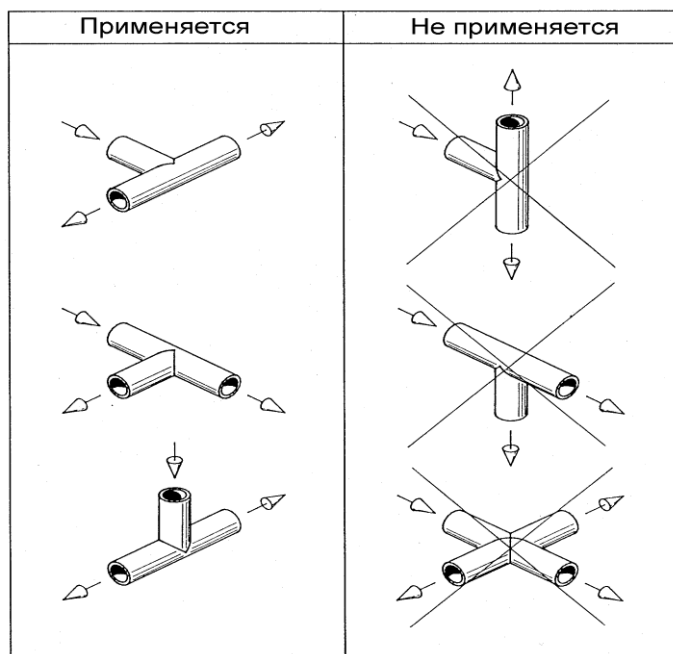


Рис. 9.6. Пример правильной ориентации тройников

Кроме того, зарубежные проектные организации уделяют внимание способу заужения сечения трубопровода (применяют конические переход с углом конуса до 30°), а также разделению потоков в тройниках (рисунок 9.7).

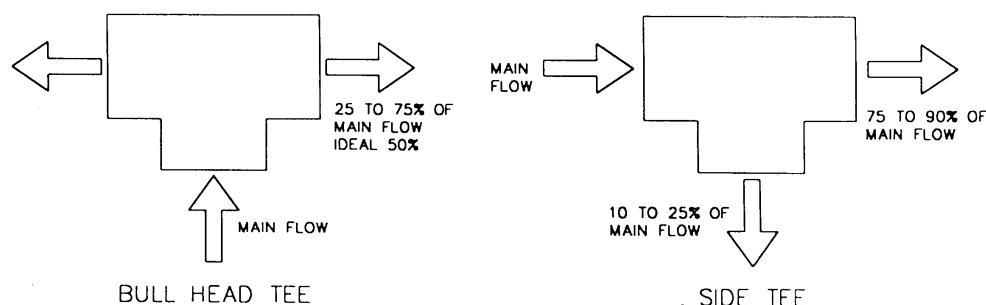


Рис. 9.7. Разделение потоков ГОТВ в тройниках

9.5. Требования к монтажу установок газового пожаротушения

9.5.1. Требования к комплектации

Насадки перед монтажом подвергают 100 % осмотру, проверяют отсутствие механических повреждений, нарушение антикоррозионных покрытий.

При транспортировании и хранении сосудов, наполненных газовым огнетушащим веществом (ГОТВ), следует:

- не превышать значения температуры окружающей среды, указанные в ТД на изделие;
- исключать воздействие прямых солнечных лучей на сосуд с ГОТВ;
- обеспечивать расстояние от сосудов с ГОТВ до приборов отопления не менее 1 м, от источников открытого огня – не менее 5 м.

9.5.2. Требования к монтажу трубопроводов

Конструкция трубопровода должна соответствовать проекту на автоматическую установку газового пожаротушения (АУГП).

Трубопроводы установок следует выполнять из стальных труб по ГОСТ 8732 или ГОСТ 8734, а также труб из латуни или нержавеющей стали.

Побудительные трубопроводы следует выполнять из стальных труб по ГОСТ 10704.

Соединения трубопроводов в установках пожаротушения должны быть сварными, резьбовыми, фланцевыми или паяными (последнее только для труб из латуни).

Для резьбового соединения труб следует применять фитинги из аналогичного материала. Применение фитингов из чугуна не допускается.

Конструкция трубопроводов должна обеспечивать возможность продувки для удаления воды после проведения гидравлических испытаний или слива накопившегося конденсата.

Трубопроводы должны быть надежно закреплены, преимущественно к капитальным конструкциям. Крепление трубы к трубе не допускается.

Узлы крепления трубопровода должны обеспечить прямолинейность участков и отсутствие провисания.

Применение узлов крепления трубопровода из чугуна не допускается.

Рекомендуемое расстояние между узлами крепления на горизонтальном участке трубопровода указано в таблице 9.3.

Таблица 9.3

Диаметр условного прохода трубопровода, мм	Максимальное расстояние между узлами крепления, м (по данным ISO 14520)
6	0,5
10	1,0
15	1,5
20	1,8
25	2,1
32	2,4
40	2,7
50	3,4
65	3,5
80	3,7
100	4,3
125	4,8
150	5,2
200	5,8

Вертикальные участки труб должны иметь индивидуальные узлы крепления с шагом не менее 1 м.

По окончании сборки трубопроводы следует испытать в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50969.

Трубопроводы и их соединения должны обеспечивать прочность при давлении, равном $1,25P_{раб}$ в течение 5 мин при давлении, равном

$P_{\text{раб}}$ (где $P_{\text{раб}}$ – максимальное давление ГОТВ в сосуде в условиях эксплуатации).

По результатам испытаний следует составить акт.

После гидравлических испытаний трубопроводы следует промыть или продуть, после чего просушить внутреннюю полость трубопровода до полного удаления влаги.

Трубопроводы установок должны быть заземлены (занулены). Знак и место заземления – по ГОСТ 21130.

Покраска трубопроводов производится в соответствии с ГОСТ Р 50969 после проведения испытаний на прочность.

9.5.3. Требования к монтажу насадков

Размещение и ориентация насадков на трубопроводе и в помещении должна соответствовать проекту на АУГП.

Не следует загромождать насадки элементами помещения.

Насадки для подачи ГОТВ (кроме азота), должны быть расположены на расстоянии не более 0,5 м от перекрытия (потолка, подвесного потолка, фальшпотолка) защищаемого помещения.

В одном помещении (защищаемом объеме) должны применяться насадки только одного типоразмера.

Выпускные отверстия насадков должны быть ориентированы таким образом, чтобы их отверстия для подачи ГОТВ не были непосредственно направлены в постоянно открытые проемы защищаемого помещения.

Выпускные отверстия насадков, монтируемых около стены, должны быть направлены в сторону защищаемого объема.

Трубопровод насадка, монтируемого около стены, должен быть ориентирован выпускными отверстиями в объем помещения и надежно закреплен на расстоянии не более 0,1 м от насадка. Узел крепления должен сохранять прочность при механическом усилии до 300 кг.

При расположении насадков в местах их возможного механического повреждения или засорения они должны быть защищены.

Окраска насадков не допускается.

9.5.4. Требования к монтажу сосудов

Наполнение сосудов (баллонов) ГОТВ следует, как правило, производить на наполнительных станциях. При этом наполнение сосудов ГОТВ и газом-вытеснителем по массе (давлению) должно соответствовать требованиям проекта на установку и технической документации на сосуды, ГОТВ, а также условиям их эксплуатации.

Сосуды следует размещать в соответствии с проектом. При этом сосуды не следует располагать в местах, где они могут быть подвергнуты опасному воздействию факторов пожара (взрыва), механическому, химическому или иному повреждению, прямому воздействию солнечных лучей.

Расстояние от сосудов до источников тепла (приборов отопления и т. п.) должно составлять не менее 1 м.

Сосуды в составе установки должны быть надежно закреплены в соответствии с технической документацией изготовителя.

При подключении двух и более модулей к коллектору (трубопроводу) следует применять модули одного типоразмера:

- с одинаковым наполнением ГОТВ и давлением газа-вытеснителя, если в качестве ГОТВ применяется сжиженный газ;
- с одинаковым давлением ГОТВ, если в качестве ГОТВ применяется сжатый газ;
- с одинаковым наполнением ГОТВ, если в качестве ГОТВ применяется сжиженный газ без газа-вытеснителя.

Подключение сосудов с ГОТВ к трубопроводу рекомендуется осуществлять после монтажа трубопроводов и насадков.

Соединение с трубопроводом следует осуществлять преимущественно через гибкие соединители (например, рукава высокого давления), прочность которых должна обеспечиваться при давлении не менее $1,5P_{раб}$.

Соединение с трубопроводом без гибкого соединителя следует осуществлять так, чтобы усилие от трубопровода и узлов его крепления не передавало нагрузку на ЗПУ модуля газового пожаротушения.

Направление потока ГОТВ через обратный клапан (при его наличии) должно соответствовать проекту.

Сосуды для хранения резерва ГОТВ в составе централизованной АУГП должны быть подключены к трубопроводу и находиться, как правило, в режиме ручного местного пуска.

Размещение сосудов и другого технологического оборудования централизованных и модульных установок пожаротушения должно обеспечивать возможность их обслуживания.

9.5.5. Требования безопасности

При монтаже сосудов следует руководствоваться требованиями безопасности, приведенными в технической документации на сосуды и ПБ 03-576 [5].

К работе с сосудами следует допускать персонал, прошедший специальный инструктаж и обучение безопасным методам труда по ПБ 03-576 [5], проверку знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе согласно ГОСТ 12.0.004.

Использовать баллоны (сосуды) с истекшим сроком технического освидетельствования не допускается. Сроки очередного технического освидетельствования указывают в эксплуатационной документации на АУГП.

При хранении, транспортировании и монтаже модуля на выпускном штуцере запорно-пускового устройства (ЗПУ) должна быть установлена заглушка (или другое устройство), предохраняющая модуль и обслуживающий персонал от воздействия реактивной силы струи газа при несанкционированном срабатывании ЗПУ.

Удалять заглушку ЗПУ модуля следует непосредственно перед подключением модуля к гибкому соединителю трубопроводной разводки. При этом трубопроводы АУГП и модуль должны быть надежно закреплены.

При отключении отдельных модулей батареи от коллектора следует установить на штуцеры для их подключения обратный клапан или заглушку.

Не следует удалять блокировку устройства ручного пуска модуля (при его наличие) до окончания монтажных работ.

При монтаже изотермического резервуара следует подключить дренажные трубопроводы к предохранительным клапанам (мембранным устройствам) для отвода аварийного сброса CO_2 в безопасную зону.

Меры безопасности при монтаже АУГП должны учитывать, что повышенные концентрации CO_2 и хладон 114В2 создают газовую среду, непригодную для дыхания.

9.5.6. Эксплуатация. Автоматические установки газового пожаротушения

При технической эксплуатации автоматических установок газового пожаротушения (АУГП) необходимо руководствоваться ГОСТ Р 50969, ГОСТ 12.4.009, СП5.13130.2009, проектной документацией на АУГП и технической документацией на ее составные элементы.

Примечание: Дополнительные требования к технической эксплуатации изотермических резервуаров пожарных, выполненных по

ГОСТ Р 53282-2009, регламентируются технической документацией на указанный резервуар.

Техническое обслуживание АУГП должно проводиться в соответствии с требованиями действующих нормативных документов и проектной документацией, с учетом технической документации на элементы, входящие в состав АУГП в объеме и сроки, установленные специальными графиками, но не реже одного раза в квартал.

Контроль и испытания АУГП в процессе эксплуатации должны проводиться без выпуска огнетушащего вещества по методам, изложенным в ГОСТ Р 50969.

Контроль массы (давления) огнетушащего вещества и давления газа-вытеснителя, контроль давления газа в пусковых баллонах, должен проводиться в сроки, установленные регламентом и ТД на составляющие элементы АУГП, с отметкой в журнале.

При уменьшении массы ГОТВ на 5 % или давления газа-вытеснителя (при его наличии) на 10 % (в том числе в составе резерва или запаса) требуется осуществить дозаправку или перезаправку изделий.

Требования к огнетушащему веществу и газу-вытеснителю для дозаправки модулей должны соответствовать проекту и первичной заправке изделий.

Технические средства контроля сохранности ГОТВ и газа-вытеснителя в модулях должны соответствовать ГОСТ Р 53281.

Модули, предназначенные для хранения:

- ГОТВ-сжиженных газов, применяемых без газа-вытеснителя (например, хладон 23 или CO_2), должны содержать в своем составе устройства контроля массы или уровня жидкой фазы ГОТВ. Устройство контроля должно срабатывать при уменьшении массы модуля на величину, не превышающую 5 % от массы ГОТВ в модуле.

- ГОТВ-сжатых газов должны содержать устройство контроля давления, обеспечивающее контроль протечки ГОТВ, не превышающей 5 % от давления в модуле.

- ГОТВ-сжиженных газов с газом-вытеснителем, должны содержать устройство контроля давления, обеспечивающее контроль протечки газа-вытеснителя, не превышающей 10 % от давления газа-вытеснителя, заправленного в модуль.

Метод контроля сохранности ГОТВ должен обеспечивать контроль протечки ГОТВ, не превышающей 5 %. При этом контроль сохранности массы ГОТВ в модулях с газом-вытеснителем осуществляется периодическим взвешиванием. Периодичность контроля и технические средства для его осуществления определяются изготовителем модуля и должны быть указаны в ТД на модуль.

Станции пожаротушения должны быть оборудованы и содержаться в состоянии, соответствующем проекту и СП5.13130.2009.

В помещении станции пожаротушения должна быть инструкция по эксплуатации АУГП и гидравлическая схема АУГП с указанием защищаемых помещений и их наименований.

Пусковые элементы устройств местного включения АУГП, в том числе распределительных устройств, должны иметь таблички с указанием наименований защищаемых помещений.

Размещение насадков в защищаемом помещении должно соответствовать требованиям проекта и СП5.13130.2009.

В местах, где имеется опасность механического повреждения, насадки должны быть защищены.

Насадки должны постоянно содержаться в чистоте. В период проведения в защищаемых помещениях ремонтных работ насадки должны быть защищены от попадания на них строительной пыли (штукатурки, краски, побелки и т.п.). После окончания ремонта защитные приспособления должны быть сняты.

Запрещается устанавливать взамен неисправных насадков пробки и заглушки.

Трубопроводы установок газового пожаротушения должны соответствовать требованиям СП5.13130.2009 и ГОСТ Р 50969.

В защищаемых помещениях с агрессивной средой трубопроводы должны быть окрашены кислотоупорной краской.

Запрещается:

- использование трубопроводов установок для подвески и крепления какого-либо оборудования;
- внесение изменений в состав установки и трубопроводную разводку без соответствующего изменения проектной документации.

Побудительные системы АУГП при их наличии должны соответствовать требованиям СП5.13130.2009 и ГОСТ Р 50969.

Устройства ручного (местного и дистанционного) пуска должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.4.009 и СП5.13130.2009.

При техническом обслуживании, испытаниях и ремонте АУГП должны соблюдаться требования безопасности в соответствии с ГОСТ Р 50969, ГОСТ 2.0.001, ПУЭ [2], других действующих НТД, а также требования безопасности, изложенные в ТД на элементы АУГП.

Если во время эксплуатации АУГП произошло ее срабатывание или отказ, должно быть произведено восстановление работоспособности АУГП (заправка огнетушащим веществом, газом-вытеснителем, замена модулей, пиропатронов в пусковых баллонах, распределительных

устройствах, замена пусковых мембран и т.д.) и произведены соответствующие записи в журнале и паспортах на элементы установки.

В случае использования газового огнетушащего вещества из резерва он должен быть восстановлен одновременно с восстановлением работоспособности АУГП.

Восстановлением работоспособности модульной АУГП осуществляется в результате монтажа модулей с запасом ГОТВ, которые должны храниться на складе объекта или организации, осуществляющей сервисное обслуживание установок пожаротушения.

Следует соблюдать периодичность освидетельствования баллонов (сосудов) в соответствии с ПБ 03-576 [5].

Периодичность замены пиропатронов в ЗПУ и других узлах установки определяется технической документацией на пиропатроны.

Элементы АУГП, выработавшие установленный изготовителем ресурс, должны быть заменены на новые или подвергнуты ремонту по методу, согласованному с изготовителем указанных элементов.

Удаление газов и дыма после пожара из помещений, защищаемых установками газового пожаротушения, следует осуществлять в соответствии с СП7.13130.2009. Допускается использовать для этих целей также системы основной и аварийной вентиляции или передвижные установки.

Одновременная работа в защищаемых помещениях автоматических установок газового пожаротушения и систем противодымной вентиляции (дымозащиты), а также вентиляционных установок помещения не допускается.

Технические средства АПС в составе установки газового пожаротушения проверяются в соответствии с требованиями к АПС.

Требования регламента технического обслуживания на обследуемую установку должны быть не ниже требований «Типового регламента технического обслуживания установок газового пожаротушения».

Литература

1. ГОСТ 12.2.047-86. ССБТ. Пожарная техника. Термины и определения.

2. Нормативно-техническая документация о проектировании, монтаже и эксплуатации автоматических установок пожаротушения пожарной сигнализации и систем дымоудаления / Н.В. Смирнов, С.Г. Цариченко, В.Л. Здор, Б.П. Старшинов, М.В. Савин; под общ. ред. Н.П. Копылова. – М.: ВНИИПО, 2004. – 312 с.

3. ГОСТ 12.3.046-91. ССБТ. Установки пожаротушения автоматические. Общие технические требования.
4. СП5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.
5. Средства пожарной автоматики. Область применения. Выбор типа: Рекомендации. М. ВНИИПО, 2004.
6. ГОСТ 27331-87. Пожарная техника. Классификация пожаров.
7. РД 25964-90. Система технического обслуживания и ремонта автоматических установок пожаротушения, дымоудаления, охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации. Организация и порядок проведения работ.
8. ГОСТ Р 50680-94. Установки водяного пожаротушения автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний.
9. ГОСТ Р 50800-95. Установки пенного пожаротушения автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний.
10. Автоматические водяные и пенные установки пожаротушения. Проектирование / Л.М. Мешман, В.А. Былинкин, В.В. Губин, Е.Ю. Романова; под общ. ред. Н.П. Копылова- М.: ВНИИПО, 2009. – 570 с.
11. ISO 14520-1. Gaseous fire-extinguishing systems – Physical properties and system design – Part1: General requirements.
12. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
13. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.
14. ГОСТ Р 53280.4-2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования. Методы испытаний.
15. Долговидов А.В. Автоматические установки порошкового пожаротушения / А.В. Долшовидов, В.В. Терехнев. – М.: Пожнаука, 2008.
16. Агафонов ВВ. Вопросы проектирования, монтажа и эксплуатации установок аэрозольного пожаротушения: учебно-методическое пособие / В.В. Агафонов, Н.П. Копылов; под ред. Н.П. Копылова. – М.: ВНИИПО, 2001 г. – 115 с.
17. СНиП 21-01–97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
18. СП 4.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям.
19. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – М.: Главэнергонадзор России, 1998. – 607 с.

10. ПОЖАРНЫЕ ИЗВЕЩАТЕЛИ ПЛАМЕНИ

10.1. Обнаружение загораний по электромагнитному излучению, исходящему из зоны горения

Инфракрасные лучи являются частью общего спектра электромагнитных колебаний.

Для удобства весь инфракрасный спектр излучения разделяют на три поддиапазона:

0,76...1.5 мкм – коротковолновый (ближнее ИК-излучение);

1,5...15 мкм – средневолновый;

15...1000 мкм – длинноволновый (дальнее ИК-излучение).

Подразделение определяется главным образом областями использования этих излучений и приборами, применяемыми для их обнаружения.

Инфракрасное излучение могут давать газы, пары, жидкие и твердые тела. Это излучение возникает при вращательных и колебательных движениях молекул. Так как подобное движение происходит, как известно, при нагревании, то любое тело, имеющее температуру выше абсолютного нуля ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$), является источником инфракрасного излучения.

При нагреве возможен переход электронов внешней орбиты атома одного энергетического уровня на другой. Такой переход сопровождается излучением энергии. Атомарные спектры излучения линейчатый характер и находятся в коротковолновой инфракрасной области (0,76...2,5 мкм).

Излучение энергии происходит в результате колебательных и вращательных движений молекул тела, а также при переходе электронов внешней орбиты атомов с одного энергетического уровня на другой. Любое тело, имеющее температуру выше абсолютного нуля, непрерывно излучает энергию.

10.2. Характеристики пожарных извещателей пламени и особенности их работы

Пожарные извещатели в зависимости от области спектральной чувствительности можно разделить на следующие группы:

- чувствительные в области ультрафиолетового спектра электромагнитного излучения (УФ);
- чувствительные в видимой области спектра;
- чувствительные в инфракрасной области спектра (ИК);
- многоспектральные.

Пожарные извещатели ИК диапазона в зависимости от информативного признака излучения пламени разделяются на два типа:

- извещатели, реагирующие на постоянную составляющую излучения;
- извещатели, реагирующие на эффект пульсации (мерцания) излучения пламени, где за полезный сигнал принимается только его изменение с частотой от 2 до 40 Гц (пульсация), характерное для свободного горения материалов.

Обнаружительная способность ПИ пламени характеризуется чувствительностью, т.е. расстоянием на котором он срабатывает от излучения пламени тестовых очагов заданной величины по ГОСТ Р 53325-2009.

Чувствительность пожарного извещателя зависит от спектра излучения пламени при горении разных материалов и диапазона спектральной чувствительности извещателя.

Другой важной характеристикой пожарного извещателя является его **инерционность**.

Инерционность извещателей пламени, в основном, связана со способом обработки сигнала, формируемого фотоприемником. Способ обработки сигнала связан, в свою очередь, с информационным признаком пожара на который реагирует ПИ.

Извещатели, реагирующие на постоянную составляющую входного сигнала, как правило, могут иметь малую инерционность (1 мкс...3 с).

Извещатели, реагирующие на пульсации излучения имеют значительно большую инерционность, связанную с необходимым временем для обработки входного сигнала, как правило, более 3 с.

Пожарные извещатели пламени в зависимости от спектральной чувствительности и особенностей обработки входного сигнала имеют различные уровни помехозащищенности.

Извещатели пламени ультрафиолетового диапазона практически не чувствительны к излучению, исходящему от объектов с температурами поверхности, не имеющей видимого свечения, светильникам закрытым плафонами, лампам накаливания (за исключением открытых ламп в кварцевой колбе, например, металло-галогенных, некоторых типов газоразрядных).

Извещатели пламени УФ диапазона в отличие от ИК-извещателей могут применяться для обнаружения пожара в условиях наличия в защищаемых зонах перегретых, не имеющих свечения тел, например, в камерах сушки.

Извещатели УФ диапазона чувствительны к излучению дуги при проведении сварочных работ и воздействию излучения от молний (некоторые и солнца через проемы, не защищенные стеклом, поглоща-

ющим ультрафиолетовое излучение, например, оконным). Кроме того, УФ-извещатели чувствительны к излучениям встроенных УФ-излучателей при повреждениях ряда типов люминесцентных ламп.

Следует учитывать также наличие газов и паров в контролируемой зоне, ослабляющих излучение пламени.

Извещатели, реагирующие на эффект пульсации пламени, получили широкое применение благодаря простоте конструкции и более низкой стоимости по сравнению с извещателями, реагирующими на постоянную составляющую излучения пламени.

Преимуществом метода является возможность получения высокой помехоустойчивости извещателя к фоновым помехам постоянного уровня.

Недостатками извещателей **пульсационного** типа являются:

- невозможность регистрации полезной постоянной составляющей излучения, исходящего из зоны пожара, значение которой может достигать 98 %;
- невозможность регистрации пожара, развитие которого происходит не от малого, свободно горящего очага, а со вспышки испарившихся материалов, при которой переменная составляющая очага пламени может быть не зарегистрирована, вследствие превышения размерами области вспышки размеров телесного угла зоны чувствительности извещателя;
- низкая помехоустойчивость к помехам, вызванным перемещающимися объектами и вращающимися элементами оборудования, качающимися деревьями, насекомыми и птицами и т.д., на фоне постоянного фонового излучения;
- низкое быстродействие по сравнению с извещателями, реагирующими на постоянную составляющую излучения пламени.

Для использования в качестве привода быстродействующих автоматических систем пожаротушения предпочтение, как правило, отдается извещателям, реагирующим на постоянный уровень излучения, не связанный с условиями горения.

Такие извещатели более устойчивы к модулированным воздействиям излучения солнца и других источников не связанных с пожаром.

Для повышения помехоустойчивости предпочтительно применение многоспектральных пожарных извещателей.

В общем случае, выбор извещателя производится по коэффициенту использования фотопреобразователя по отношению к спектру излучения пламени обращающихся в защищаемой зоне конкретных материалов (если таковые имеются) и отношению сигнал/помеха.

При применении ИК-извещателей следует также учитывать поглощение при возможном обледенении входного окна извещателей или поглощение водой при осадках и других воздействиях.

ИК-извещатели по сравнению с УФ-извещателями менее чувствительны к загрязнению оптического окна. ИК-извещатели могут быть применены для обнаружения скрытых очагов, например пожаров внутри автомобилей.

Кроме того, имеется практика применения ИК-извещателей для обнаружения очагов пожара материалов с неизвестной или меняющейся спектральной характеристикой по излучению от прогретой горением этого материала поверхности горения.

При применении извещателей, чувствительных в ультрафиолетовой области электромагнитного спектра, следует учитывать поглощение излучения средой. УФ-извещатели быстро теряют чувствительность при загрязнении оптического окна по сравнению с ИК-извещателями. Поэтому следует установить периодичность очистки окна в зависимости от условий применения, либо применять извещатели с автоматическим контролем запыленности окна.

Существует около 38 веществ, присутствие паров которых в воздухе вызывает значительное поглощение УФ-излучения и ограничивает обнаружение пожара УФ-извещателями пламени. В случае наличия таких веществ в воздухе следует либо исключить применение УФ-извещателей, либо оценить поправки на потерю чувствительности, либо применять *комбинированное обнаружение введением извещателей, чувствительных в ИК-области электромагнитного спектра*.

Чувствительность извещателей пламени к излучению горючих материалов зависит от доли совместимости спектральных характеристик излучения пламени горючего материала и спектра чувствительности преобразователя излучения, установленного в извещателе пламени (коэффициент использования преобразователя).

Чувствительность извещателя выбирается исходя из уровня вероятного излучения помех, коими являются, как правило, излучение Солнца, источников искусственного освещения, излучение технологического оборудования.

В этой связи оценка правильности выбора извещателя должна производиться по этому параметру и по отношению сигнал / помеха.

Поглощением излучения пламени сопровождающимися горение газами и водяным паром при развитии пожара со слабым выделением дыма и на малых расстояниях в ИК-области можно пренебречь.

При развитии пожара с вероятным дымовыделением следует устанавливать дополнительно извещатели дыма или произвести оценку селективного поглощения излучения по известным методикам.

Поскольку основным из естественных источников излучения является Солнце, при размещении извещателей, важным является оценка пропускания и рассеяния солнечного излучения, при которой учитываются географическая широта места установки, т.е. положение источника, положение проемов по отношению к источнику, отражательные свойства пола, стен помещения, спектральные свойства стекол проемов и оптического преобразователя извещателя.

Такая же процедура производится для других предполагаемых источников помех естественного и искусственного происхождения.

Извещатели пламени применяются, как правило, для защиты зон, где необходима высокая эффективность обнаружения, поскольку обнаружение пожара извещателями пламени происходит в начальной фазе пожара, когда температура в помещении еще далека от значений, при которых срабатывают тепловые пожарные извещатели.

Извещатели пламени обеспечивают возможность защиты зон, имеющих вентиляцию с высокой кратностью воздухообмена и открытых площадок, где невозможно применение тепловых и дымовых извещателей.

Извещатели пламени, чувствительные в ИК-области электромагнитного спектра, применяются не только для обнаружения пламенного горения, но и для организации контроля наличия перегретых поверхностей агрегатов при авариях, например, для обнаружения пожара в салоне автомобиля, под обшивкой агрегата, контроля наличия твердых фрагментов перегретого топлива на транспортере или низкотемпературных очагов горения.

Извещатели, чувствительные в ультрафиолетовом спектре электромагнитного излучения применяются, как правило, для обнаружения высокотемпературных пламен, например, загораний металлсодержащих материалов.

Существует практика размещения фотоприемников УФ и ИК излучения в одном корпусе – УФ+ИК извещатели. Эта практика для оптимального использования особенностей излучения и поглощения излучений средой, а также особенностей размещения извещателей разных типов не всегда оправдана.

11. ВЗРЫВЫ И ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

11.1. Явление взрыва. Типы взрывов. Химический и физический взрывы

Взрыв – быстрое, термодинамически необратимое изменение состояния системы, сопровождающееся нарушением механического равновесия с внешней средой, быстрым расширением вещества, резким повышением давления с возбуждением ударных волн в окружающей среде.

Взрыв сопровождается переходом потенциальной энергии системы в механическую работу, при этом всегда происходит резкий скачок давления.

Взрывы классифицируют по причинам, которые их вызывают, по физическому состоянию взрывчатых веществ (ВВ), по характеру и силе разрушений.

Физический взрыв происходит при быстром разрушении оболочек сосудов с газообразными и жидкими веществами, а также при мощных искровых разрядах. Причиной взрыва сосудов может быть механическое разрушение, в том числе удар, дефекты в материале оболочки, превышение допустимого давления. В качестве примеров можно привести разрывы баллонов со сжатыми газами, емкостей с легкокипящими жидкостями, взрывы паровых котлов. Взрыв сосудов сопровождается только звуковым эффектом и механическими разрушениями.

Химические взрывы возникают вследствие высокоскоростных экзотермических реакций. Источниками взрывов являются термодинамически неустойчивые системы.

Существует ряд причин, приводящих к взрывам. В таблице 11.1 приведены примеры.

Таблица 11.1

Классификация взрывов

Природные взрывы	Преднамеренные взрывы	Случайные взрывы
Молнии. Вулканы Метеориты	Ядерные взрывы. Взрывы конденсированных ВВ: – промышленных ВВ; – военных ВВ; – пиротехнических ВВ. Взрывы топливо-воздушных облаков. Ружейные и пушечные взрывы. Взрывы в замкнутых объемах, например исследовательские взрывы газов и пылевзвесей, а также взрывы в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания	Взрывы конденсированных ВВ: – в непрочной оболочке или без нее; – в прочной оболочке. Взрывы при горении в замкнутом объеме без избыточного давления газов и паров, пылевзвесей. Взрывы емкостей с газом под давлением: – при простых авариях (нераагирующие газы); – при горении; – с последующим горением; – при выходе из-под контроля химической реакции. Взрывы емкостей с перегретой жидкостью. Взрывы неограниченного облака паров. Физические взрывы

11.2. Классификация взрывчатых веществ по химическому составу и областям применения

Взрывчатые вещества – метастабильные химические соединения и смеси, относительно устойчивые при нормальных условиях, но способные после инициирующего импульса к взрыву путем самоподдерживающегося внутреннего химического превращения с выделением тепла и большого объема газообразных продуктов.

Все вещества и смеси, при разложении которых выделяется тепло, должны считаться опасными. Степень опасности при обращении с такими материалами может быть определена только опытным путем, поскольку не существует надежного способа априорной оценки взрывоопасности какого-либо вещества или смеси. В настоящее время известно большое количество ВВ. По своему **составу** они разделяются на индивидуальные ВВ и составы на их основе.

К **индивидуальным ВВ** относят химические соединения, у которых при внешних воздействиях происходит разрыв химических связей в молекулах с последующей рекомбинацией атомов в конечные продукты, в результате чего горючие элементы соединяются с окислительными. Образования продуктов взрыва (ПВ) в этом случае можно рассматривать как внутримолекулярное окисление. Индивидуальные ВВ преимущественно являются органическими соединениями, содержащими одну или более групп $-\text{NO}_2$, из которых на практике чаще используют азотнокислые эфиры (нитроэфиры) и нитросоединения. Из нитроэфиров наибольшее применение нашли:

- Тринитроглицерин $\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3$;
- Нитроклетчатка $[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_{3-n}(\text{ONO}_2)_n]_x$;
- Пентаэритриттетранитрат или ТЭН $\text{C}[\text{CH}_2\text{ONO}_2]_4$.

Важнейшими представителями нитросоединений являются:

- Тринитротолуол (ТНТ, тротил) $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3$;
- Пикриновая кислота $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{OH}$;
- Тринитробензол $\text{C}_6\text{H}_3(\text{NO}_2)_3$;
- Циклотриметилентринитрамин (гексоген) $(\text{CH}_2\text{NNO}_2)_3$;
- Циклотетраметилентетранитрамин (октоген) $(\text{CH}_2\text{NNO}_2)_4$.

К индивидуальным ВВ относят также соли азотной, хлорной, гремучей кислот. Например, аммиачная селитра NH_4NO_3 , перхлорат калия KClO_4 , гремучая ртуть $\text{Hg}(\text{ONC})_2$. Существуют также ВВ, распадающиеся при взрыве без реакций окисления, например, азид свинца $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$.

Взрывчатые составы представляют собой композиции, состоящие по крайней мере из двух химически не связанных между собой веществ.

Обычно один из компонентов богат кислородом, а во втором либо кислорода недостаточно для внутримолекулярного окисления, либо вовсе нет (углеводы, металлы-алюминий, магний).

С точки зрения **использования ВВ** их классификацию целесообразно проводить по областям применения. В основу такой классификации ВВ положены три признака:

- чувствительность к внешним воздействиям, приводящим к появлению определенной формы превращения;
- характерный, то есть относительно легко возбуждаемый и устойчивый вид превращения;
- наиболее ярко выраженный вид действия взрыва.

В соответствии с этими признаками ВВ разделяют на четыре группы:

I группа – чрезвычайно взрывоопасные и инициирующие (первичные) ВВ;

II группа – бризантные (вторичные) ВВ;

III группа – метательные ВВ (пороха, твердые ракетные топлива);

IV группа – пиротехнические составы.

Физической основой для разделения ВВ на четыре группы является характеристика устойчивости горения и склонности перехода горения в детонацию.

I группа

К первой группе относятся вещества, являющиеся чрезвычайно взрывоопасными и инициирующие (первичные) ВВ. Примерами чрезвычайно опасных веществ являются трихлорид азота и некоторые органические пероксидные соединения, которые являются настолько нестабильными, что взрываются даже в самых малых количествах. Эти вещества могут представлять интерес лишь в тщательно контролируемых лабораторных исследованиях, а в промышленных установках необходимо любой ценой устранять возможность их образования. Примером соединения, которое образуется в промышленных установках, является ацетиленид меди, получающийся при соприкосновении ацетилена с медью или медьсодержащим сплавом. Когда на поверхностях установки накопится достаточное количество этого соединения, почти любое возмущение приведет к локальному взрыву, что приведет к разрушению установки.

К первой группе ВВ относятся также инициирующие ВВ. Отличительной особенностью инициирующих ВВ (ИВВ) является их высокая чувствительность к внешним воздействиям. Укол или накол, пламя или искра, приводят к возникновению взрыва этих веществ. Характерным видом превращения для ИВВ является детонация, в которую переходит

горение за время 10^{-6} – 10^{-8} секунд. ИВВ применяют для изготовления двух типов средств инициирования превращений: средств детонирования или возбуждения детонации и средств возбуждения горения. Типичными представителями ИВВ являются: гремучая ртуть, азид свинца, тетразен $C_2H_8ON_{10}$.

II группа

Особенностью бризантных ВВ (БВВ) является их низкая чувствительность к возбуждению детонации при таких внешних воздействиях, как слабый удар, накол, трение, искра и луч пламени, но в то же время высокая способность детонировать под действием взрыва детонатора, содержащего небольшую массу ИВВ. Вторичные ВВ обладают среди всех ВВ наибольшей бризантностью и фугасностью (см. ниже). По составу бризантные ВВ делятся на индивидуальные и составы на их основе.

III группа

Метательные ВВ (МВВ) предназначены для метания тел в ствольных системах или создания реактивной тяги в ракетных двигателях. В соответствии с назначением они должны быть нечувствительными к внешним воздействиям, за исключением теплового. Штатным режимом превращения МВВ является нормальное горение (см. выше). МВВ делятся на пороха для ствольных систем и твердые ракетные топлива. Пороха должны обеспечивать устойчивое горение без перехода во взрыв при давлениях до 10^8 – 10^9 Па, а твердые топлива – до 10^7 Па. Это достигается пластификацией мощных бризантных ВВ.

В ствольных системах в настоящее время применяют нитроцеллюлозные пороха на основе нитроклетчатки, пластифицированной каким-либо растворителем. В зависимости от пластификатора различают:

- пироксилиновые пороха с применением летучего пластификатора;
- баллисты, пластифицированные труднолетучим растворителем (нитроглицерином или нитродигликолем);
- кордиты – пороха, приготовляемые с использованием смешанного растворителя (смесь нитроглицерина с ацетоном).

Твердые ракетные топлива делают либо на основе баллистных порохов, либо в виде смесевых твердых топлив, и они состоят из окислителя, мощного БВВ, горючего и связующего. Окислителями обычно являются перхлораты или нитраты аммония, а горючими – алюминиевая пудра или связующее. В качестве связующего чаще всего используют каучукоподобные полимеры.

IV группа

К пиротехническим составам (ПС), то есть веществам, которые при горении дают световые, тепловые, дымовые, реактивные и звуковые эффекты относятся вещества, строго говоря, не являющиеся взрывчатыми. Наиболее распространенным видом превращения для ПС является послойное горение (НГ). Большинство ПС, кроме горючего, содержит окислитель и некоторые другие специальные компоненты. В качестве горючих используют металлы Al, Mg, Zr, Ti, углеводородные смеси, углеводы. Окислителями обычно являются оксиды металлов или кислородсодержащие соли NaNO_3 , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3 , KClO_4 , KClO_3 . По виду достигаемого эффекта ПС делятся на осветительные составы, фотосмеси, трассирующие составы, сигнальные составы, составы инфракрасного излучения, маскирующие дымообразующие составы, зажигающие составы.

В табл. 11.2 приведены характеристики некоторых ВВ.

Таблица 11.2

Характеристики некоторых взрывчатых веществ

ВВ	Удельная теплота взрыва, кДж/кг	Удельный ТНТ-эквивалент*	Скорость детонации, км/сек	Давление детонации, ГПа
Гексоген	5360	1,185	8,70	34
Октоген	5680	1,256	9,11	38,7
Азид свинца	1540	0,340	5,50	–
Гремучая ртуть	1790	0,395	–	–
Нитроглицерин жидкий		1,481	–	–
Азид серебра	1890	0,419	–	–
ТНТ	4520	1,000	6,73	21,0
Амматол 80/20 (80 % нитрата аммония + 20 % ТНТ)	2650	0,586	5,20	–
Тетрил	4520	1,000	7,85	26,0

*) ТНТ – эквивалент (удельный тротиловый эквивалент) – величина, показывающая во сколько раз мощность взрыва 1 кг того или иного ВВ отличается от мощности взрыва 1 кг тротила.

**11.3. Фугасное и бризантное действия взрыва.
Теоретические и экспериментальные методы
оценки фугасности и бризантности ВВ**

Основными факторами воздействия продуктов детонации (ПД) конденсированных ВВ на окружающую среду является их бризантное и фугасное действие.

Бризантность (от французского слова – дробить) – способность ВВ к местному, то есть проявляющемуся в непосредственной близости от поверхности заряда, разрушительному действию, являющемуся результатом резкого удара продуктов детонации по окружающей среде (ближние формы работы взрыва).

Под **фугасным действием** понимается общее действие взрыва на некотором расстоянии от поверхности заряда ВВ, которое проявляется в совершении работы разрушения или перемещения среды продуктами взрыва в процессе их расширения. Наряду с термином фугасность широко используется другой термин – работоспособность ВВ, под которой понимают полную удельную (на единицу массы ВВ) работу взрыва.

Теоретической характеристикой работоспособности ВВ служит потенциальная энергия, под которой подразумевают наибольшую работу, совершаемую газообразными продуктами взрыва при их бесконечном (до $P \rightarrow 0$ или $V \rightarrow \infty$) адиабатическом расширении:

$$A_{\max} = nRT / (C_p/C_v - 1), \quad (11.1)$$

где n – число молей газообразных продуктов на 1 кг;

R – газовая постоянная;

T – температура;

C_p, C_v – средние удельные теплоемкости при постоянном давлении и объеме.

Для экспериментальной оценки фугасности ВВ на практике используются :

- метод свинцовой бомбы (проба Трауцля);
- метод баллистического маятника;
- метод баллистической мортиры;
- определение объема воронки выброса грунта;
- измерение параметров воздушных ударных волн.

Кратко остановимся на некоторых из них.

Метод свинцовой бомбы является наиболее широко применяемым для определения относительной работоспособности ВВ.

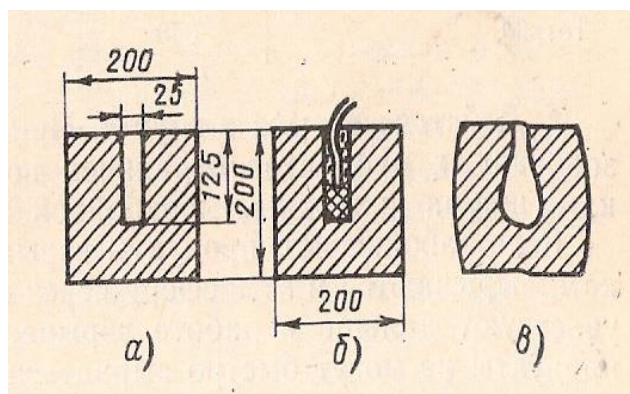


Рис. 11.1. Схема к определению работоспособности (фугасности) ВВ в свинцовой бомбе: а – бомба до снаряжения; б – снаряженная бомба; в – бомба после взрыва

Принятая на II Международном конгрессе прикладной химии в качестве стандартной бомба Трауцля (ГОСТ 4546-81) представляет собой массивный свинцовый цилиндр с несквозным осевым каналом (рис. 11.1). На дно канала помещают заряд ВВ массой 10 грамм в бумажной гильзе. Свободную часть канала засыпают кварцевым песком. Заряд ВВ инициируют электродетонатором ЭД-8-Э. После взрыва в бомбе образуется характерное вздутие. Расширение бомбы в кубических сантиметрах, за вычетом начального объема канала и расширения, производимого электродетонатором (30 см^3), является мерой относительной работоспособности ВВ. Величины ΔV (см^3), определенные этим методом для наиболее характерных промышленных ВВ, следующие:

Тротил	285–310	Детонит М	440–460
Гексоген	475–495	Аммонит ПЖВ-20	265–290
Аммонит 6ЖВ	360–390	Угленит Э-6	130–170

Метод баллистического маятника. Основой прибора является груз, подвешенный на жестких тягах к неподвижной опоре. При воздействии на маятник потока продуктов взрыва или ударной волны он получает некоторый импульс и отклоняется на определенный угол. Конструкции маятников разнообразны. В одной из них (рис. 11.2) действие взрыва воспринимается торцом носка маятника. Импульс равен:

$$I = M \sqrt{2gl} (1 - \cos \varphi), \quad (11.2)$$

где M – масса маятника;
 g – ускорение свободного падения;
 l – длина подвеса;
 φ – угол отклонения маятника.

Эта формула справедлива для углов, не превышающих 20° . Если вместо измерения угла отклонения маятника измерять горизонтальное перемещение маятника x , то для малых углов импульс:

$$I = M 2\pi x / T, \quad (11.3)$$

где T – период колебания маятника.

Работа взрыва:

$$A = Mgh, \quad (11.4)$$

где h – высота подъема центра тяжести маятника

Тогда

$$A = Mg l (1 - \cos\varphi). \quad (11.5)$$

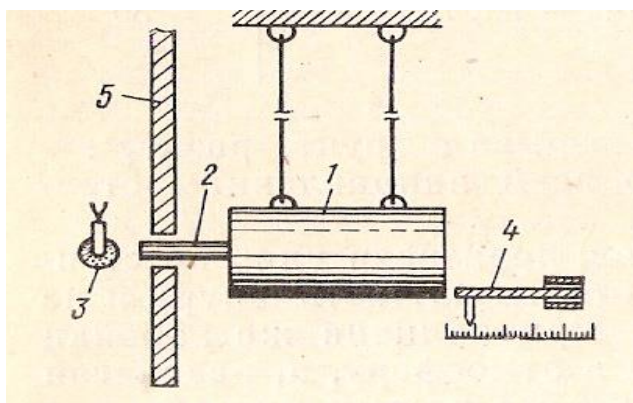


Рис. 11.2. Баллистический маятник:

1 – тело маятника; 2 – носок маятника; 3 – заряд ВВ;
4 – измеритель отклонений; 5 – защитный экран

Оценка работоспособности по воронке выброса удобна тем, что ее можно выполнять с зарядами большой массы, в частности, с промышленными ВВ, имеющими большой критический диаметр (гранулированными, водосодержащими), для которых многие лабораторные методы малопригодны. Следует отметить, что объем воронки, образованной взрывом в грунте, определяет ту работу, которая ранее и называлась фугасным действием.

Методы определения бризантности взрывчатых веществ

Как уже отмечалось, бризантность – это способность ВВ к местному разрушительному действию, при котором нагружение среды осуществляется именно продуктами детонации. Бризантное действие ВВ проявляется лишь на близких расстояниях от места взрыва, где давление и плотность энергии продуктов еще достаточно велики. Это рассто-

яние по величине сопоставимо с радиусов цилиндрического или сферического заряда. С удалением от места взрыва механические эффекты резко снижаются вследствие крутого падения давления, скорости и других параметров взрыва.

Бризантность является одной из важнейших характеристик ВВ, на основании которой производится их сравнительная оценка и выбор для тех или иных целей (боеприпасы, кумулятивные заряды, ВВ для резки и обработки металлов взрывом и т.д.).

Бризантность не определяется полностью и однозначно теми же параметрами, от которых зависит их работоспособность. Последняя зависит от удельной теплоты взрыва, удельного объема и теплоемкости газообразных продуктов. Для бризантности определяющими факторами являются скорость детонации и детонационное давление.

Наиболее простым и распространенным методом испытания на бризантность является *проба на обжатие свинцовых цилиндров*, предложенная Гессом в 1876 г. Для испытаний применяют свинцовый цилиндр стандартных размеров 2, который устанавливают на стальной плите 1 в вертикальном положении (рис. 11.3).

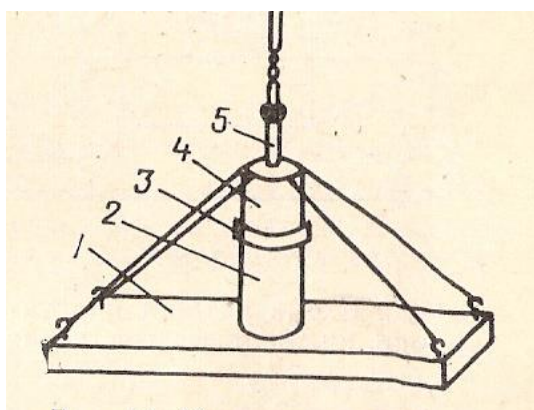


Рис. 11.3. Определение бризантности по пробе Гесса

На столбик помещают стальную пластину 3, на которой устанавливают заряд ВВ 4, снабженный капсюлем-детонатором 5. При взрыве заряда свинцовый цилиндр деформируется. Мерой бризантности ВВ является величина обжатия, то есть разность высот цилиндра до и после обжатия Δh . Более корректно оценивать бризантность по формуле:

$$\alpha = \Delta h / (h_0 - \Delta h), \quad (11.6),$$

где h_0 – высота цилиндра до обжатия.

Проба на обжатие медных крешеров была предложена в 1893 г. Кастом. Прибор для определения бризантности по этой пробе представляет собой стальное основание, на котором устанавливается полый стальной цилиндр с притертым стальным поршнем. На поршне находится стальная накладка, покрытая двумя свинцовыми дисками. Под поршнем находится медный крешер. На свинцовые диски устанавливают заряд ВВ с капсулом-детонатором. При подрыве заряда поршень получает динамический удар и обжимает крешер; величина обжатия и служит мерой бризантности.

Недостатком пробы на обжатие медных крешеров является ее малая «разрешающая способность», так, например, для ряда ВВ, предельный диаметр детонации которых значительно больше 21 мм (аммониты, сплавы тротила с динитронафталином), показания получаются явно заниженными.

Следует отметить, что чисто бризантные или чисто фугасные формы работы взрыва на практике встречаются сравнительно редко. В большинстве случаев работа носит комбинированный или промежуточный характер, при этом время совершения работы больше, чем при чисто бризантном действии ($\sim 10^{-6} \dots 10^{-5}$ с), но меньше, чем время достижения продуктами взрыва давления окружающей среды ($\sim 10^{-4} \dots 10^{-3}$ с).

11.4. Оценка чувствительности ВВ к механическим воздействиям (удар и трение) и электрическому импульсу

Для определения чувствительности ВВ к удару используют вертикальные копры или роликовые приборчики. На рисунке 11.4 показана схема вертикального копра К-44-П. Навеску исследуемого ВВ помещают в штемпельный прибор 4, установленный на наковальне 5. Груз 3 массой 10 кг, закрепленный в держателе 2, падает по направляющим 1 с высоты 0,25 м. Взрыв или отказ фиксируют по звуку. Обычно проводят 25 испытаний. Мерой чувствительности является процент взрывов.

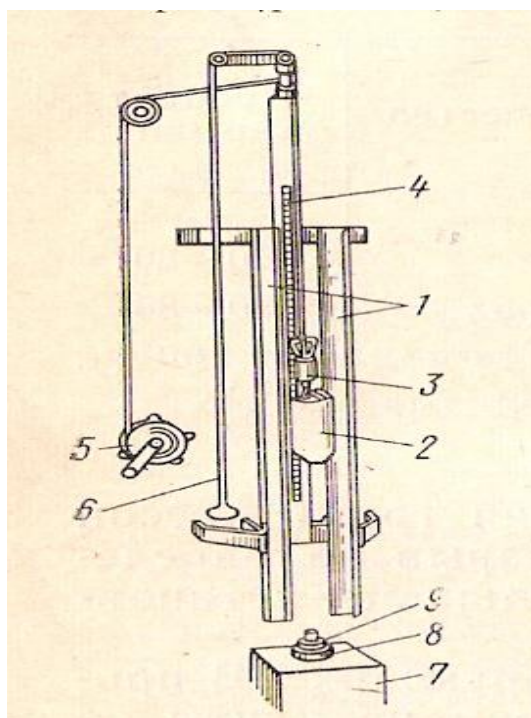


Рис. 5. Вертикальный копёр

При проведении анализа строят кривую чувствительности и определяют верхний (H_{100}) и нижний (H_0) пределы чувствительности, а также высоту 50 % взрывов (H_{50}). Нижний предел чувствительности соответствует той максимальной высоте падения груза, при которой все испытания (не менее 10) еще дают отказы. Он является *пределом безопасности*. Верхний предел чувствительности, или *предел безотказности* – соответствует минимальной высоте падения груза, при которой все испытания (не менее 10) еще дают взрывы. Верхний и нижний пределы можно найти, не строя всю кривую чувствительности, а последовательно меняя высоту падения груза в области ожидаемых пределов.

Аналогично проводят определение чувствительности ВВ к электрическому импульсу: строят зависимость процента взрывов от энергии искрового разряда при постоянном расстоянии между электродами. Для азида свинца, например, $E_0=5 \cdot 10^{-7}$ Дж, $E_{100}=(8...10) \cdot 10^{-6}$ Дж.

12. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ

12.1. Общие положения

Взрывобезопасность – состояние производственного процесса, предприятия или его отдельных участков, при котором исключена возможность взрыва, предотвращения воздействия на людей опасных и вредных факторов в случае его возникновения, которое обеспечивает сохранение материальных ценностей – зданий, сооружений, производственного оборудования, сырья и готовой продукции.

Взрывобезопасность производственных процессов, зданий, сооружений, производственного оборудования обеспечиваются мерами по взрывопредупреждению и взрывозащите, организационными и организационно-техническими мероприятиями в соответствии с действующими нормативно-техническими документами.

Взрывопредупреждение – комплекс организационных и технических мер, предотвращающих возможность возникновения взрывов и направленных на исключение условий образования взрывоопасных пылевоздушных, газозвудушных или пылегазовоздушных (гибридных) смесей и источников их зажигания.

Взрывозащита – комплекс технических мер, предотвращающих воздействие на людей опасных и вредных факторов взрыва и обеспечивающих сохранение производственного оборудования, зданий, сооружений, сырья и готовой продукции. Так как необходимым и достаточным условием возникновения взрыва является наличие взрывоопасной пылевоздушной, газозвудушной или гибридной смеси (смеси с содержанием горючего в пределах области воспламенения) и источника инициирования взрыва (источника зажигания смеси достаточной мощности и температуры), то для предотвращения взрыва необходимо исключить эти условия или хотя бы одно из них.

Основные направления мероприятий по взрывопредупреждению представлены в схеме ниже.

Основные направления мероприятий по взрывопреупреждению



Уменьшение свободных объемов оборудования и емкостей

Устройство эффективной магнитной защиты

Установка систем защиты от разрядов статического электричества

Проведение ППР оборудования строго по графику

Устройство защитного заземления и зануления оборудования

Устройство молниезащиты зданий и сооружений

Обеспечение безопасной работы стационарных и переносных электросветильников

Применение систем диагностики предаварийных режимов работы оборудования

Соблюдение общего противопожарного режима на предприятиях

Для обеспечения защиты людей и материальных ценностей при возникновении взрыва должны быть предусмотрены меры, предотвращающие воздействие следующих опасных факторов взрыва:

- пламени и высокотемпературных продуктов горения;
- давления взрыва;
- высокоскоростных газоздушных потоков;
- ударных волн;
- обрушившихся конструкций зданий и сооружений и разлетающихся элементов строительных конструкций, производственного оборудования и коммуникаций.

Организация и ведение технологических процессов на предприятиях должны соответствовать следующим документам:

- правилам организации и ведения технологических процессов на элеваторах и хлебоприемных предприятиях;
- правилам организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах;
- временной инструкции по организации и ведению технологического процесса на мукомольных заводах, оснащенных высокопроизводительным оборудованием;
- правилам бестарной приемки, хранения и отпуска муки для предприятий зерноперерабатывающей промышленности;
- инструкции по хранению продовольственно-кормового зерна, маслосемян, муки и крупы;
- инструкции по очистке и выделению мелкой фракции зерна, эксплуатации зерноочистительных машин на элеваторах и хлебоприемных предприятиях;
- инструкции по активному вентилированию зерна в складах и на площадках;
- указаниям по вентилированию зерна на складах, оборудованных аэрожелобами;
- инструкции по сушке продовольственного, кормового зерна, маслосемян и эксплуатации зерносушилок;
- ГОСТ 8.12.01-84 Требованиям безопасности к производственным процессам на элеваторах и хлебоприемных предприятиях.

Выбор, установку и эксплуатацию электрооборудования следует производить в соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок (ПУЭ), Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей на основе классификации взрывоопасных и пожароопасных помещений (зон) и наружных установок.

Молниезащита зданий, сооружений и наружных установок от прямых ударов молний, а также от вторичных их проявлений необходимо выполнять в соответствии с СН 305-77 и отраслевыми правилами пожарной безопасности.

12.2. Предотвращение взрывов

12.2.1. Технологические процессы

При разработке технологических процессов должны быть предусмотрены меры, максимально предотвращающие возможность образования взрывоопасных концентраций пыли в технологическом и транспортном оборудовании в условиях стационарных режимов ведения технологических процессов и возникновения источников инициирования взрыва.

На предприятиях по хранению и переработке зерна должны быть предусмотрены:

- автоблокировка приводов групп машин для того, чтобы последовательность пуска и остановки их, а также аварийная остановка одной из машин этой группы исключали возможность завалов и подпоров;
- блокировка приводов вентиляторов аспирационных установок с приводами аспирируемого оборудования;
- блокировка приводов задвижек воздуходувок с пусковыми устройствами каждой воздуходувки;
- светозвуковая сигнализация, автоматически включаемая при срабатывании любой блокировки;
- средства связи;
- устройства аварийного отключения всех приводов;
- амперметры в цепях электродвигателей приводов с выводом показаний на пульт управления и по месту для контроля за нагрузкой указанных машин.

В приемниках пневмотранспортных установок с механическим побуждением должно быть предусмотрено блокировочное устройство для выключения подачи продукта на ротор при завале приемника.

Транспортные коммуникации должны содержать минимальное количество точек перегрузки и иметь минимальную протяженность. Размещение производственного оборудования должно обеспечивать свободный доступ для его обслуживания и уборки пыли. Нагрузки на оборудование должны соответствовать паспортным данным, Нормам технологического проектирования и Правилам организации и ведения тех-

нологического процесса. Оборудование при эксплуатации должно быть в технически исправном состоянии, обеспечивающем безаварийную работу между плановыми ремонтами, его следует использовать в соответствии с требованиями технологической схемы по производительности и назначению.

Взрывозащита переносных светильников должна быть не ниже уровня «электрооборудование повышенной надежности против взрыва» (знак уровня – 2). Электродвигатели должны иметь защиту от перегрузок и коротких замыканий.

При сортовых помолах пшеницы влажность зерна на 1 драной системе должна быть не менее 15 %, при сортовых помолах ржи – не менее 13,5%. При переработке в сортовую муку пшеницы стекловидностью менее 40 % допускается влажность на 1 драной системе не менее 14,5 %. Все свежесобранное зерно перед сушкой необходимо подвергать предварительной очистке в ворохоочистителях или сепараторе для отделения грубых, крупных и легких примесей.

Для транспортирования отходов производства следует использовать самотечный, механические (нории, цепные конвейеры, ленточные и безроликовые конвейеры в закрытых кожухах) транспорт и пневмотранспорт. При этом ленточные и безроликовые конвейеры должны иметь скорость не более 1,0...1,5 м/с. Запрещается транспортирование отходов производства на открытых ленточных конвейерах. В помещениях категорий Б и В запрещено устройство выгрузки отходов производства в тару.

12.2.2. Производственное оборудование

Для снижения пылевыведения в производственные помещения к оборудованию предъявляют требования по его герметичности. Нории, ленточные и винтовые конвейеры (шнеки) на натяжных барабанах или концевых валах должны иметь реле контроля скорости. Реле контроля скорости должны быть заблокированы с приводом оборудования, на котором оно установлено, и с оборудованием, подающим продукт на транспортное оборудование.

К **техническим средствам**, применяемым в настоящее время и направленным на предотвращение возможностей возникновения аварийных ситуаций, следовательно, условий возникновения взрыва в нориях, относят:

- реле контроля скорости (РКС), применяемые для норий производительностью 50 т/ч и выше;

- мембранные датчики уровня (подпора), устанавливаемые на всех нориях независимо от их производительности;
- блокирующие устройства;
- защиту привода от перегрузок;
- противозавальные устройства.

Эффективность работы РКС как одного из основных средств взрывопредупреждения определяется составом технических средств, тщательностью настройки и условиями их эксплуатации. На предприятиях по хранению и переработке зерна в качестве датчиков РКС используют датчики магнитоиндуктивные ДМ-2 и тахогенераторные УПДС, в качестве технологического реле – реле скорости РС-2М, РС-67, УКС. Все реле реализуют один и тот же принцип для осуществления своей основной функции – воспринимают, детектируют и фильтруют напряжение, поступающее от датчика скорости, сравнивают его с заданной (в неявном виде) установкой скорости и регулируют при изменении результатов сравнения состояние контактов выходного электромагнитного реле в цепях контроля и управления.

Одно из основных условий ликвидации пробуксовки лент вследствие их недостаточного натяжения – контроль за положением ремня относительно барабанов и своевременная регулировка его схода. Основным способом регулировки – натяжными и регулировочными винтами.

Нории должны иметь автоматически действующие тормозные устройства, предохраняющие ленту от обратного хода.

Цепные конвейеры должны иметь датчики подпора продукта, обеспечивающие автоматическое отключение привода конвейера в случае подпора транспортируемого продукта.

Винтовые конвейеры должны иметь надежное блокирующее устройство, обеспечивающее отключение электропривода при подпоре в конвейере.

Дробильно-измельчающее оборудование должно иметь устройства для его автоматической остановки в случае прекращения подачи продукта (сырья).

Материало- и воздуховоды, подвергающиеся в процессе эксплуатации частой разборке, следует выполнять легкоразъемными, надежно загерметизированными. Резьбовые соединения деталей и узлов оборудования должны быть снабжены устройствами, исключающими их самоотвинчивание.

Зерносушильные агрегаты должны иметь систему автоматики, предотвращающую поступление топлива в форсунку, в случаях, когда

переполнен зерном бункер теплообменника, произошел отрыв факела форсунки и др.

Запрещена работа зерносушильного агрегата, имеющего нарушенную герметичность топливопроводов, неплотное соединение форсунки с камерой сгорания, неисправные дымоходы и другие дефекты, допускающие проникновение продуктов сгорания в помещение или сушильное отделение.

Запрещено использовать в качестве воздухопроводов аспирационных установок на горизонтальных и наклонных участках витые трубы. В воздухопроводах не допускается отложение пыли.

Пылеуловители и воздуходувные машины следует заземлять дополнительно отдельно.

Допустимая безопасная температура нагрева поверхностей оборудования, материалопроводов и воздухопроводов составляет 80 % температуры самонагрева горючих пылей, склонных к самовозгоранию, и 80 % температуры самовоспламенения пылей, не склонных к самовозгоранию.

12.2.3. Производственные здания, помещения и сооружения

Внутренние поверхности стен, потолков, несущих конструкций, заполнений дверных проемов и полов должны быть гладкими (без выступов, впадин, поясков), позволяющими легко производить их очистку от пыли. Все производственные и складские помещения, а также находящиеся в них оборудование и механизмы следует содержать в чистоте.

Уборку пыли на предприятиях, в т.ч. на крышах зданий, проводят в строгом соответствии с графиками для конкретных участков производства необходимо указывать периодичность уборки (ежесменно, ежедневно, ежемесячно, ежеквартально и т.д.).

Графики уборки пыли следует разрабатывать на каждом конкретном предприятии, их утверждает директор предприятия или главный инженер. Графики уборки пыли должны быть вывешены на рабочих местах.

Производственные помещения, в которых происходит выделение горючих производственных пылей, должны быть обеспечены стационарными или передвижными пылесосными установками для систематического удаления пыли с потолка, стен, полов, поверхности оборудования.

12.3. Взрывозащита

12.3.1. Производственное оборудование и технологические процессы

При проектировании новых и реконструкции действующих предприятий по хранению и переработке зерна следует применять системы взрывозащиты, предусматривающие:

- взрыворазрядители, устанавливаемые в соответствии с Временной инструкцией №9-1-88 по расчету, проектированию и эксплуатации взрыворазрядителей для производственного оборудования предприятий;
- быстродействующие задвижки или другие типы огнепреградителей, устанавливаемые в местах наиболее вероятного возникновения взрыва и заблокированные с быстродействующими задвижками или другими типами огнепреградителей, приводами машин, звуковой и световой сигнализацией на пульте управления;
- датчики-индикаторы взрыва, устанавливаемые в местах наиболее вероятного возникновения взрыва и заблокированные с быстродействующими задвижками или другими типами огнепреградителей, приводами машин, звуковой и световой сигнализацией на пульте управления.

При проектировании новых и реконструкции действующих предприятий необходимо применять автоматические противопожарные клапаны, перекрывающие при возникновении пожара технологические проемы для пропуска лент конвейеров и устанавливаемые в противопожарных стенах и перегородках.

При размещении оборудования в производственных помещениях не допускается загромождать пути эвакуации и наружные легкобрасываемые ограждающие конструкции.

В защищаемом взрыворазрядителями оборудовании должны быть предусмотрены отверстия, а при необходимости – специальные переходные патрубки для присоединения к нему взрыворазрядителей.

12.3.2. Производственные здания, помещения и сооружения

В производственных помещениях и лестничных клетках зданий и сооружений категории Б, рабочих зданий и сооружений категории Б, рабочих зданий элеваторов и зерноочистительных отделений мукомольных заводов должны быть предусмотрены наружные легкобрасываемые ограждающие конструкции (ЛСК), площади которых следует определять в соответствии с Временной инструкцией по определению площади легкобрасываемых конструкций зданий, помещений и соору-

жений предприятий по хранению и переработке зерна, исходя из допустимой в помещении величины избыточного давления, которое может возникнуть в аварийной ситуации при взрыве.

При отсутствии расчетных данных площади ЛСК должны быть не менее $0,03 \text{ м}^2$ на 1 м^3 объема помещения, а для лестничных клеток и галерей – не менее $0,06 \text{ м}^2$ на 1 м^3 . В качестве легкобрасываемых конструкций следует использовать остекление окон с толщиной стекла 3, 4, 5 мм и площадью отдельного стекла не менее соответственно 0,8, 1,0, $1,5 \text{ м}^2$.

При недостаточной площади остекления допустимо в качестве ЛСК использовать конструкции стеновых панелей и плит с применением стальных, алюминиевых, асбоцементных листов с утеплителем (для отапливаемых помещений), открывающихся наружу распашных ворот, дверей и других конструкций, крепления которых к каркасу здания или запорные устройства (для ворот и дверей) обеспечивают сбрасывание (открывание) указанных конструкций при избыточном давлении, не превышающем 2 кПа (200 кгс/м^2) в момент взрыва.

Собственная масса легкобрасываемых конструкций покрытий не должна превышать 70 кг/м^2 . При использовании вышеперечисленных конструкций ЛСК необходимо предусматривать разработку мероприятий, направленных на исключение возможности их случайного повреждения (разрушения). ЛСК следует устраивать в наружных стенах и (или) покрытиях помещений, размещать равномерно по периметру наружных ограждающих стен или площади покрытия, не оставляя глухих, не защищенных от взрыва участков помещения.

При проектировании новых предприятий следует учитывать, что недопустимо наличие подвалов, тоннелей и каналов в зданиях категории Б и на территориях, где располагаются наружные установки категории Б.

Допустима эксплуатация действующих предприятий со зданиями и помещениями категории Б, имеющими подвальные этажи, при условии их обеспеченности ЛСК в соответствии с вышеизложенными требованиями. При этом легкобрасываемые конструкции устраивают с использованием приемков.

При проектировании новых и реконструируемых предприятий двери в тамбурах-шлюзах предусматривают открывающимися в разные стороны (например, из производственных помещений в тамбуры-шлюзы – против хода эвакуации, из тамбуров-шлюзов на лестничные клетки по ходу эвакуации).

Покрытия, перекрытия, стены и перегородки помещений категорий Б и В не должны иметь открытых проёмов, не заглушенных отверстий и щелей. Монтажные проёмы в междуэтажных перекрытиях должны быть

закрыты несгораемыми герметичными конструкциями, рассчитанными на равномерную нагрузку от давления взрыва не менее 5 кПа (500 кгс/м²).

При проектировании новых предприятий все строительные конструкции производственных помещений (стены, перекрытия, перегородки, двери и т.д.), за исключением ЛСК, следует рассчитывать на равномерную нагрузку от давления взрыва не менее 5 кПа (500 кгс/м²).

В зданиях категорий Б и В размещение вспомогательных помещений с массовым (временным и постоянным) пребыванием людей (красных уголков, комнат для собраний и т.д.) не допускается. При проектировании новых и реконструкции действующих предприятий вспомогательные помещения для обслуживающего персонала следует размещать в отдельно стоящих зданиях.

Вспомогательные помещения располагают в торце в пристройке производственных зданий со стороны помещений категории Г, Д, В (за исключением элеваторов и зерноочистительных отделений мукомольных заводов).

В производственных зданиях размещают диспетчерскую, помещения для обогрева рабочих, вальцerezную мастерскую и подсобные помещения, не требующие постоянного пребывания людей. Двери эвакуационных выходов должны быть без замков, а также других запоров снаружи.

Во всех производственных и вспомогательных помещениях (коридорах, лестничных клетках и т.п.), расположенных на путях эвакуации, должно быть предусмотрено аварийное освещение, подсоединяемое к сети, не зависящей от сети рабочего освещения.

При проектировании новых предприятий над – и подсилосные помещения элеваторов и складов бестарного хранения муки следует отделять от производственных помещений мукомольных заводов противопожарными перегородками, выдерживающими равномерную нагрузку не менее 5 кПа (500 кгс/м²).

12.4. Взрывобезопасность

12.4.1. Общие требования

Обязанность и ответственность административно-технического персонала по охране труда определяют отраслевые правила пожарной безопасности, Правила техники безопасности и производственной санитарии.

Ответственность за принятие мер по обеспечению взрывобезопасности предприятий системы хлебопродуктов возложена персонально на их руководителей (директоров) без права передоверия этой ответствен-

ности другим, подчиненным им лицам. Лицами, ответственными за взрывобезопасность отдельных цехов и подразделений предприятия, являются их руководители (начальники, заведующие), которые несут персональную ответственность за взрывобезопасность цехов, нарушение норм и правил взрывобезопасности на подведомственных им участках работы и за все последствия этих нарушений.

Назначение указанных лиц ответственными за взрывобезопасность оформляет приказом руководитель предприятия. Ответственность за соблюдение требований взрывобезопасности в каждой смене несет начальник смены (сменный инженер, сменный мастер), а на каждом рабочем месте – работник, обслуживающий участок, станок, группу станков, агрегат, систему, установку. Ответственность за общее состояние аспирационных и пневмотранспортных установок на предприятии возложена на главного инженера предприятия, за правильную эксплуатацию аспирационных и пневматических установок, пылеуловителей – на начальника цеха и начальников смен.

Ответственность за обеспечение своевременной и качественной уборки пыли в производственных помещениях и оборудовании возложена на начальника цеха (участка).

На каждом предприятии должен быть полный комплект технической документации:

- чертежи строительные (планы, разрезы, характеризующие конструкции зданий и сооружений);
- чертежи монтажные с расположением всего оборудования, машин, агрегатов;
- технологические схемы;
- схемы электротехнической части проекта с указаниями типа электрических машин, необходимых характеристик кабелей, электрических сетей, пусковых приборов и др.;
- схемы аспирационных установок, их характеристики и паспорта;
- технический паспорт взрывозащиты;
- паспорта или техдокументации устанавливаемого по утвержденной схеме технологического и транспортного оборудования.

Все новшества, связанные с техническим перевооружением, реконструкцией и другими работами, должны быть отражены в технической документации, в которую вносят изменения, или в новых чертежах, оформляемых в установленном порядке. Вся техническая документация должна быть сосредоточена в техническом отделе или у главного инженера. На каждом предприятии должны быть годовые или перспективные планы повышения их взрывобезопасности. В проектной документации

на новое строительство и реконструкцию должен быть предусмотрен самостоятельный раздел по охране труда и взрывопожаробезопасности.

Повышение производительности предприятия при формировании планов производства должно в обязательном порядке сопровождаться разработкой и внедрением технических средств и мероприятий, направленных на обеспечение взрывобезопасности производственных процессов.

Для обеспечения бесперебойной работы оборудования и предотвращения случаев аварийного выхода оборудования из строя необходимо обеспечивать требования системы планово-предупредительного ремонта (система ППР) в соответствии с Инструкцией по организации и проведению ремонта технической базы хлебоприемных и зерноперерабатывающих предприятий.

Инструкция предусматривает составление графика на каждую единицу оборудования с указанием периодичности и объема профилактических ремонтов, замены и проверки основных узлов, регламента технического обслуживания, номенклатуры и объема запасных узлов, деталей и материалов.

Графики ППР утверждает директор или главный инженер предприятия. Ответственность за составление и выполнение графиков ППР несут главный механик и главный энергетик предприятия.

12.4.2. Обучение и инструктаж персонала по взрывобезопасности

Обучение и инструктаж персонала по взрывобезопасности входит составной частью в содержание обучения и инструктажа по технике безопасности, установленных ГОСТ 12.0.004–79, отраслевым положением о проведении инструктажа по технике безопасности и обучения рабочих безопасным методам труда.

При инструктаже по взрывобезопасности лиц, вновь принимаемых на работу, нужно ознакомить:

- с действующими на предприятии правилами и инструкциями по взрывобезопасности;
- техническими и организационно-техническими причинами взрывов;
- мерами взрывопреждения и взрывозащиты;
- практическими действиями в случае возникновения взрыва (остановка технологического и транспортного оборудования, отключение вентиляции и электроустановок, порядок эвакуации и сообщения и взрыве и т.д.).

В помещении, где проводят инструктаж, должен быть оборудован специальный уголок с плакатами и другими наглядными пособиями. Программа должна предусматривать изучение:

- основных показателей пожаровзрывоопасности производственных пылей, газов, пылевоздушных, газоздушных и гибридных смесей;
- категорий зданий и помещений по взрывопожароопасности в соответствии с ОНТП 24-86;
- классификацией производственных помещений по взрывной и пожарной опасности в соответствии с правилами устройства электроустановок;
- типичными источниками зажигания (инициирования взрыва) и условия образования взрывоопасных пылевоздушных, газоздушных и гибридных смесей;
- опасными (поражающими) факторами взрыва;
- техническими причинами взрывов;
- организационно-техническими причинами взрывов и причинно-следственными связями между нарушениями норм и правил и возникновением аварийной обстановки;
- распределением взрывов по причинам, местам возникновения и производствам;
- мерами взрывопредупреждения;
- мерами взрывозащиты;
- поведением обслуживающего персонала в аварийной ситуации;
- порядком сообщения о взрывах;
- действующими нормативно-техническими документами по взрывобезопасности.

12.4.3. Контроль за соблюдением требований взрывобезопасности

Ведомственное обследование состояния взрывобезопасности предприятия осуществляют представители вышестоящих организаций или специалисты научно-исследовательских организаций в соответствии с отраслевой Инструкцией по проверке состояния взрывобезопасности предприятий по хранению и переработке зерна.

Ведомственные проверки состояния взрывобезопасности предприятий осуществляют областные (краевые, республиканские) объединения хлебопродуктов ежегодно. Главный инженер предприятия и лица, ответственные за взрывопожаробезопасность отдельных цехов предприятия, должны контролировать правильность заполнения и последующего ведения паспорта взрывозащиты производственных зданий, сооружений и оборудования. Проверку срабатывания сигнализации, систем локализации взрыва и блокировок оборудования следует проводить не реже одного раза в квартал.

Контроль работы аспирационных установок предприятия следует производить не реже одного раза в год (в отопительный период); запыленность воздуха контролируют приборами, которые могут быть использованы во взрывоопасных помещениях класса В – II а.

Контроль за напряженности электростатического поля и электризации оборудования следует производить приборами ИНЭП-1 и С96 согласно инструкциям по их эксплуатации.

Визуальным осмотром следует постоянно контролировать состояние подшипников и редукторов.

Соответствие устройств защитного заземления и зануления требованиям ГОСТ 12.1.030–81 должно периодически устанавливаться в процессе эксплуатации указанных устройств в соответствии с Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.

Все результаты контроля следует заносить в соответствующие журналы с указанием даты за подписью ответственного лица.

12.4.4. Мероприятия при возникновении предаварийных и аварийных ситуаций

При появлении опасных предаварийных ситуаций (запах гари или дыма, малейших признаков загорания, шума, возникающего при аварийном трении вращающихся деталей машин, завала машины продуктом, повышенной вибрации оборудования, поломки шкива, шестерни и других деталей машин, попадания в оборудование посторонних предметов и т.п.) оборудование должно быть немедленно остановлено. Его запуск может быть произведен только после выявления и устранения причин неполадок.

В случае обнаружения запаха гари или загорания материала в оборудовании все транспортное, технологическое и аспирационное оборудование цеха должно быть остановлено и тщательно проверено. Ликвидацию загорания необходимо производить при непосредственном участии работников пожарной охраны либо членов добровольной пожарной дружины предприятия.

Запуск оборудования после ликвидации загорания следует производить после оформления специального письменного разрешения руководителя предприятия.

При уборке места аварии, связанной с загоранием, запрещается загрузка завалов и россыпей продукта в бункера и силосы на хранение.

При обнаружении загорания зерна в сушилке необходимо немедленно выполнить следующее:

- сообщить о загорании в пожарную охрану (часть) УПО МЧС России;

- перекрыть подачу зерна из сушилки в элеватор или склад, не прекращая подачу сырого зерна в зерносушилку и не допуская опорожнения надсушильного бункера;

- выключить все вентиляторы и закрыть задвижки в воздуховоде от топки к сушилке;

- увеличить скорость прохождения зерна по сушильной шахте, не допуская образования в ней незаполненных зерном зон и снижения уровня зерна в надсушильном бункере до высоты менее 1 м;

- выпускать зерно из зерносушилки на пол, тлеющее зерно собирать в железные ящики или ведра и заливать водой.

После освобождения сушильного агрегата от горящего зерна шахты, бункера, камеры нагрева следует тщательно очистить от остатков пригоревшего зерна, обратив внимание на очистку коробов или тормозящих элементов.

При обнаружении загорания (самовозгорания) зерна, мучнистых продуктов следует немедленно остановить и обесточить все оборудование, удалить обслуживающий персонал, сообщить о случившемся руководству предприятия и в территориальный гарнизон пожарной охраны.

Для ликвидации аварийной ситуации необходимо создать штаб, в состав которого должны входить представители администрации предприятия и Государственной противопожарной службы, представители штаба гражданской обороны.

Методы и приемы подачи огнегасящих веществ в очаг загорания и последовательность выпуска продукта определяет штаб, исходя из условий реальной обстановки. При этом запрещается нахождение в здании в непосредственной близости от него людей, не привлеченных к тушению загорания, а также тушение загорания компактной направленной струей воды.

Руководитель предприятия после происшедшего взрыва обязан принять меры по обеспечению сохранения обстановки на месте аварии (состояние конструкций и оборудования) до начала расследования в таком виде, в каком она была в первый момент аварии (если это не угрожает воздействию на рабочих опасных факторов взрыва и не может вызвать дальнейшее развитие аварии).

В случае вынужденной разборки завалов, вызванной необходимостью спасения пострадавших, разобранные строительные конструкции и оборудование необходимо сохранять до окончания расследования.

Техническое расследование взрывов (хлопков) следует проводить в соответствии с отраслевой Инструкцией о порядке технического расследования взрывов (хлопков).

12.5. Планово-предупредительный ремонт

В условиях современного высокомеханизированного производства эффективность работы элеваторов, мукомольных заводов и хлебозаводов, а также качество выпускаемой продукции непосредственно связаны с техническим состоянием основных фондов. В процессе эксплуатации основные фонды подвергаются физическому износу в результате разрушения строительных конструкций, изнашивания, усталостного разрушения и изменения свойств материалов деталей оборудования. Эти процессы снижают эксплуатационные характеристики зданий и технические показатели оборудования, увеличивают вероятность взрывов.

Важнейшая роль в обеспечении необходимого технического состояния основных фондов принадлежит системе планово-предупредительного ремонта (ППР). В настоящее время в отрасли действует Положение об организации и проведении ремонта основных фондов предприятий.

Системой ППР на предприятиях отрасли решают следующие задачи:

- поддержание оборудования в рабочем состоянии, обеспечивающем его необходимую производительность и высокое качество выпускаемой продукции;
- предотвращение взрывов, пожаров и аварийного выхода оборудования из строя;
- увеличение производительности оборудования модернизацией;
- внедрение отдельных средств взрывозащиты и взрывопредупреждения, которая может быть выполнена в период ремонта;
- снижение расходов на ремонт оборудования в результате повышения производительности труда, экономии материалов, применения передовых методов ремонтных работ.

Система ППР предусматривает следующее:

- текущее наблюдение и периодический осмотр сооружений, машин и оборудования для своевременного устранения неисправностей;
- правильная подготовка машин и оборудования к работе;
- правильный уход за машинами и оборудованием во время их эксплуатации с соблюдением установленных режимов использования,

наблюдением за состоянием смазки, защиты от атмосферных, тепловых и прочих воздействий внешней среды;

- своевременное и качественное проведение текущего и капитального ремонтов, выполняемых в планово-предупредительном порядке.

Все виды ремонта производят за счет средств ремонта основных фондов, создаваемых в производственных объединениях и на предприятиях по нормативам затрат на ремонт основных фондов с включением их в себестоимость продукции, работ и услуг.

Планирование и проведение ремонтных работ на предприятиях отрасли проводят в следующем порядке:

- на элеваторах и хлебоприемных предприятиях основные ремонтные работы – в период подготовки материально-технической базы к приемке зерна нового урожая. Кроме того, осуществляют меры для проведения круглогодичного ремонта;

- капитальный ремонт хлебоприемных предприятий можно производить как собственными силами, так и силами подрядных организаций в пределах общих лимитов подрядных работ. Для организации планово-предупредительного ремонта оборудования хлебоприемных предприятий, учитывая их сезонную работу, необходимо на каждом объекте и предприятии организовать ежедневный учет работы оборудования;

- подготовку к ремонту начинают с обследования состояния объектов после окончания массового поступления зерна. По приказу директора предприятия устанавливают срок и назначают комиссию для проведения технического осмотра в составе главного инженера, главного механика (главного энергетика), инженера одного из специалистов по пожарной безопасности или технике безопасности и одного представителя производственного цеха. В результате осмотра составляют ведомости дефектов.

13. ОГNETУШАЩИЕ ПОРОШКИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Огнетушащие порошки специального назначения предназначены для тушения пожаров класса Д (подклассы: Д1, Д2, Д3):

Класс Д – горение металлов и металлосодержащих веществ (ГОСТ 27331);

Д1 – горение лёгких металлов и их сплавов (алюминий, магний и др.), кроме щелочных;

Д2 – горение щелочных металлов, (натрий, калий и др.);

Д3 – горение металлосодержащих соединений (металлоорганические соединения, гидриды металлов).

Таблица 13.1

Примерные нормативные расходы
огнетушащего порошка на основе хлоридов калия и натрия
при тушении различных металлов

Объект тушения	Расход хлоридного порошка, кг/м ²
Порошок циркония	90
Стружка урана	90
Порошок бериллия	60
Натрий (слой менее 2см.)	40
Магний (мелкая стружка)	40
Магний-литиевый сплав (стружка)	50
Тантал	25
Ниобий	25
Порошок двуокиси урана	10
Кальций-алюминиевые сплавы с содержанием кальция менее 70 %	55
Литий	20

Для тушения пожаров металлических порошков и стружки следует использовать огнетушащие порошки на основе хлорида калия:

- ПХК – ТУ 2149-197-10968286-06, изм. 2;
- ПГХК «Завеса» – ТУ 84-07509103.452-96.

Для тушения пожаров натрия и металлоорганических соединений:

- Вексон-Д2 (ТУ 2149-024-75625634-99, с изм. 1);
- Вексон-Д3 (ТУ 2149-036-10968286-97, с изм. 2) соответственно.

Требования по эксплуатационным характеристикам и огнетушащей способности порошков специального назначения приведены в ГОСТ Р 53280.5–2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 5. Порошки огнетушащие специального назначения. Общие технические требования. Методы испытания. Классификация.

Отличия требований к порошкам специального назначения от требований к порошкам общего назначения

- насыпная плотность;
- текучесть;
- остаток в огнетушителе;
- способ подачи в очаг горения.

13.1. Огнетушащие порошки общего назначения

Огнетушащие порошки общего назначения предназначены для тушения пожаров классов А, В, С, Е:

класс А – горение твёрдых веществ;

класс В – горение жидких веществ;

класс С – горение газообразных веществ;

класс Е – объект тушения может находиться под напряжением электрического тока.

Преимущества: высокая скорость подавления пламенного горения.

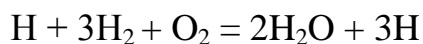
Универсальность – способность тушить пожары всех классов, возможность хранения и применения при любых реальных отрицательных температурах.

Недостаток: отсутствие охлаждающего эффекта.

Пламенное горение углерод – водородсодержащих веществ представляет собой цепную реакцию.

В ходе разветвленных цепных реакций при взаимодействии одного из активных центров возникает более чем один (часто – три) новый активный центр, т.е. происходит размножение цепей.

Примером разветвлённой цепной реакции может служить окисление водорода, где разветвление и продолжение цепей происходит суммарно:



Огнетушащие порошки, сорбируя на себя активные центры, подавляют цепной процесс горения.

Пожаротушение тлеющего горения (углерода) по своему механизму аналогично тушению металлов.

Классы солей, применяемых в качестве основы огнетушащих порошков:

- бикарбонаты натрия и калия;
- хлориды натрия и калия;
- фосфорноаммонийные соли.

Антислеживающие добавки и добавки для текучести:

- алюмосиликаты;
- оксиды;
- карбонаты;
- аэросил;
- белая сажа.

13.2. Огнетушащие порошки специального назначения

Общие технические требования и методы испытаний. Классификация (ГОСТ Р 53280.5-2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества)

Коммерческое название	Номер ТУ	Основной огнетушащий компонент состава	Классы пожаров, для которых применим ОПС	Производитель
ПХК	2149-197-10968286-2006	Хлорид калия	В, С, Д	ЗАО «Экохиммаш» г. Буй, Костромской обл.
ПСБ-3М	2149-017-10968286-95	Бикарбонат натрия	В, С, Е	ЗАО «Экохиммаш» г. Буй, Костромской обл.
ПГХК «Завеса»	84-07509103.452-96	Хлорид калия	В, С, Д, Е	АО НИИПМ, г. Пермь
Вексон АВС-25	2149-028-10968286-97	Аммофос	А, В, С, Е	ЗАО «Экохиммаш» г. Буй, Костромской обл.
Вексон АВС-50	2149-028-10968286-97	Аммофос	А, В, С, Е	ЗАО «Экохиммаш» г. Буй, Костромской обл.
П-ФКЧС	2149-084-10964029-98	Аммофос	А, В, С, Е	ЗАО «ФК» г. Буй, Костромской обл.
П-АГС	2149-001-00159158-99	Аммофос	А, В, С, Е	ГУП Ленинск-Кузнецкий завод шахтно-пожарного оборудования, г. Ленинск-Кузнецкий, Кем.обл
Фоскон-432	2149-131-10964029-2000	Бикарбонат натрия	В, С, Е	ЗАО «ФК» г. Буй, Костромской обл.
Вексон ВС-30	2149-086-10968286-2000	Бикарбонат натрия	В, С, Е	ЗАО «Экохиммаш» г. Буй, Костромской обл.
Вексон ВС-60	2149-086-10968286-2000	Бикарбонат натрия	В, С, Е	ЗАО «Экохиммаш» г. Буй, Костромской обл.
Вексон ВС-90	2149-086-10968286-2000	Бикарбонат натрия	В, С, Е	ЗАО «Экохиммаш» г. Буй, Костромской обл.
ИСТО-1	2149-001-54572789-00	Аммофос	А, В, С, Е	ЗАО «Источник Плюс», г. Бийск, Алтайского края

Продолжение таблицы

Коммерческое название	Номер ТУ	Основной огнетушащий компонент состава	Классы пожаров, для которых применим ОПС	Производитель
Феникс АВС-40	2149-005-18215408-00	Аммофос	А, В, С, Е	ЗАО «Каланча», Моск. обл., г. Сергиев Посад,
Феникс АВС-40	2149-005-18215408-00	Аммофос	А, В, С, Е	ЗАО «Каланча», Московская обл., г. Сер- гиев Посад,
Бастион	2149-182-07507802-2002	Аммофос	А, В, С, Е	АО НИИПМ, г. Пермь
Фоскон-430	2149-200-10964029-2003	Аммофос	А, В, С, Е	ЗАО «ФК» г. Буй, Костромской обл.
Волгалит-АВС		Аммофос	А, В, С, Е	ЗАО «В.В.П.» г. Нижний Новгород
Волгалит-ВС		Аммофос	А, В, С, Е	ЗАО «В.В.П.» г. Нижний Новгород
ОБЕРЕГ	2149-003-73958298-2005	Аммофос	А, В, С, Е	ООО «ЗПО ОБЕРЕГ» г. Новосибирск

14. ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Стандарт (ГОСТ 12.1.018-93 2001) устанавливает общие требования электростатической искробезопасности (ЭСИБ) в целях обеспечения пожаровзрывобезопасности производственных процессов, их компонентов (людей – участников процессов, производственного оборудования), веществ и материалов, а также окружающей среды (далее – объектов защиты).

Электростатическая искробезопасность должна обеспечиваться за счет создания условий, предупреждающих возникновение разрядов статического электричества, способных стать источником зажигания объектов защиты.

Для оценки электростатической искробезопасности объекта защиты необходимо определить:

- электростатическую искроопасность объекта защиты;
- чувствительность объекта защиты к зажигающему воздействию разрядов статического электричества.

Электростатическая искроопасность объекта защиты выражается энергией разряда статического электричества W , который может возникнуть внутри объекта или с его поверхности.

Электростатическая искроопасность объекта защиты должна определяться в соответствии с отраслевыми нормативно-техническими документами и стандартами предприятия.

Электростатическую искроопасность объекта защиты определяют следующие показатели:

- *электростатические свойства материалов* – удельное объемное электрическое сопротивление, удельное поверхностное электрическое сопротивление, относительная диэлектрическая проницаемость и постоянная времени релаксации электрических зарядов;
- *геометрические параметры* – данные о расположении объемного и поверхностного электрического заряда относительно заземленных электропроводных поверхностей; данные о конфигурации (форма, толщина) покрытий, пленок или непроводящих стенок, являющихся составными частями объекта защиты;
- *динамические характеристики процессов* – скорость относительного перемещения находящихся в контакте тел, слоев жидкости или сыпучих материалов; взаимное давление находящихся в контакте тел; интенсивность диспергирования и скорость деформации твердых тел;

• *параметры, характеризующие окружающую среду* – температура, давление, влажность, содержание аэрозолей или пыли, окислителей, горючих, тушащих или инертных веществ.

Чувствительность объекта защиты к зажигающему воздействию разрядов статического электричества определяется минимальной энергией зажигания веществ и материалов W_{\min} .

Электростатическая искробезопасность объекта защиты достигается при условии выполнения соотношения

$$W \leq K \cdot W_{\min},$$

где W – энергия разряда, который может возникнуть внутри объекта или с его поверхности, Дж;

K – коэффициент безопасности, выбираемый из условий допустимой (безопасной) по ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.010 вероятности зажигания или принимаемый равным 0,4;

W_{\min} – минимальная энергия зажигания, Дж.

За энергию разряда статического электричества допускается принимать энергию, выделяющуюся на участке искрового канала длиной l , соответствующую длине разрядного промежутка, при котором определена чувствительность объекта защиты к зажигающему воздействию разрядов статического электричества.

Для газо- и паровоздушных смесей допустимо принимать

$$l \geq 2S_0.$$

где S_0 – безопасный экспериментальный зазор (БЭМЗ), определяемый по ГОСТ 12.1.011¹.

Для пылевоздушных смесей допускается применять длину участка l , установленную по методу определения минимальной энергии зажигания в ГОСТ 12.1.044.

Минимальную энергию зажигания указывают в стандартах и технических условиях на вещества и материалы, а также в системах стандартных справочных данных.

Электростатическую искробезопасность объектов защиты следует обеспечивать снижением электростатической искроопасности (п.5) и их чувствительности (увеличением W_{\min}) к зажигающему воздействию разрядов статического электричества (п.6).

Снижение электростатической искроопасности объектов следует обеспечивать регламентированием показателей по п.5 и применением средств защиты от статического электричества в соответствии с ГОСТ 12.4.124.

¹ На территории Российской Федерации действует ГОСТ Р 51330.2-99.

Снижение чувствительности объектов, окружающей и проникающей в них среды к зажигающему воздействию разрядов статического электричества следует обеспечивать регламентированием параметров производственных процессов (влажностерождения и дисперсности аэрозвесей, давления и температуры среды и др.), влияющих на *W* и флегматизацию горючих сред.

14.1. Средства защиты от статического электричества

14.1.1. Классификация

Средства защиты работающих по ГОСТ 12.4.011-75 делятся на средства коллективной защиты и средства индивидуальной защиты.

Средства коллективной защиты от статического электричества по принципу действия делятся на следующие виды:

- заземляющие устройства;
- нейтрализаторы;
- увлажняющие устройства;
- антиэлектростатические вещества;
- экранирующие устройства.

Нейтрализаторы по принципу ионизации делятся:

- на индукционные;
- высоковольтные;
- лучевые;
- аэродинамические.

Увлажняющие устройства по характеру действия делятся:

- на испарительные;
- распылительные.

Антиэлектростатические вещества по способу применения делятся:

- на вводимые в объем;
- наносимые на поверхность.

Экранирующие устройства по конструктивному исполнению делятся:

- на козырьки;
- перегородки.

Средства индивидуальной защиты в зависимости от назначения делятся:

- на специальную одежду антиэлектростатическую;
- специальную обувь антиэлектростатическую;

- предохранительные приспособления антиэлектростатические (кольца и браслеты);
- средства защиты рук антиэлектростатические.

14.1.2. Общие технические требования

СЗСЭ, применяемые в пожаро- и взрывоопасных помещениях, должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.004-85, ГОСТ 12.1.010-76, ГОСТ 12.1.011-78, ГОСТ 12.1.018-79, ГОСТ 12.1.044-84, ГОСТ 12.2.020-76, ГОСТ 12.2.021-76, ГОСТ 22782.1-77, ГОСТ 22782.2-77, ГОСТ 22782.4-78, ГОСТ 22782.5-78, правил устройства электроустановок, утвержденных Госэнергонадзором (ПУЭ), и правил изготовления взрывозащищенного и рудничного оборудования, утвержденных Госгортехнадзором СССР.

СЗСЭ должны обеспечивать соблюдение требований санитарно-гигиенических норм допустимой напряженности электростатического поля, утвержденных Министерством здравоохранения СССР.

СЗСЭ не должны оказывать отрицательного воздействия на технологический процесс.

СЗСЭ должны исключать возникновение искровых разрядов статического электричества с энергией, превышающей 40 % от минимальной энергии зажигания окружающей среды, или с величиной заряда в импульсе, превышающей 40 % от воспламеняющего значения заряда в импульсе для окружающей среды.

Специальная одежда, специальная обувь, предохранительные приспособления антистатические обеспечивают защиту при работе с электроустановками напряжением до 1000 В.

Требования к заземляющим устройствам.

Независимо от применения других СЗСЭ заземление должно применяться на всех электропроводных элементах технологического оборудования и других объектов, на которых возможно возникновение или накопление электростатических зарядов, и соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.007.0-75 и ГОСТ 21130-75.

Выполнение заземляющих устройств должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.030-81 и ПУЭ. Величина сопротивления заземляющего устройства, предназначенного исключительно для защиты от статического электричества, должна быть не выше 100 Ом.

Заземление трубопроводов и других объектов, расположенных на наружных эстакадах, должно быть выполнено в соответствии с действующими указаниями по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений, утвержденными Госстроем СССР.

Заземляющие устройства должны применяться на электризующихся движущихся узлах производственного оборудования, изолированных от заземленных частей.

Требования к нейтрализаторам.

Нейтрализаторы должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.006-84, санитарно-гигиенических норм допустимых уровней ионизации воздуха в производственных и общественных помещениях, норм радиационной безопасности, основных санитарных правил работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений, утвержденных Министерством здравоохранения СССР.

Концентрация озона и окислов азота, выделяемых работающими нейтрализаторами, не должна превышать норм, установленных ГОСТ 12.1.005-76.

Общие требования электробезопасности к высоковольтным нейтрализаторам – по ГОСТ 12.1.019-79 и ПУЭ.

На корпусах радиоизотопных нейтрализаторов должны быть изображены знаки радиационной безопасности по ГОСТ 17925-72.

Антиэлектростатические вещества должны обеспечивать снижение удельного объемного электрического сопротивления материала до величины 10^7 Ом·м, удельного поверхностного электрического сопротивления до величины 10^9 Ом, метод определения которых указан в ГОСТ 6433.2-71, ГОСТ 6581-75. Содержание паров антистатиков в рабочей зоне не должно превышать предельно допустимых концентраций по ГОСТ 12.1.005-76.

Экранирующие устройства должны быть заземлены в соответствии с требованиями ПУЭ.

Требования к антиэлектростатической специальной одежде

Для изготовления антиэлектростатической специальной одежды должны применяться материалы с удельным поверхностным электрическим сопротивлением не более 10^7 Ом. Метод определения удельного поверхностного электрического сопротивления по ГОСТ 19616-74.

Электрическое сопротивление между токопроводящим элементом антиэлектростатической специальной одежды и землей должно быть от 10^6 до 10^8 Ом.

Требования к антиэлектростатической специальной обуви

Электрическое сопротивление между подпятником и ходовой стороной подошвы обуви должно быть от 10^6 до 10^8 Ом.

Требования к антиэлектростатическим предохранительным приспособлениям.

Антиэлектростатические кольца и браслеты должны обеспечивать электрическое сопротивление в цепи человек – земля от 10^6 до 10^7 Ом.

Заземляющий проводник антиэлектростатического браслета должен обеспечивать свободу перемещения рук.

На средствах индивидуальной защиты от статического электричества должны наноситься обозначения по ГОСТ 12.4.103-83.

Термины, используемые в разделе, и их пояснения

Термин	Пояснение
Защитное заземление	По ГОСТ 12.1.009-76
Заземляющее устройство	Совокупность заземлителя и заземляющих проводников
Заземлитель	Проводник или совокупность металлических соединенных между собой проводников, находящихся в соприкосновении с землей
Нейтрализатор статического электричества	Устройство, предназначенное для снижения уровня электростатических зарядов путем ионизации электризующегося материала или среды вблизи его поверхности
Индукционный нейтрализатор статического электричества	Нейтрализатор, обеспечивающий ионизацию материала или среды воздействием поля электростатических зарядов
Высоковольтный нейтрализатор статического электричества	Нейтрализатор, обеспечивающий ионизацию материала или среды воздействием высокого напряжения, подаваемого на его электроды
Лучевой нейтрализатор статического электричества	Нейтрализатор, обеспечивающий ионизацию материала или среды под воздействием излучения (радиоактивного, ультрафиолетового, лазерного, теплового и т.п.)
Радиоизотопный нейтрализатор статического электричества	Нейтрализатор, принцип действия которого основан на ионизации воздушной среды радиоактивными источниками
Аэродинамический нейтрализатор статического электричества	Нейтрализатор, в котором ионизированная среда подается к поверхности заряженного материала потоком воздуха
Увлажняющее устройство	Устройство, обеспечивающее необходимую влажность поверхности или объема заряженного материала
Экранирующее устройство	Устройство, обеспечивающее снижение напряженности электростатического поля и количество аэроионов в рабочей зоне до допустимых значений за счет их концентрации в ограниченном объеме вне этой зоны

15. ХРАНЕНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ И СРЕДСТВ ИНИЦИИРОВАНИЯ

Взрывчатые материалы хранят в специальных складах, сооружаемых в соответствии с требованиями ЕПБ ВР, в условиях, обеспечивающих безопасность и предотвращающих порчу и хищение. Все взрывчатые материалы и изделия, их содержащие, применяемые при ПВР, по степени опасности при хранении согласно ЕПБ разделяют на группы совместимости (таблица 15.1).

Взрывчатые материалы различных групп совместимости следует хранить отдельно, а относящиеся к разным подгруппам одной группы совместимости допускается хранить вместе.

Взрывчатые материалы хранят в заводской упаковке с обозначением наименования или шифра ВМ, номера партии и даты изготовления.

Средства инициирования хранят в запаянных или с плотно закрывающейся крышкой металлических оцинкованных коробах, уложенных в деревянные ящики; внутри металлических коробов СИ укладывают рядами в картонные коробки.

Пороховые заряды хранят в закрытых полиэтиленовых мешках.

Срок хранения средств инициирования и пороховых зарядов в негерметичной упаковке существенно ниже, чем в герметичной. Поэтому ВМ, оставшиеся не израсходованными после вскрытия герметичной упаковки, следует уложить в металлический короб с плотно закрывающейся крышкой или в полиэтиленовый мешок.

По истечении гарантийного срока хранения ВМ подвергают контролю, а при необходимости – испытаниям в соответствии с ведомственной инструкцией, согласованной с Ростехнадзором и утвержденной в установленном порядке.

Взрывчатые материалы, выдержавшие испытания, допускают к использованию в течение одного года, некоторые на более длительный срок.

Взрывчатые материалы, не выдержавшие испытаний или не подлежащие дальнейшему хранению, уничтожают в установленном порядке с соблюдением инструкции по эксплуатации соответствующих ВМ и правил безопасности.

Таблица 15.1

Группы совместимости взрывчатых материалов

Группа	Под-группа	Взрывчатые материалы
В		Капсюли-детонаторы, электродетонаторы (кроме высоковольтных), взрывные патроны, пиротехнические реле
С	С1	Пороха и изделия, их содержащие
	С2	Огнепроводный шнур (ОШ), средства зажигания ОШ и порохов, сигнальные и пороховые патроны
D	D1	Взрывчатые вещества с содержанием жидких нитроэфиров 15 % и более, нефлегматизированный гексоген, ТЭН, тетрил
	D2	Детонирующий шнур, электродетонаторы высоковольтные
	D3	Взрывчатые вещества с содержанием жидких нитроэфиров менее 15 %, литой и прессованный тротил и сплавы тротила с другими нитросоединениями, флегматизированный гексоген; взрывчатые вещества не содержащие жидких нитроэфиров: порошкообразные рассыпные, патронированные, листовые, шнуровые, Ошланговые, пластичные, водосодержащие; изделия, содержащие ВВ без средств инициирования и (или) метательных зарядов
	D4	Рассыпные гранулированные ВВ, допущенные Ростехнадзором к механизированному растариванию и заряджанию механизированным способом
F		Неокончательно заряженные стреляющие к взрывные аппараты и другие изделия, содержащие ВВ и средства инициирования (кроме дающих первичный импульс)

15.1. Сроки хранения основных ВМ в заводской упаковке при обеспечении соответствующих условий (в годах)

Кумулятивные заряды к перфораторам ПК, ПКН, ПКО, ПНКТ, ПКС	3
Зарядные комплекты к кумулятивным перфораторам ПР, КПРО	3
Заряды к негерметичным торпедам ТШТ и ТШ	5
Торпеды ТКО, ТКОТ (снаряженные)	2
Труборезы ТРК (снаряженные)	5
Пороховые заряды к пулевым перфораторам ПВН, ПВК, АРВ	5
Пороховые заряды к стреляющим грунтоносам ГМС, ГБСУ, ГМК	5
Пороховые заряды (унитарные) к стреляющим грунтоносам ГБС, МСГ	2
Пороховые заряды к генераторам давления ПГД.БК	2
Пороховые заряды к аккумуляторам (генераторам) давления АДС	3
Взрывные патроны предохранительного действия ПВПД и герметичные ПГ	5
Электродетонаторы ТЭД	2

Капсюли-детонаторы лучевого действия ТКД:	
в герметичной упаковке	5
в негерметичной упаковке	2
Капсюли-детонаторы накольного действия КДН	2
Электровоспламенители ТЭЗ, ЭВПТ:	
в герметичной упаковке	5
в негерметичной упаковке	2
Пиропатроны ПП-9, ППТ-230	2
Детонирующие шнуры ДШУ, ДШТ, ДШТТ	5
Детонирующие шнуры ДШТВ	2
Детонирующие шнуры ДШВ:	
в герметичной упаковке	10
в негерметичной упаковке	3
Детонирующие удлиненные заряды ДУЗТ	3
Устройства инициирования и передачи детонации к перфораторам ПНКТ	2
Пиротехнические пусковые воспламенители ППВ.ПГД.БК	10

Аппараты, содержащие ВВ, хранят неокончательно заряженными в специальных кладовых при зарядных мастерских.

Кумулятивные перфораторы хранят без установленных взрывных патронов; концы детонирующего шнура защищают резиновыми колпачками или изоляционной лентой.

Пулевые и кумулятивные корпусные перфораторы, стреляющие грунтоносы хранят с навинченными головкой и наконечником, а при хранении отдельными секциями – с навинченными переходниками, муфтами или защитными колпаками.

На стеллажах в кладовой заряженные аппараты укладывают так, чтобы стволы были направлены вверх и вниз, или в непробиваемую преграду. Секции кумулятивных бескорпусных перфораторов можно хранить в заводской упаковке или в деревянных запирающихся ящиках.

Аппараты, стреляющие в нескольких направлениях, лучше хранить в оборудованной шахте в вертикальном положении.

15.2. Аварии на производствах, при хранении и применении взрывчатых веществ

В 2009 г. в области обращения со взрывчатыми материалами (ВМ) осуществляли деятельность 1338 поднадзорных организаций (юридических лиц), в том числе:

- 1178 организаций, связанных с эксплуатацией опасных производственных объектов (производство, хранение, применение и транспортирование взрывчатых материалов);

- 82 организации по подготовке и повышению квалификации взрывперсонала и других работников для указанных опасных производственных объектов;

- 34 специализированные проектные организации;

- 59 экспертных организаций;

- 32 строительные организации (строительство, расширение, реконструкция, техническое перевооружение опасных производственных объектов).

В 2009 г. эксплуатировались 5185 опасных производственных объектов, связанных со взрывчатыми материалами, в том числе:

- 1165 складов ВМ, погребков и других оборудованных мест хранения;

- 315 тупиков, площадок, причалов и других транспортных пунктов для погрузочно-разгрузочных операций с ВМ;

- 2471 автомобилей и иных транспортных средств для перевозки ВМ;

- 517 полигонов, стендов, лабораторий и иных объектов, на которых испытываются и уничтожаются ВМ и взрывоопасные предметы, в том числе в рамках утилизации боеприпасов, ракет, порохов и ТРТ;

- 90 основных и вспомогательных технологических цехов и участков для производства и упаковки ВМ на заводах-изготовителях;

- 47 стационарных пунктов горнодобывающих и иных предприятий по изготовлению раствора селитры, эмульсионной матрицы и иных компонентов для эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ);

- 25 комплексов подготовки гранулированных ВВ заводского производства к механизированному заряданию;

- 160 передвижных установок, доставщиков раствора селитры и эмульсии, смесительно-зарядных и транспортно-зарядных машин для изготовления ЭВВ и зарядания ими скважин;

- 696 передвижных установок, смесительно-зарядных и транспортно-зарядных машин для изготовления двух-трехкомпонентных гранулированных бестротилового и тротилсодержащих ВВ;

- 533 технических устройства (зарядчиков и т.п.) для изготовления гранулированных взрывчатых веществ и их пневматического транспортирования и зарядания скважин и шпуров в подземных условиях.

- Количество взрывчатых веществ, израсходованных в 2009 г. организациями, ведущими взрывные работы, по сравнению с 2008 г. снизилось на 12 % и составило 998,784 тыс. т (в 2008 г. – 1134,5 тыс. т).

- Ежегодно увеличивается доля взрывчатых веществ, изготовленных вблизи мест применения. В 2009 г. изготовлено 770,772 тыс. т взрывчатых веществ (77 % общего объема), в том числе 469,84 тыс. т

эмульсионных ВВ (61 % количества изготовленных на местах работ и 47 % от общего объема потребления).

- В 2008 г. было изготовлено 801,43 тыс. т взрывчатых веществ (70 % от общего объема), в том числе 414,5 тыс. т эмульсионных ВВ (около 50 % от количества изготовленных на местах работ и 36 % общего объема потребления).

- Число использованных средств неэлектрического взрывания составило 17 957,1 тыс. комплектов (22 215,9 тыс. комплектов в 2008 г.), в том числе в подземных выработках было использовано 12 441,5 тыс. комплектов (14 169,5 тыс. комплектов в 2008 г.).

Некоторое падение потребления взрывчатых материалов промышленного назначения произошло на фоне мирового финансово-экономического кризиса.

Общее количество работников организаций (лиц надзора и рабочих), имеющих допуск к взрывчатым материалам, в 2009 г. сократилось по сравнению с 2008 г. и составило 45 537 чел. (53 655 чел. в 2008 г.). При этом численность исполнителей взрывных работ увеличилась по отношению к предыдущему году и составила 11,9 тыс. чел. (в 2008 г. – 11,4 тыс. чел.).

В 2009 г. было проведено 3843 обследования поднадзорных организаций.

При этом выявлено и предписано к устранению 17631 нарушение требований промышленной безопасности.

В ходе обследований проверены 7935 требований по ранее выданным предписаниям.

В течение 2009 г. за нарушения требований безопасности назначено 888 административных наказаний, в том числе 845 штрафов. При этом общая сумма взысканных штрафов составила 3,86 млн руб.

На 12 должностных лиц переданы материалы в следственные органы (на 17 – в 2008 г.).

Основные показатели надзорной деятельности в 2005–2009 гг. в области взрывчатых материалов приведены в таблице.

Динамика объемов производства и потребления взрывчатых веществ в Российской Федерации показана на рисунке 15.1.

Несмотря на принимаемые меры, при взрывных работах и обращении со взрывчатыми материалами имеют место аварии и случаи смертельного травматизма.

В 2009 г. при выполнении этих работ произошло 6 аварий (6 аварий – в 2008 г.) и 12 смертельных случаев (20 случаев – в 2008 г.).

Основные показатели надзорной деятельности в области взрывчатых материалов представлены в таблице 15.2.

Таблица 15.2

Основные показатели надзорной деятельности
в 2005–2009 гг. в области взрывчатых материалов

№ п/п	Наименование показателей	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
1	Проведено проверок	5519	5406	4941	4871	3843
2	Выявлено нарушений	25 425	27 772	25 457	23 629	17 631
3	Привлечено к дисциплинарной и административной ответственности, всего	1829	1895	1014	1140	888
	В том числе:					
	переданы материалы в прокуратуру	39	32	26	17	12
	подвергнуты штрафным санкциям	571	887	995	1122	845

Распределение аварий и несчастных случаев по территориальным органам Ростехнадзора представлено в таблице 15.3.

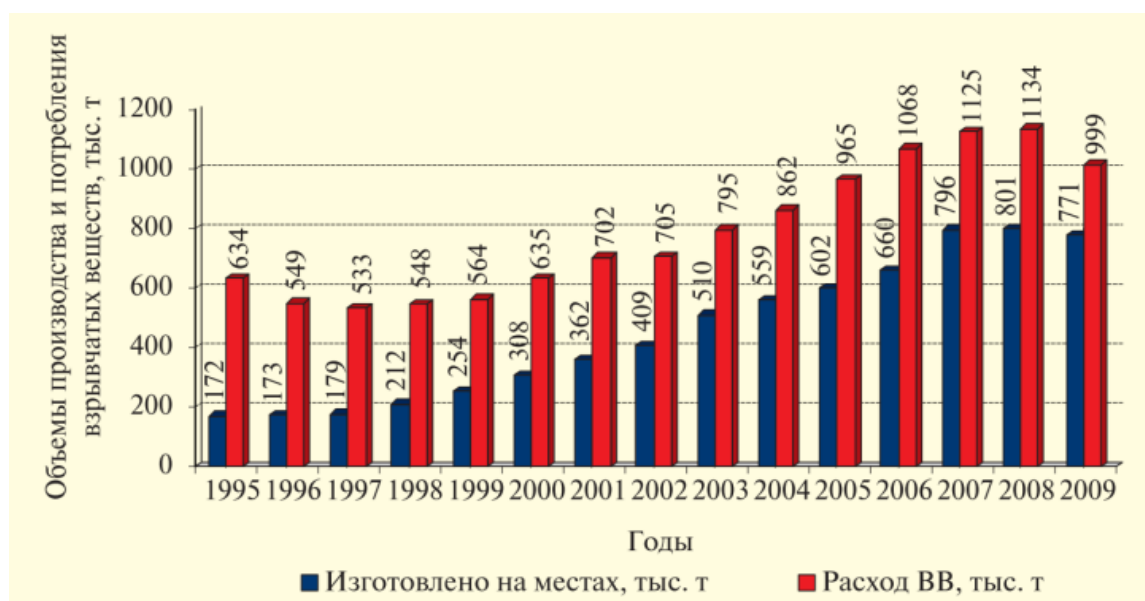


Рис. 15.1. Динамика объемов производства и потребления взрывчатых веществ в РФ

Аварии и смертельные несчастные случаи (таблица 15.3) произошли на шахтах Кемеровской области (4 аварии, 2 смертельных случая), ОАО «Самаранефтьтрансгазгеофизика» (1 авария), Кировский рудник

ОАО «Апатит» (1 смертельный случай), шахта «Естюнинская» ОАО «Высокогорский ГОК» (1 авария, 9 смертельных случаев).

Таблица 15.3

Распределение аварий и несчастных случаев по территориальным органам Ростехнадзора

№ п/п	Наименование территориального органа	Количество групповых несчастных случаев		Число погибших, чел.		Общее число пострадавших при групповых и смертельных несчастных случаях, чел.		Число аварий	
		2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
1	УТЭН по ЮФО			1		1			
2	УТЭН по ЯНАО							1	
3	УТЭН по Кемеровской области (Южно-Сибирское управление)	1	3		2	7	14	1	4
4	УТЭН по Забайкальскому краю			1					
5	МТУ по УФО (Уральское управление)		1		9		9		1
6	МТУ по ДФО			1		1			
7	УТЭН по Самарской области (Средне-Поволжское управление)						1	1	1
8	Енисейское МТУ			1		1			
9	УТЭН по ХМАО-Югра			1		1			
10	МТУ по СФО	2		1		17		2	
11	УТЭН по Республике Саха (Якутия)			1		1			
12	УТЭН по Мурманской области (Беломорское управление)	1	1	13	1	15	3	1	
13	Итого:	4	5	20	12	44	27	6	6

Так, в ООО «Шахта им. Дзержинского» ООО «Прокопьевскуголь» при разбучивании вентиляционной печи буровзрывным способом с использованием взрывчатого вещества аммонит ПЖВ-20 (несоответствующего требуемому классу предохранительности) и при отсутствии разрешения на проведение взрывных работ произошла вспышка метано-воздушной смеси.

В результате смертельные травмы получили заместитель директора по производству, под руководством которого велись работы, и мастер-взрывник.

На шахте «Распадская-Коксовая» при проведении ООО «Ольжерасское шахтопроходческое управление» взрывных работ в результате нарушения паспорта БВР произошло возгорание угля и горючих материалов.

В ООО «Шахта Киселевская» в результате несанкционированного ведения взрывных работ и применения для разбучивания углеспускной печи взрывчатого вещества, не допущенного для этого вида работ (аммонит ПЖВ-20 IV класса предохранительности вместо монозарядов VII класса), произошла вспышка метановоздушной смеси.

В результате аварии термические ожоги различной степени тяжести получили 6 работников.

Аналогичный случай произошел 08.09.2009 в ООО «Шахта им. Ворошилова» ООО «Прокопьевскуголь», где пострадали 5 чел.

Согласно мероприятиям, предусмотренным в актах технического расследования аварий и несчастных случаев, и выданным предписаниям в настоящее время на шахтах Прокопьевско-Киселевского района идет процесс перевода взрывных работ на подрядный способ ведения.

В результате грубейших нарушений требований безопасности при проведении взрывных работ, в том числе отсутствия поста охраны, на Кировском руднике ОАО «Апатит» в момент взрыва оказалась в опасной зоне и получила травму не совместимую с жизнью студентка, проходившая практику на маркшейдерских работах.

Крупная авария с групповым случаем смертельного травматизма произошла на шахте «Естюнинская» ОАО «Высокогорский ГОК».

При транспортировании взрывчатых материалов в двух специализированных вагонетках в целях пополнения подземного расходного склада ВМ на горизонте – 180 м произошел несанкционированный взрыв.

Средства инициирования по указанию заведующего складом были размещены в вагонетке вместе с ранее уложенными коробками патронированного аммонита.

При движении состава от касания медного контактного провода с крышками вагонетки произошло короткое замыкание, образовалась электрическая дуга, в результате произошло возгорание коробок со средствами инициирования, которое перешло в детонацию, повлекшую затем взрыв ВМ в вагонетках. В результате взрыва смертельные травмы получили 9 работников шахты.

Как показывают результаты проведенных расследований, типичными организационно-техническими причинами таких случаев являются:

- несанкционированное ведение взрывных работ либо их ведение с нарушением паспортов БВР;
- ведение взрывных работ при нахождении людей в опасной зоне;
- применение в угольных шахтах взрывчатого вещества несоответствующего класса предохранительности (аммонит ПЖВ-20 IV класса вместо монозарядов VII класса); выполнение взрывных работ персоналом, не имеющим соответствующей квалификации или не имеющим права производства таких работ;
- низкий уровень производственной и технологической дисциплины, нарушение требований Единых правил безопасности при взрывных работах;
- отсутствие контроля со стороны ответственных работников предприятия за целевым применением взрывчатых материалов.

Проведенный анализ показывает, что подавляющая доля причин аварий и несчастных случаев на производстве носит организационный характер (более 80 %).

Основными причинами аварийности и травматизма являются системные грубые нарушения требований безопасности, связанные с бесконтрольностью и низкой производственной дисциплиной персонала, безответственностью и халатностью руководителей предприятий различных уровней, неэффективностью производственного контроля.

Система управления промышленной безопасностью практически оказывается замкнутой на руководителях старшего звена либо отсутствует вообще.

Происходящие нарушения не подвергаются всестороннему анализу со стороны собственников и руководителей предприятий, специалистов, не разрабатываются мероприятия, направленные на их предотвращение. Отсутствует необходимое финансирование для поддержания требуемого уровня промышленной безопасности.

В текущем году положение дел с обеспечением сохранности взрывчатых материалов практически не изменилось. Выявлено 10 утрат, из них 6 хищений, 3 потери и 1 разбрасывание. В целом причины утрат взрывчатых материалов весьма близки к причинам аварий и травматизма при взрывных работах и обращении с ВМ.

Руководствуясь Федеральным законом от 06.03.2006 № 35-ФЗ «О противодействии терроризму», территориальными органами Ростехнадзора совместно с правоохранительными органами в рамках антитеррористической деятельности проводилась работа по контролю за обеспечением сохранности промышленных взрывчатых материалов в поднадзорных организациях, повышению антитеррористической защищен-

ности объектов, связанных с производством, хранением и применением промышленных взрывчатых материалов.

Склады взрывчатых материалов оснащаются новейшими техническими средствами охраны (рисунок 15.2).

Перевозка ВМ осуществляется в сопровождении вооруженной охраны органов внутренних дел. На предприятиях, ведущих взрывные работы, проводится сокращение численности персонала, имеющего доступ к обращению с взрывчатыми материалами.



Рис. 15.2. Динамика происшедших утрат и хищений с 2000 по 2009 г.

Особое внимание уделяется вопросам сокращения объемов перевозок промышленных взрывчатых веществ за счет увеличения их производства из невзрывчатых компонентов в смесительно-зарядных машинах и на стационарных пунктах, расположенных вблизи мест производства взрывных работ.

В 2009 г. территориальными органами Ростехнадзора под методическим руководством Управления по надзору в горной, металлургической и нефтегазодобывающей промышленности проведены целевые проверки состояния промышленной безопасности объектов и организаций по производству взрывчатых материалов промышленного назначения.

Проведенный управлением анализ представленных материалов показал, что общее состояние промышленной безопасности при эксплуатации объектов, связанных с изготовлением взрывчатых материалов, оценивается как удовлетворительное. Выявленные нарушения во многом свидетельствовали о низкой эффективности работы служб производственного контроля в организациях.

В целом проведенная проверка способствовала повышению общего уровня промышленной безопасности подконтрольных производств и объектов, связанных с изготовлением взрывчатых веществ, выявлению и устранению имеющихся нарушений, оказала положительное влияние на дальнейшее развитие производств ВВ.

В 2009 г. центральным аппаратом Ростехнадзора выдано более 40 разрешений на применение взрывчатых материалов промышленного назначения и более 80 разрешений на технические устройства, используемые при производстве и применении взрывчатых материалов.

Была продолжена работа с МВД России по подготовке проектов федеральных законов «О государственном контроле за оборотом взрывчатых веществ и изделий, их содержащих» и «О государственном контроле за оборотом пиротехнических изделий».

Ростехнадзор совместно с Федеральной службой по техническому и экспортному контролю и МВД России принимал участие в реализации поручения Правительства Российской Федерации по осуществлению контроля за целевым использованием ввозимых в Российскую Федерацию взрывчатых материалов промышленного назначения.

Однако отдельные вопросы взрывного дела остаются нерешенными. В этой связи в качестве приоритетных следует считать следующие задачи:

1. До настоящего времени в Российской Федерации отсутствуют законодательные основы в сфере государственного контроля за оборотом взрывчатых материалов.

В этой связи необходимо дальнейшее совершенствование законодательства в области государственного контроля за оборотом взрывчатых материалов, в том числе в части продолжения работы с МВД России по проектам федеральных законов «О государственном контроле за оборотом взрывчатых веществ и изделий, их содержащих» и «О государственном контроле за оборотом пиротехнических изделий».

2. В связи с продолжающимися авариями и случаями смертельного травматизма при взрывных работах необходимо активизировать в организациях работу по внедрению на угольных шахтах, опасных по газу и пыли, новых безопасных и эффективных предохранительных взрывчатых веществ (в том числе невыгорающих эмульсионных) и средств механизированного заряжания, исключающих возможность возникновения вспышек и взрывов метановоздушной смеси и угольной пыли.

3. Актуальной остается задача повышения безопасности взрывных технологий для подземных работ, замены пневмозаряжания гранулированными ВВ на другие виды механизированного заряжания (эмульсионными, гелевыми ВВ), при которых будет исключена возможность об-

разования в рабочей зоне взрывоопасной пылевоздушной смеси и зарядов статического электричества.

4. Совершенствование техники и технологии взрывных работ требует переподготовки и повышения квалификации специалистов-руководителей и исполнителей взрывных работ, а также специалистов по изготовлению взрывчатых веществ на местах их применения. Однако в настоящее время отсутствует официально определенная сеть учебных заведений, в которых должны производиться подготовка, повышение квалификации и переподготовка специалистов по взрывному делу, а также необходимая инженерно-практическая подготовка и учебно-материальная база.

16. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА.

МЕТОД ОБСЛЕДОВАНИЯ ТИПОВ ОТКАЗОВ И АНАЛИЗ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Сложность современных технологических процессов, невозможность сразу охватить весь спектр явлений, способных приводить к аварийным ситуациям, делает целесообразным использование *метода деревьев событий (деревьев отказов)* для комплексного анализа устойчивости функционирования промышленной и экологической безопасности предприятий.

Достаточно удачным средством для нахождения компромиссов, обеспечения полного и взвешенного функционального описания проблем промышленной и экологической безопасности является использование представления знаний об изучаемых объектах и систем в виде *графических логических построений*.

Дерево отказов представляет собой дедуктивное логическое построение, которое использует *концепцию одного финального события* (как правило, авария или отказ блока, всей системы) с целью нахождения всех возможных путей, при реализации которых оно может произойти.

Методология исследований деревьев отказов

Метод основан на графическом логическом описании механизма отказов системы.

Ключевые теоретические основы метода – это предположение, что компоненты в системе либо работают успешно, либо отказывают полностью.

До начала построения дерева отказов необходимо специально определить верхнее событие. Необходимо детальное понимание работы систем ее компонентов, роли операторов и возможных человеческих ошибок.

Для этого рассматривается, какие события или их комбинации могут привести непосредственно к возникновению финального события. Затем каждое из этих событий рассматривается как вершина дерева, и процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнут такой уровень детализации, на котором полученные события уже будут неделимы в принципе или по соображениям решения задачи.

Такие события называют **базовыми, иницирующими, элементарными** или **исходными**. Все остальные события – *порожденными* или *промежуточными*.

Для графического изображения простейшего дерева событий существует базовый набор символических изображений, которые представлены на рисунке 16.1.

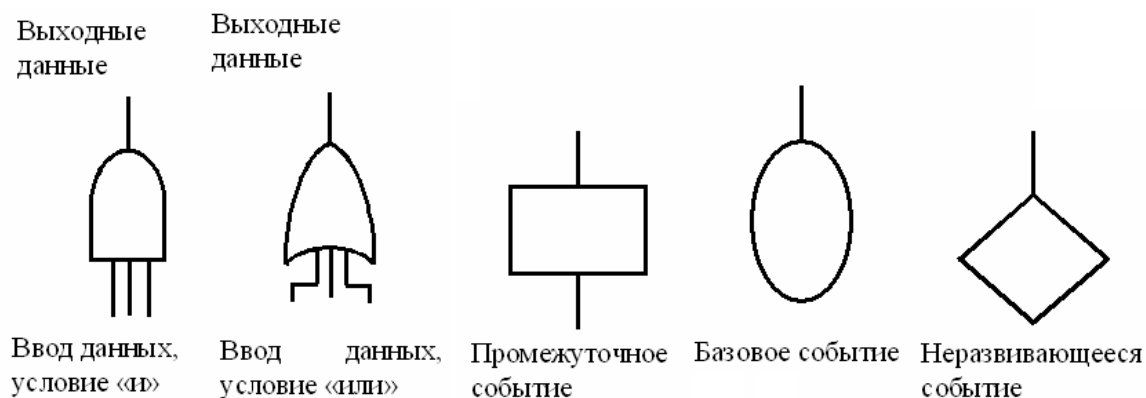


Рис. 16.1. Базовый набор графического изображения простейшего дерева событий

Данные типы вершин позволяют построить дерево отказов для большинства систем.

Однако, существуют ситуации, когда отказ наступает только при определенном порядке возникновения входных событий (отказов) или же в случае соблюдения некоторых временных условий (например: действие какого-нибудь фактора в течение определенного интервала времени), который больше допустимого, либо при некоторой комбинации этих требований. В этом случае построение и анализ деревьев отказов значительно усложняется.

Некоторые термины, необходимые для понимания рассматриваемого метода:

Событие – нежелательное отклонение от нормы или ожидаемого состояния компонентов системы.

Верхнее (главное) событие – это нежелательное событие или инцидент на вершине дерева отказов, от которого спускаются вниз, пользуясь логическими воротами.

Промежуточное событие позволяет комбинировать различные исходные события, которые рассматриваются в развитии посредством условий.

Исходное событие – отказ в работе оборудования или ошибка персонала, которые при рассмотрении не разбиваются на отдельные составные события более мелкого масштаба.

Неразвивающееся событие – возможные причины нежелательного события не рассматриваются в развитии по причине того, что условия возникновения данного события не достоверны или имеющейся информации не достаточно.

Условие (логические ворота) – логическая связь между входными событиями (событиями более низкого уровня) и отдельными выходными событиями (более высокого уровня).

Условие «и» объединяет входные события, каждое из которых должно существовать одновременно с другими.

Условие «или» используется в случае, если для определения последующего выходного события достаточно ввести данные об одном каком-либо предыдущем событии.

Минимальный набор сечений – минимальное число цепочек событий, при которых может произойти главное событие. Все события (отказы) соответствуют базовому или неразвивающемуся событию.

Большинство существующих методов анализа деревьев отказов основываются на поиске и изучении множества сечений и путей дерева.

Путь (сечение) – есть такая комбинация базовых событий, реализация которых приводит к возникновению главного события.

Сечение (путь) – есть такая комбинация базовых событий, одновременная нереализация которых приводит к невозможности возникновения данного события.

Минимальный путь – это группа событий или первичных источников отказов, которые могут привести к главному событию через минимальное число шагов.

С точки зрения **возникновения аварийных ситуаций** предпочтительнее производить *анализ минимальных путей дерева*. Зная вероятности их реализации, можно рассчитать вероятность возникновения главного события.

Если же решается **задача повышения надежности систем**, то гораздо эффективнее *анализ минимальных сечений дерева отказов* с целью найти наиболее простые способы повышения надежности системы.

Комбинация этих рассмотрений позволяет найти наиболее «узкие места» системы, найти эффективные способы повышения надежности технологической системы (ТС).

Из вышеизложенного рассмотрения видно, что концепция деревьев событий и отказов является перспективным методом решения задачи по надежности и безопасности, а также по определению риска функционирования ТС.

Однако следует отметить **некоторые принципиальные моменты**, связанные с использованием деревьев событий и отказов.

1. Первый принципиальный момент.

Дерево (вообще) **представляет собой структуру**, где каждый элемент (за исключением граничных) имеет один вход или один или более выходов, или наоборот – все зависит от того, в какую сторону проходит дерево, но не то и другое вместе.

Данное ограничение, накладываемое на понятие «дерево», приводит к некоторым сложностям в построении и анализе дерева.

Например, в случае дерева отказов (где все элементы кроме вершины дерева должны иметь один выход) *обычно существует событие, имеющее более одного выхода* (в качестве примера можно привести отказ электропитания ТС или наводнение).

Второй принципиальный момент, если на входах участка логической структуры создается благоприятная комбинация условий, то со стопроцентной вероятностью должно произойти порожденное событие.

В большинстве случаев так оно и есть, однако, можно привести ситуации, когда это не соблюдается, например, попадание камня в оконное стекло не всегда приводит к тому, что оно разбивается.

Для решения данной задачи в существующих алгоритмах приходится или вводить фиктивные события (функция которых заключается в том, что не всегда выдавать выходной сигнал, когда на входах присутствует благоприятная комбинация входных), или корректировать входные вероятности (например, вероятность попадания камня в окно заменится вероятностью того, что оно разобьется; но это не позволяет учесть причины, которые привели к разбиению окна).

Отличительной особенностью функционирования человека в ТС является то, что ему свойственен принципиально новый тип отказа – *ошибка в деятельности* (временный неустойчивый отказ), и его также необходимо учитывать.

16.1. Проведения исследований

Цели проведения исследований

Исследования применяют в целях:

- выявления всех путей, которые приводят к главному нежелательному событию при определенном стечении обстоятельств;
- определения минимального числа комбинаций событий, которые могут привести к главному событию;
- качественного определения основных причин нежелательного события;

- количественной оценки частоты вероятности нежелательного события;
- идентификации общего характера отказов или их общих причин, трудно выявляемых при рассмотрении изолированных подсистем;
- анализа чувствительности отдельных событий к отклонениям параметров системы.

Целями применения метода в промышленности являются:

- оценка частоты возникновения инцидентов (или надежность оборудования);
- определение комбинаций отказов оборудования, рабочих условий, условий окружающей среды и человеческих ошибок, которые повлияли на инцидент;
- идентификация корректирующих воздействий для улучшения надежности и безопасности и определения их влияния.

Дерево отказов – это графическое представление связей между отказами оборудования и аварийными ситуациями.

Можно выделить **четыре класса причин** возникновения аварийных ситуаций:

- отказы оборудования;
- отклонения от технологического регламента;
- ошибки производственного персонала;
- внешние причины (стихийные бедствия, диверсии и т.д.).

Одним из достоинств метода является систематическое логически обоснованное построение множества отказов элементов системы, которые могут приводить к аварии.

Метод деревьев отказов используется, в основном, в случаях, когда при отказе системы в целом может быть установлена связь между комбинациями отказов отдельных компонентов системы.

Метод применяется при идентификации требований к дублированию компонентов, к защитным устройствам и контрольным системам.

Основные этапы процесса проведения исследования методом дерева отказов

Проведение исследования методом дерева отказов можно также представить в виде следующих шагов:

- определение границ системы;
- изучение и понимание системы;
- определение конечного события;
- конструирование дерева отказов;

- качественный анализ;
- количественный анализ;
- поиск недостающих данных.

Учебный пример

Целью данного упражнения является закрепление навыков по проведению процедуры исследования опасности методом дерева отказов. Применение метода будет представлено на примере исследования опасности при хранении воспламеняющейся жидкости.

Рассмотрение одного из нежелательных событий может привести к главному событию – **выбросу воспламеняющейся жидкости из бака хранения**.

На примере течи бака проведем исследования ручным методом в виде поэтапной процедуры исследования методом отказов.

Шаг 1. Выбор и описание системы

- определение способа функционирования системы;
- информация о процессе, технических средствах и ошибках операторов.

Необходима информация о свойствах:

- опасностей, связанных с материалами, которые используются в процессе и вне его;
- опасностей, связанных с аппаратурой и определенных структурой процесса и его компонентами (например, выброс токсичного вещества через ошибочно открытый клапан);
- определение физических границ системы.

Выбранные границы системы должны отражать наличие недостающих данных.

Должна быть указана начальная конфигурация оборудования (необходимо указать, например, какие клапаны открыты, какие закрыты).

Описание системы.

Система хранения воспламеняющейся жидкости в виде диаграммы распределения ресурсов и оборудования (P&ID Process and Instrumentation Diagrams) дана ниже на рисунке 16.2, где G.1 – бак для хранения воспламеняющейся жидкости.

Бак спроектирован так, чтобы удерживать воспламеняющуюся жидкость под слабым давлением азота. Система управления (PICA-1) контролирует давление.

Кроме этого, бак защищен с помощью клапана, который перекрывается в аварийных ситуациях.

Жидкость питает бак через автоцистерну. Насос (P-1) перекачивает воспламеняющуюся жидкость для дальнейшей переработки.

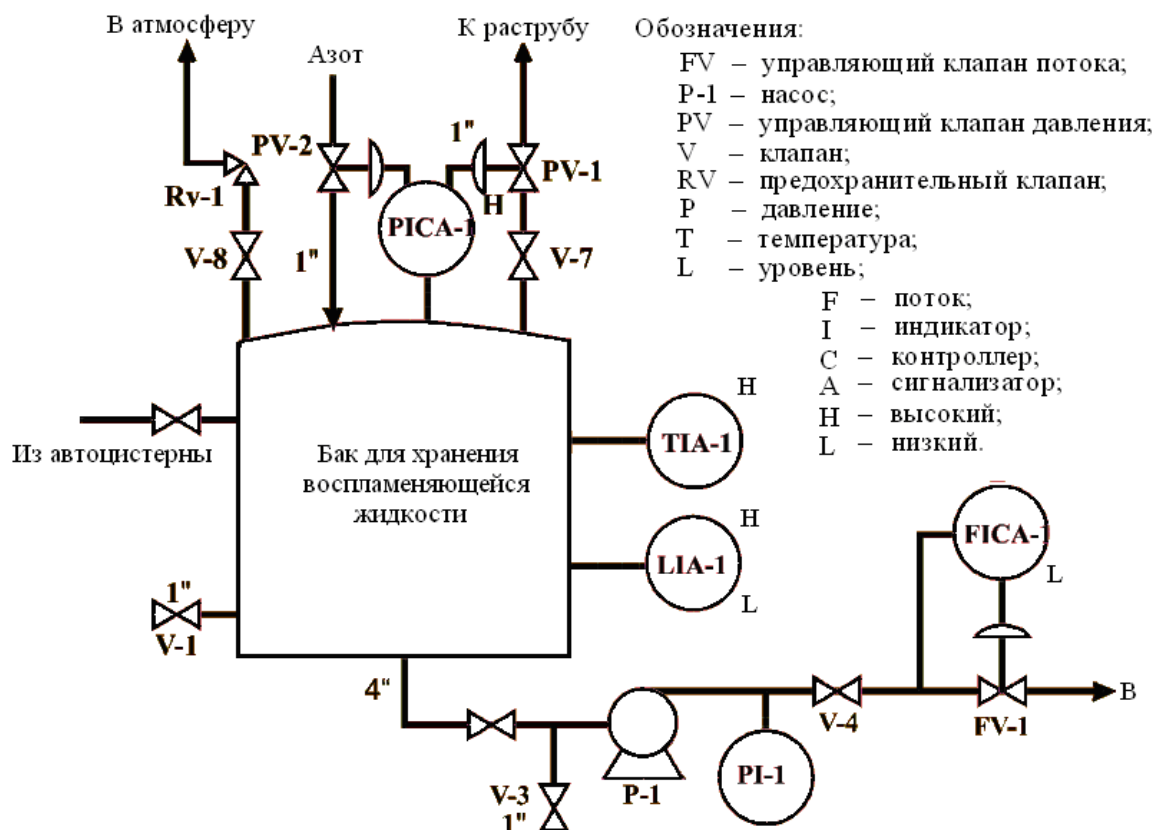


Рис. 16.2. Система хранения воспламеняющейся жидкости

Шаг 2. Исследование системы

Необходимо учесть все события, включая:

- невозможные события;
- возможные события.

Каждый технологический процесс характеризуется некоторым набором переменных процесса, отклонения которых от своих рекомендованных значений могут приводить к непредвиденным результатам, превышению рабочего давления и/или температуры и, как следствие, к повреждению (разрушениям) технологического оборудования.

Находятся контролирующие переменные, изменение которых может привести к отказу блока.

Идентификация риска

Метод может быть использован для идентификации главной опасности, такой как **выброс воспламеняющихся веществ из бака**.

Для нашего случая воспользуемся данными, полученными методом HAZOP.

Шаг 3. Определение главного события

Требует точности и определенности.

Плохо и неточно определенное конечное событие часто является причиной некорректного анализа.

Часто включает предварительный анализ (например, методы HAZOP или FMEA).

Необходимо четко и ясно определить, что, где и когда случилось.

Определение главного события

Принимаем главное событие T – **выброс воспламеняющихся веществ из бака**.

Шаг 4. Конструирование дерева отказов

Рассматриваемое главное событие изображается на вершине.

При построении дерева логическая схема отталкивается от главного события. Исходная точка – это не причины, приведшие к событию, а оно само. И только задав событие, можно начинать исследование возможных причин его появления.

Ветви дерева представляют собой все пути, по которым событие может реализовываться, а связь между исходными событиями и главным событием осуществляется через логическое условие.

Обычно не существует исходных причин, а существуют первоначальные ошибки или отказы, приводящие к развитию во времени нежелательного события.

Отказы, входящие в структуру дерева отказов, могут быть поделены на три группы:

- 1) первичные отказы;
- 2) вторичные отказы;
- 3) отказы управления.

К первичным отказам относятся отказы оборудования, которые произошли в обычных условиях функционирования оборудования.

Вторичные отказы происходят вследствие изменений условий работы оборудования.

Отказы управления имеют место в случаях, когда нормально функционирующее оборудование не получает по каким-либо причинам

управляющих сигналов. Вторичные отказы и отказы управления являются промежуточными событиями и требуют дополнительного анализа.

Построение дерева отказов.

Каждое событие помечено соответственно:

В – для базовых или неразвитых событий,

М – для промежуточных событий,

Т – главное (основное) событие.

Процедура начинается с верхнего события Т (основное – выброс воспламеняющегося вещества) и определяет возможные события, которые могли привести к этому инциденту.

Главное событие может индуцироваться несколькими исходными, например:

М1: Утечка во время разгрузки автоцистерны.

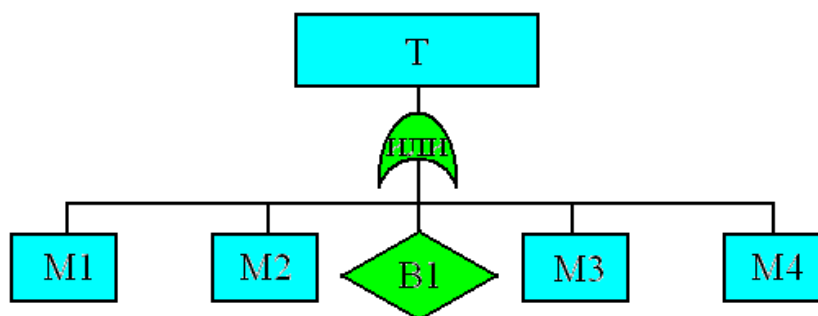
М2: Разрушение бака из-за внешних событий.

В1: Повреждение сливного отверстия бака.

М3: Повреждение бака из-за взрыва.

М4: Повреждение бака из-за избыточного давления.

Причем мы видим, что каждое из этих событий может привести к главному событию.



События М1, М2, М3 и М4 требуют дальнейшего развития

Для события В1 существует адекватная историческая информация, что позволяет считать его базовым событием. Анализ продвигается вниз на один уровень, пока все механизмы отказов не будут исследованы до соответствующей глубины.

Базовые события и **неразвитые** события обозначены **кругами** и **ромбами** соответственно.

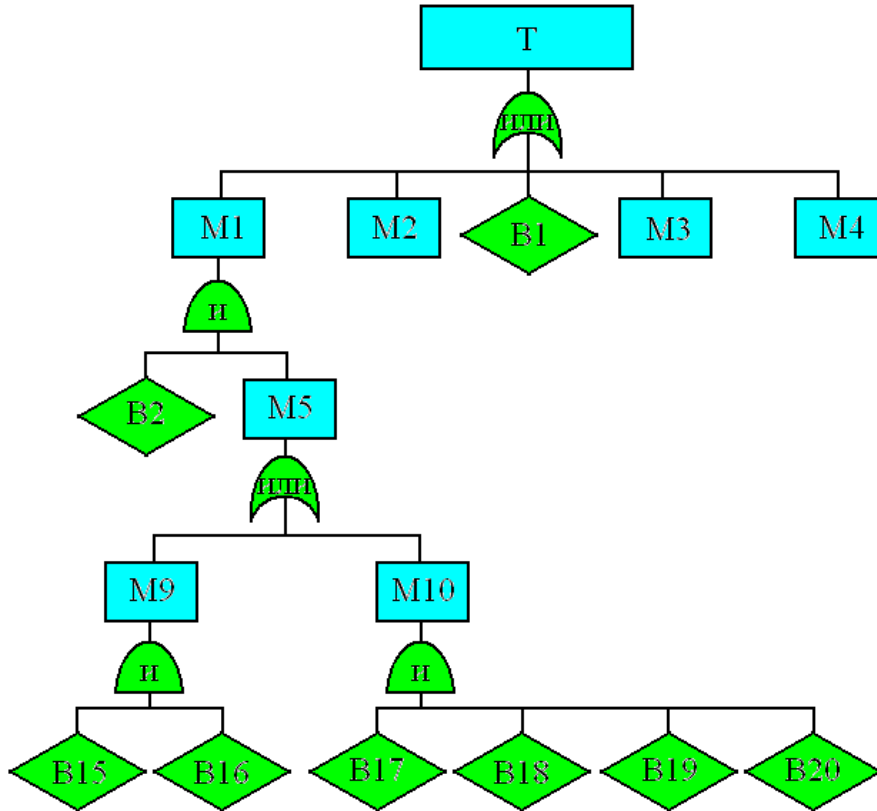
Дальнейшее развитие неразвитых событий не считается необходимым или возможным.

В таблице 16.1 приведены характерные инициирующие события.

Таблица 16.1

Характерные инициирующие события дерева событий

Обозначение	Характеристика события	Вероятность (частота) события
B2	Частота разгрузки цистерны	300/год
B3	Воздействие от средства передвижения	$1 \cdot 10^{-5}$ /год
B4	Авиа катастрофа	$1 \cdot 10^{-6}$ /год
B5	Землетрясение	$1 \cdot 10^{-5}$ /год
B6	Торнадо	$1 \cdot 10^{-5}$ /год
M5	Пролив из бака	$1 \cdot 10^{-4}$
M9	Переполнение бака и истечение через RV-1	$1 \cdot 10^{-4}$
M10	Разрыв бака вследствие реакции	$1 \cdot 10^{-7}$
B15	Достаточный объем в баке для разгружаемой цистерны	$1 \cdot 10^{-2}$
B16	Отказ или игнорирование LIA-1	$1 \cdot 10^{-2}$
B17	Недопустимое вещество в цистерне	$1 \cdot 10^{-3}$
B18	Из цистерны перед разгрузкой не взята проба	$1 \cdot 10^{-2}$
B19	Реагент реагирует с разгружаемыми веществами	$1 \cdot 10^{-1}$
B20	Рост давления превосходит пропускную скорость RV-1 и PV-1	$1 \cdot 10^{-1}$
B7	Разгружаемый бак требует очистки азотом	10/год
M6	Индукцируется вакуум	$2 \cdot 10^{-2}$
B8	Кипение недостаточно, чтобы предотвратить вакуум	$1 \cdot 10^{-2}$
B9	PV-2 ошибочно закрыт	$1 \cdot 10^{-2}$
B10	Отказ PICA-1 при закрытии PV-2	$1 \cdot 10^{-2}$
B11	Сбой в подаче азота	$1 \cdot 10^{-4}$
M7	Давление в баке превышено	$1 \cdot 10^{-2}$
M8	Отказ предохранительной системы при повышенном давлении	$2 \cdot 10^{-3}$
B12	Отказ PICA-1 при закрытии PV-1	$1 \cdot 10^{-2}$ /год
M11	Превышено давление в баке	$4 \cdot 10^{-5}$ /год
B13	Повышенная пропускная способность RV-1	$1 \cdot 10^{-3}$
B14	V-8 закрыт	$1 \cdot 10^{-3}$
M12	Высокое давление в баке	$4 \cdot 10^{-3}$ /год
B21	Отказ или игнорирование PICA-1	$1 \cdot 10^{-2}$
B22	PV-1 ошибочно закрыт	$1 \cdot 10^{-3}$ /год
B23	V-7 закрыт	$1 \cdot 10^{-3}$ /год
B24	Температура во входном отверстии выше нормальной	$1 \cdot 10^{-3}$ /год
B25	Высокое давление в оголовке факела	$1 \cdot 10^{-3}$ /год

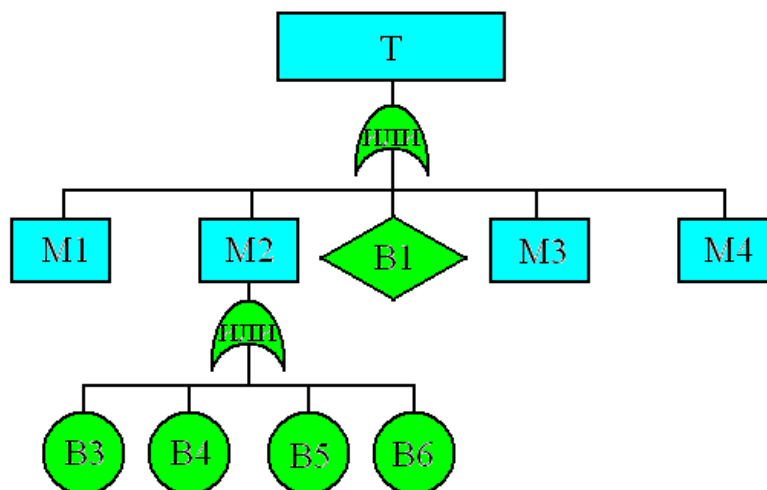


Теперь построим схематичное дерево отказов, оно строится согласно правилам, о которых мы говорили ранее.

Логические условия выбираются исходя из «здравого смысла» работы системы.

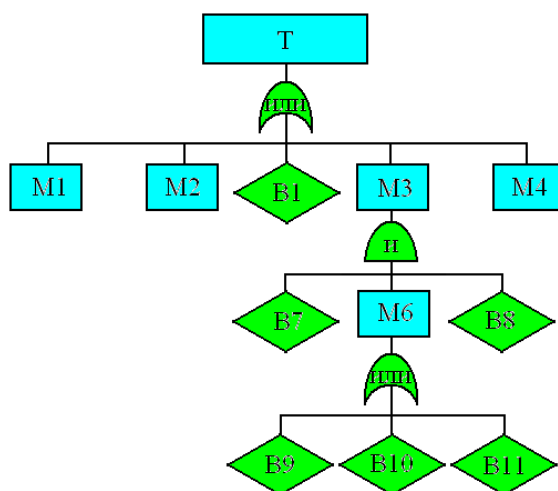
Рассмотрим дальнейшее развитие события M1.

Утечка горячей жидкости во время разгрузки автоцистерны.



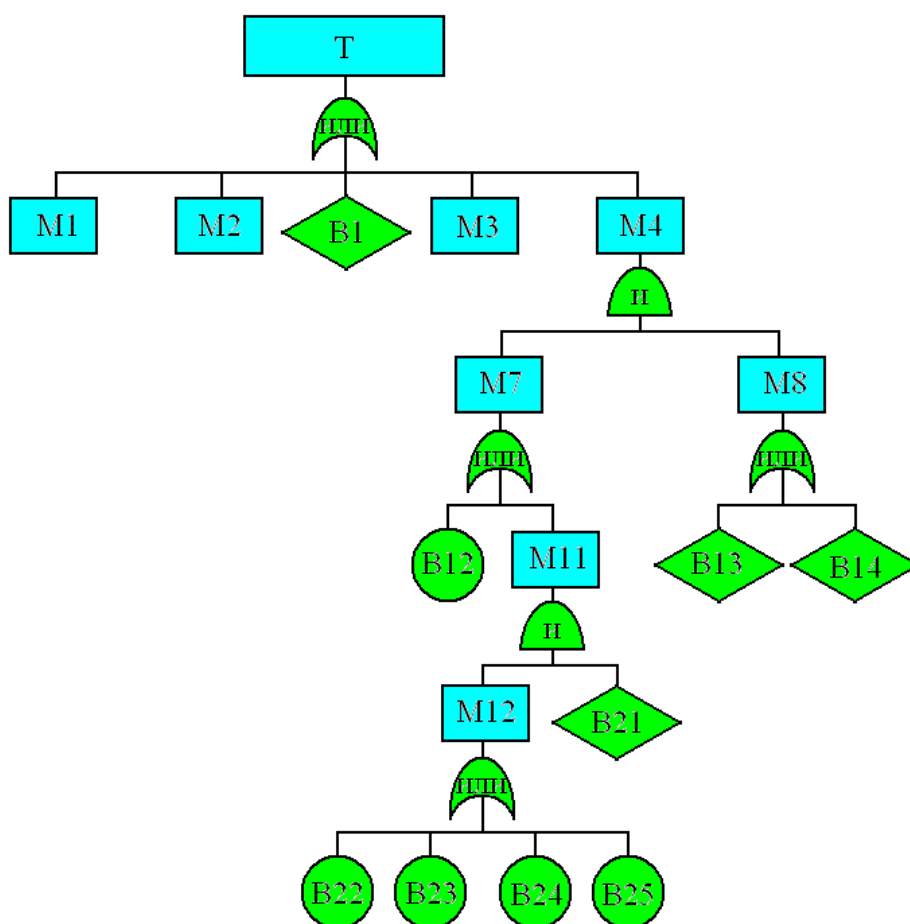
Развитие события М2.

Разрушение бака с горючей жидкостью из-за внешних событий.



Развитие события М3.

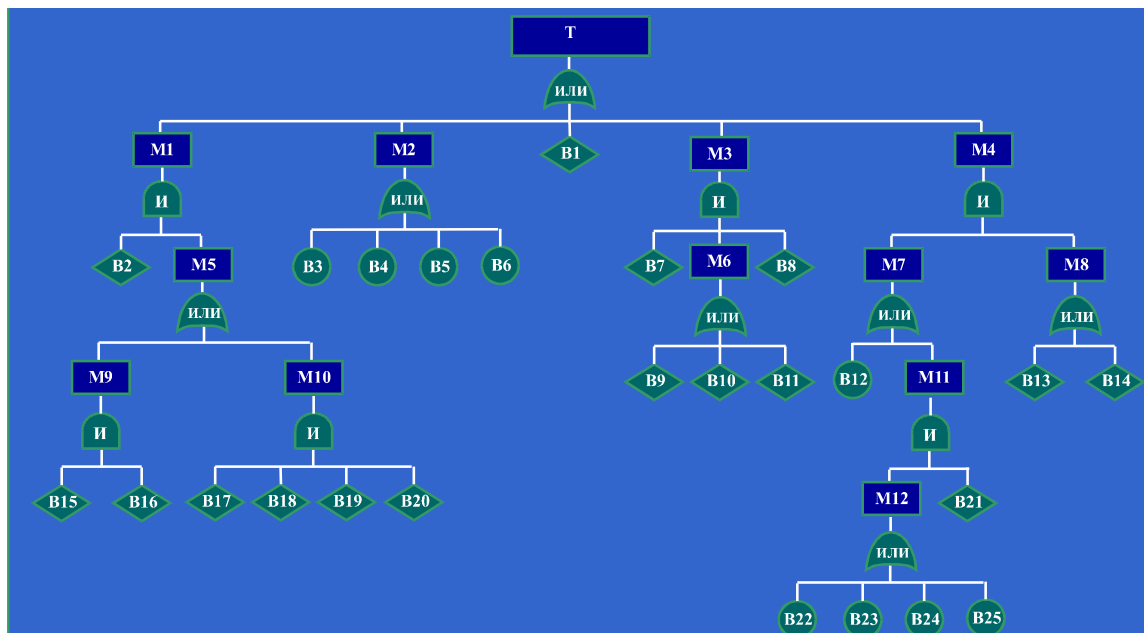
Повреждение бака с горючей жидкостью из-за взрыва.



Развитие события М4.

Повреждение бака с горючей жидкостью из-за избыточного давления.

Таким образом, мы строим полное дерево отказов.



Конечное схематичное дерево отказов выполнено для наглядности через буквенные обозначения в соответствии с таблицей. Однако некоторые наборы промежуточных событий были добавлены для большей ясности анализа.

Шаг 5. Качественный анализ

Анализ набора минимальных сечений.

Необходимо найти способ определения возможных комбинаций отказов в работе оборудования, которые приводят к возникновению нежелательного события.

Минимальная комбинация ошибок персонала и повреждений оборудования, достаточная для возникновения нежелательного события, – это краткий вариант дерева отказов.

Алгоритм вычисления минимального краткого пути состоит из двух этапов:

- составление таблицы возможных путей;
- составление серии матриц.

Качественное исследование структуры

Качественная оценка производится наилучшим образом с помощью анализа минимальных сечений. Однако уже при первом просмотре выявляются 5 основных путей, ведущих к вершине. Например, В1, В3 – В6.

На этом шаге исследователь должен просмотреть минимальные сечения, чтобы гарантировать, что все они представляют реальные, возможные происшествия.

Минимальное сечение, которое не ведет к вершине – показатель ошибки построения дерева или ошибки в определении минимального сечения.

Шаг 6. Количественный анализ

Имея конечную схему дерева отказов и оценочную частоту (вероятность) для каждого базового или неразвивающегося события, можно вычислить частоту главного события или его вероятность.

Расчет чувствителен к цифровым ошибкам в прогнозируемой частоте главного события, если дерево имеет повторяющиеся события в различных ветвях, которые разделены условием «и».

Метод расчета начинается с базовых событий на дереве отказов и продвигается вверх к главному событию. Математическая связь для расчетов приведена в таблице 16.2.

Таблица 16.2

Математическая связь для расчетов

Условие	Входная пара (B), (C)	Вычисление выхода (A)	Время t (год)
«Или»	P_B^* «или» P_C F_B^* «или» F_C F_B «или» P_C	$P_A = P_B + P_C - P_B P_C \cong P_B + P_C$ $F_A = F_B + F_C$ не разрешено	t^{-1}
«И»	P_B «и» P_C F_B «и» F_C F_B «и» P_C	$P_A = P_B \cdot P_C$ не разрешено; преобразуйте к F_B «и» P_C $F_A = F_B \cdot P_C$	t^{-1}

* P – вероятность; F – частота (время⁻¹).

Важно помнить, что для условия «и» на входе может быть несколько термов вероятности, или – только одна частота.

Одними из двух важнейших логических значков в деревьях отказов являются значки «И». При использовании таких значков необходимо учитывать:

(а) выходные данные даются из входных данных в виде отказов в превентивных (защитных) действиях;

(б) выходные данные даются из входных данных в виде отказов защитных приборов (устройств);

(в) выходные данные даются из отказов двух приборов (устройств), действующих параллельно;

(г) выходные данные даются из отказов двух приборов, из которых один работает, а другой выключен.

При конструировании деревьев отказов различия между этими системами не вызывает проблем, но могут возникнуть трудности на стадии оценки.

Как уже было описано, вероятность p_0 , которая является выходным данным значка «И» с двумя входными данными существует, если вероятности входных событий p_1 и p_2 , в виде:

$$p_0 = p_1 p_2.$$

Происходит событие или нет, можно описать в терминах частоты или вероятности. Отказ оборудования обычно выражается через частоту и отказ в превентивных действиях или предохранительных приборах – через вероятность.

В защитных приборах, как правило, периодически происходят отказы и поэтому их нужно проверять. Данные по отказам таких приборов могут быть даны как в виде вероятности отказа, так и частоты. Их взаимосвязь можно показать, как:

$$p_0 = f \tau_p / 2, \quad (16.1)$$

где p – вероятность отказа;

f – уровень отказа;

τ_p – интервал тестирования.

Тогда для ситуации (а) частота отказа f_0 :

$$f_0 = f_p, \quad (16.2)$$

где p – вероятность отказа или превентивных действий;

f – частота входного события;

f_0 – частота выходного события.

Для ситуации типа (б) уравнение (16.2) можно также применять, причем вероятность отказа в защитных мерах в данном случае находится по уравнению (16.1).

Оценка ситуации (в) менее определена. Для этого, можно применять приближенные модели параллельных систем, получаемых или по Маркову или из методов функций добавочной (присоединенной) плотности. Они дают вероятность выходных данных, где события даются в виде частоты входных данных. Когда возможно, применяется приближение для редких событий для перевода вероятности в частоту:

$$f = p/t.$$

Подобным образом, для ситуаций (Γ) можно применять подходящие модели.

Дерево отказов может быть использовано для анализа чувствительности отдельных событий к отклонениям параметров системы.

Анализ значимости ранжирует различные наборы минимальных сечений в порядке вклада в частоту общих системных отказов.

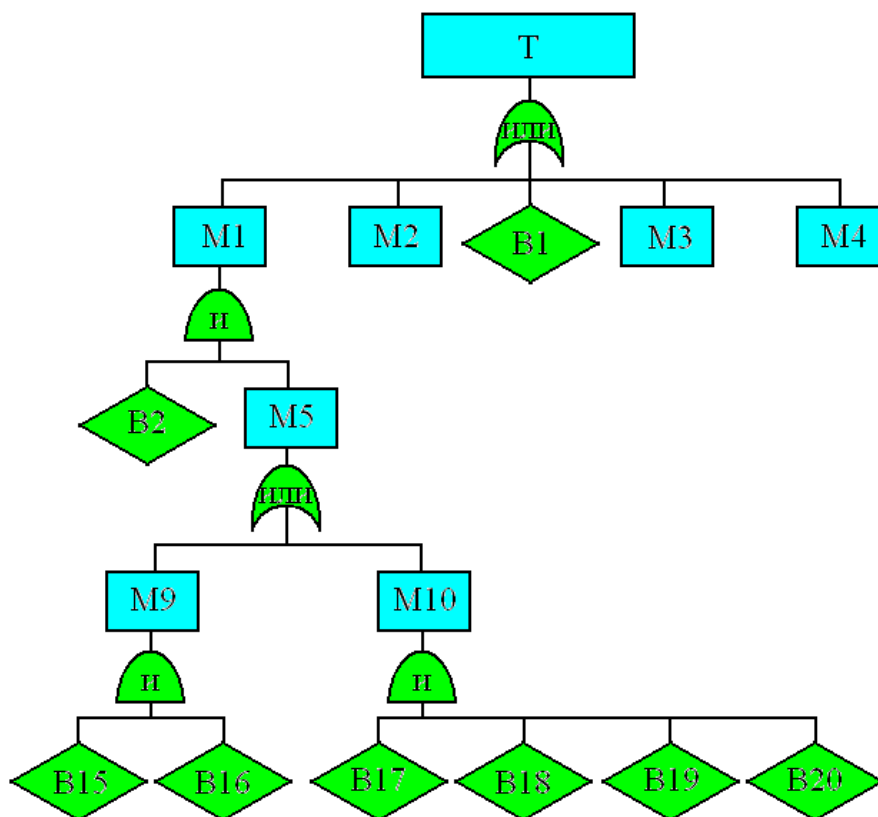
Количественная оценка

Для этого предлагается метод анализа «вход – выход». Дерево отказов должно быть внимательно просмотрено на предмет обнаружения повторяющихся событий, которые могут привести к численной ошибке.

Повторяющиеся события отсутствуют.

Исследователь должен ввести численные значения частоты (в год) или вероятность (безразмерную) для каждого базового события.

Расчет начинается с подножия дерева отказов и продолжается в направлении вершины. Ниже представлен расчет для самой левой ветви дерева отказов, поднимающейся к событию M1.



Развитие события M1

Утечка горючей жидкости во время разгрузки автоцистерны.

Событие М9 «Переполнение танка и истечение через RV-1» наступает при одновременном наступлении В15 и В16, значит перемножим вероятности:

$$P(M9) = P(B15) \times P(B16) = 1 \cdot 10^{-2} \times 1 \cdot 10^{-2} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

К М10 ведут через «И» 4 события, заданные их вероятностями:

$$P(M10) = P(B17) \times P(B18) \times P(B19) \times P(B20) = \\ = 1 \cdot 10^{-3} \times 1 \cdot 10^{-2} \times 1 \cdot 10^{-1} \times 1 \cdot 10^{-1} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

М10 и М9 ведут к М5 через логический блок «ИЛИ»:

$$P(M5) = P(M9) + P(M10) = 1 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-7} \approx 1 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

События М1 – промежуточное, наступающее при одновременном появлении В2, заданного частотой и М5, заданного вероятностью:

$$F(M1) = F(B2) \times P(M5) = 300 \cdot \text{год}^{-1} \times 1 \cdot 10^{-4} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}.$$

Аналогично рассчитываются все другие частоты и вероятности, и рассчитывается частота главного события Т.

Для самопроверки приведем рассчитанные частоты пяти основных промежуточных событий, ведущих к вершинному событию:

$$\begin{array}{lll} M1 - 3 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}; & M2 - 3 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}; & B1 - 1 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}; \\ M3 - 2 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}; & M4 - 2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}. & \end{array}$$

Шаг 7. Поиск недостающих данных

- Необходимы данные о частоте отказов компонентов, отсутствии защитных систем, частоты ошибок операторов.
- Используемая информация должна быть достоверной.
- При наличии лишь недостаточных данных или их отсутствии требуется инженерное изучение оборудования.
- Требуется информация о внешних событиях.
- Хотя некоторые данные могут быть использованы непосредственно, другие могут быть модифицированы на основе экспертной оценки.

Первичный результат количественной оценки – это частота (или вероятность) верхнего события и более низких промежуточных событий.

Обычно для исследования используются данные по коэффициентам отказов, взятые из открытой литературы, с учетом корректирующих факторов.

Для повышения достоверности оценки вероятностей исходных событий необходимо учитывать прошлый опыт работы соответствующей

установки или какой-либо подобной ей на данном предприятии (статистика отказов отдельных элементов).

Методы получения обработки подобной информации хорошо развиты.

Поиск недостающих данных.

Дерево отказов может быть использовано для анализа чувствительности отдельных событий к отклонениям параметров системы.

Можно провести анализ дерева отказов с целью выдачи рекомендаций, в каких направлениях должны быть приняты меры для снижения риска главного события.

Важно понимать, что решения по изменениям процесса и замене оборудования требуют нового исследования, и только после этого могут стать предположениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Определение зон воздействия опасных факторов аварий / А.И. Сечин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 57 с.
2. Федеральный Закон от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ "О пожарной безопасности".
3. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. / Под ред. А.Н. Баратова/. В 2-х кн. – М.: Химия, 1990. Кн.1-я – 495 с., кн. 2-я – 383 с.
4. НПБ 105-95 "Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности". – М.: ГУ ГПС, 1995.
5. Александров А.Н. Пожарная безопасность. – М.: Приор, 1998.
6. Розловский А.И. Основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами. М.: Химия. 1980. 376 с.
7. Корольченко А.Я. Пожаровзрывобезопасность промышленной пыли. М.: Химия. 1996. 216 с.
8. Бесчастнов М.Б. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. М.: Химия. 1991. 432 с.
9. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. /Под ред. А.Н. Баратова/. М.: Химия, 1987. – 270 с.
- 10.Собурь С.В. Пожарная безопасность предприятия. – М.: Спецтехника, 1998.
- 11.Черкасов В.Н. Защита пожаро- и взрывоопасных зданий и сооружений от молний и статического электричества, 4-е издание. – М.: Стройиздат, 1993.

Литература дополнительная

- 12.Губин Ю.Г. и др. Пожарно-техническая подготовка. Учебник. – М.: Воениздат, 1984.
- 13.Наставление по пожарно-строевой подготовке. – Ярославль: изд. МВД, 1974.
- 14.Повзик Я.С. и др. Пожарная тактика.- М.: Стройиздат, 1990.
- 15.Баратов А.Н., Пчелинцев В.А. Пожарная безопасность. – М.: Спецтехника, 1997.
- 16.Игровое моделирование и пожарная безопасность (под редакцией Брушлинского Н.Н.) – М.: Стройиздат, 1993.
- 17.Боевой устав пожарной охраны (приложение №2 к приказу МВД России от 05 апреля 1995 г. № 257).
- 18.Технические средства и способы тушения пожаров (под редакцией Б.Л. Иванова). – М.: Энергоиздат, 1984.

Интернет-ресурсы

1. СТО ТПУ 2.5.01–2006. Система образовательных стандартов. Работы выпускные, квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления / ТПУ [Электронный ресурс] – Томск, 2006. – Режим доступа: <http://portal.tpu.ru/departments/head/methodic/standart>, свободный.

Учебное издание

ПОЖАРОВЗРЫВОЗАЩИТА

Учебное пособие

Составители

СЕЧИН Александр Иванович
КЫРМАКОВА Ольга Сергеевна

В авторской редакции


Компьютерная верстка *Л.А.Егорова*



Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru