Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь

Учреждение образования

«Гомельский инженерный институт»

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине

Опасные факторы чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера

На тему: Прогнозирование последствий аварий на пожаро-взрывоопасном объекте

Выполнил: к-т 2 курса 2 взвода

ряд вн. службы Пинчук В.М.

## Гомель 2004

СОДЕРЖАНИЕ

Объект расчёта и сценарий аварии

1. Методика расчёта степени воздействия ударной волны на объекты и человека при детонационном взрыве газопаровоздушного облака

Расчёт массы насыщенных паров горючего в резервуаре

Расчёт массы жидкости, испарившейся с поверхности разлива

Расчёт тротилового эквивалента при детонационном взрыве облака ГПВС

Расчёт степени воздействия ударной волны на различные объекты

Расчёт вероятности поражения человека ударной волной

Расчёт минимального безопасного расстояния человека от эпицентра взрыва

2. Методика расчёта степени теплового воздействия на объекты и человека при диффузионном горении горючей жидкости в результате её аварийного разлива

Расчёт массовой скорости выгорания горючей жидкости

Расчёт плотности теплового потока на различных расстояниях от эпицентра горения

Воздействие теплового излучения на объекты и человека

Вероятность поражения человека тепловым излучением

Минимальное безопасное расстояние для прибывших подразделений

3. Методика расчёта степени теплового воздействия на объекты и человека при горении огненного шара

Основные параметры огненного шара

Воздействие теплового излучения на объекты и человека при горении огненного шара

Выводы

Схема обстановки при аварии на участке «А»

Схема обстановки при аварии на участке «В»

ОБЪЕКТ РАСЧЁТА

На территории промышленного объекта имеются потенциально опасные участки А, B. Схемы участков приведены на рисунках 1, 2 соответственно.

Сценарий аварии:

1) На участке А произошло аварийное вскрытие ёмкости, имеющей объём Vрез, с горючей жидкостью объёмом Vж с последующим разливом её в пределах обвалования площадью Fпр. Через время τисп после разлития образовавшееся облако газо-паровоздушной смеси (ГПВС) воспламенилось и сгорело в режиме детонации, после чего разлитая жидкость продолжала интенсивно гореть в диффузионном режиме.

Определить:

а) степень разрушения прилегающих объектов;

б) степень воздействия ударной волны на людей;

в) вероятность поражения людей ударной волной;

г) вероятность поражения людей тепловым излучением в ходе диффузионного горения разлива;

д) сравнить два вида воздействия и указать определяющий (наиболее опасный) в отношении людей.

Графически изобразить:

а) зоны разрушений в результате воздействия ударной волны;

б) границу безопасного удаления людей от места взрыва (т. е. от центра разлива);

в) зону опасного и безопасного теплового воздействия на людей без защитной одежды;

г) минимальное безопасное расстояние для прибывших подразделений.

Расстояния до объектов, техники и людей в момент аварии, а также другие исходные данные приведены в табл. 1,2.

2) На участке В расположен резервуар с перегретой жидкостью массой mж, имеющей температуру Т. В результате аварийного разрушения резервуара с последующим воспламенением образовавшейся паровоздушной смеси возник огненный шар.

Определить:

а) диаметр огненного шара и время его существования;

б) вероятность поражения людей тепловым излучением огненного шара;

в) расстояние от места аварии, на котором возможно образование болезненных ожогов открытых участков кожи у людей;

г) степень воздействия теплового излучения огненного шара на близкорасположенные объекты и технику.

Графически изобразить:

а) границу безопасного удаления людей от места аварии;

б) зону опасного и безопасного теплового воздействия на людей без защитной одежды.

10 чел.

5 чел.

склад 1

склад 2

ЛЭП

автопарк

ВНБ

К-150

5 чел.

группа

людей

35 чел.

административное

ЛЭП

r1

r2

r3

r4

r5

r6

r7

Рисунок 1. УЧАСТОК «А»

автопарк

30 чел.

группа

r1

r2

r3

Рисунок 2. УЧАСТОК «В»

Примечание: склад является открытым с деревянной оградой.

Методика проведения расчётов

В реальных условиях процессы формирования газо-паровоздушных смесей, их переноса на определённые расстояния и взрыва, процессы испарения жидкости с поверхности разлива и её диффузионного или дефлаграционного горения, а также процессы, протекающие при внутренних пожарах, не являются стационарными. Поэтому точное математическое моделирование таких процессов, порой, невозможно, или требует проведения весьма сложных расчётов с применением компьютерных технологий и привлечения большого количества экспериментальных данных. Для приближённой оценки сложившейся обстановки в условиях техногенной аварии вышеперечисленные процессы можно рассматривать как квазистационарные, т. е. характеризующиеся постоянными значениями всех параметров на относительно малых временных интервалах. В связи с этим в настоящих расчетах принят ряд допущений:

1. Интенсивность испарения и скорость выгорания являются постоянными величинами при заданных условиях;
2. Ветер отсутствует;
3. Разлив горючей жидкости имеет форму правильного круга;
4. Радиус образовавшегося газо-паровоздушного облака равен радиусу окружности разлива;
5. Над поверхностью разлива образуется облако ГПВС, имеющее стехиометрическую концентрацию горючего и окислителя;
6. При формировании облака ГПВС в ходе испарения жидкости с поверхности разлива не учитывается разбавление внешних слоёв облака до области безопасных концентраций с течением времени;
7. При оценке последствий детонационного взрыва облака не учитывается осколочное действие взрыва;
8. Факел пламени при диффузионном горении разлива горючей жидкости имеет форму правильного конуса, площадь основания конуса факела пламени равна площади разлива жидкости;
9. Огненный шар, образующийся при дефлаграционном горении парокапельных облаков перегретых жидкостей, имеет форму правильного шара, высота центра шара равна половине его диаметра;
10. Доля тепла, расходуемого на тепловое излучение факела пламени или огненного шара, составляет в среднем 30%;
11. Во всех случаях происходят процессы полного горения.

При этом следует иметь в виду, что полученные в ходе расчётов результаты носят ориентировочный характер с определённой долей вероятности. Точные результаты могут быть получены только в экспериментальных условиях в реальной обстановке.

### ГЛАВА I. УЧАСТОК «А»

### Таблица 1. Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Горючая жидкость | Объём резервуара,м3 | Масса жидкости,т | Площадь обвалования,м2 | Температура воздуха,оС | Атмосферное давление,кПа | Время испарения,с |
| диэтиловый эфир | 200 | 120 | 1500 | 10 | 102,5 | 210 |

Таблица 2

|  |
| --- |
| Расстояние до объекта, м |
| r1 | r2 | r3 | r4 | r5 | r6 | r7 |
| 100 | 105 | 50 | 75 | 60 | 50 | 75 |

Примечание:

склад 1 – кирпичное здание;

склад 2 – здание из сборного железобетона;

административное – многоэтажное здание с металлическим каркасом;

ВНБ – водонапорная башня;

К-150 – наземный кольцевой трубопровод;

ЛЭП – воздушная линия электропередачи низкого напряжения.

1. Расчёт степени воздействия ударной волны на объекты и человека при детонационном взрыве газо-паровоздушного облака

Участок А

Описание горючего вещества:

Диэтиловый эфир этиловый эфир, этоксиэтан ()

Физико-химические свойства: жидкость. Молярная масса 74,12 г/моль плотность 713,5кг/м3 при 20оС; плотность пара по воздуху 2,6; температура кипения +34,5оС; коэффициент диффузии пара в воздухе 0,0772 см2/с (расч); теплота образования –1252,2 кДж/моль; теплота сгорания-2531 кДж/моль; в воде растворим.

Пожароопасные свойства: Легковоспламеняющаяся жидкость. Температура вспышки -41оС; температура самовоспламенения 180оС; концентрационные пределы распространения пламени: 1,7-49 % (об.); температурные пределы воспламенения: НТПВ -44оС, ВТПВ 16оС; минимальное содержание кислорода для диффуз. горения 15,4 %, скорость выгорания 10,83\*; максимальная нормальная скорость распространения пламени 0,49 м/с; максимальное давление взрыва 720МПа; минимальная энергия зажигания 0,2 мДж;

Средства тушения: Вода в виде компактных или распылённых струй, пены, порошок ПСБ-3.

При аварийном разрушении резервуара с хранящимся в нём диэтиловым эфиром над поверхностью образовавшегося разлива формируется облако газо-паровоздушной смеси (ГПВС), имеющее плоскую форму, так как молярная масса паров диэтилового эфира составляет 74,12 г/моль, что больше молярной массы воздуха, равной 29 г/моль.

Масса паров диэтилового эфира в облаке складывается из массы вещества, испарившегося с поверхности разлива mисп и массы насыщенных паров диэтилового эфира mн.п., содержащихся изначально в свободном объёме резервуара до момента аварии:

mг = mисп + mн.п.

1.1 Расчёт массы насыщенных паров горючего в резервуаре

Объём насыщенного диэтилового эфира в резервуаре:

, м3 1.2

где Vрез – объём резервуара, м34

Vж – объём горючей жидкости в резервуаре, м3;

- объёмная доля насыщенного пара горючей жидкости (в долях от единицы).

Объём горючей жидкости в резервуаре:

, м3

где mж – масса жидкости в резервуаре, кг;

ρ′ж – плотность диэтилового эфира при температуре 10оС (по справочной таблице приложения 4 находим плотность диэтилового эфира а при 10оС, равную 713,5 кг/м3).

#### Парциальное давление насыщенного пара диэтилового эфира при температуре 10оС:

,

где А, В, СА – константы уравнения Антуана, равные соответственно 3,6875, 903,588 и -66,69 (приложение 1).

Объёмная доля насыщенного пара диэтилового эфира при 10С:



где Pо – атмосферное давление (по условию равно 99,5кПа);

Следовательно, в данных условиях:



Молярный объём при температуре 10С (283) и давлении 102,5кПа

По формуле Менделеева-Клапейрона:



Масса насыщенных паров горючей жидкости в резервуаре:



где Vн.п. – объём насыщенных паров жидкости, м3;

V′м – молярный объём при заданных условиях, м3/кмоль.

1.2 Расчёт массы жидкости, испарившейся с поверхности разлива

Интенсивность испарения диэтилового эфира в неподвижную среду:



где Рн.п. – парциальное давление насыщенных паров жидкости, кПа (рассчитывается по формуле 1.5);

М – молярная масса жидкости, кг/кмоль.

Масса диэтилового эфира , испарившегося с поверхности разлива

Так как, согласно исходным данным, разлив диэтилового эфира происходит в пределах обвалования, площадь которого меньше площади разлива на неограниченную поверхность, то принимаем, что площадь разлива равна площади обвалования: Fпр = Fобв. Следовательно:



где Wисп – интенсивность испарения;

τисп – продолжительность испарения до момента воспламенения облака;

Fобв – площадь обвалования.

Следовательно, по формуле 1.1 масса диэтилового эфира в облаке ГПВС равна:



1.3 Расчёт тротилового эквивалента при детонационном взрыве облака ГПВС

Стехиометрическая концентрация паров диэтилового эфира в облаке ГПВС:

Уравнение полного горения паров диэтилового эфира в воздухе:

 +6(О2 + 3,76N2) → 4СО2 + 5Н2О +6⋅3,76N2

Из уравнения реакции видно, что газопаровоздушной смесью в данном случае является смесь  + 6(О2 + 3,76N2) – т. е. левая часть уравнения. Следовательно:



где nг – стехиометрический коэффициент перед горючим веществом;

- сумма стехиометрических коэффициентов компонентов исходной ГПВС.

Объём облака ГПВС:



где V′м – молярный объём при заданных условиях;

mг – масса диэтилового эфира в облаке ГПВС.

Плотность стехиометрического облака ГПВС:



где , , - стехиометрические коэффициенты перед горючим веществом, кислородом и азотом соответственно в уравнении реакции полного горения;

М – молярная масса горючего вещества, кг/кмоль.

Низшая теплота сгорания:

диэтиловый эфир является химическим веществом, имеющим определённую химическую формулу 

Для индивидуальных химических веществ низшую теплоту горения  определяется через нахождение энтальпии реакции их сгорания. Энтальпия сгорания вещества есть изменение энтальпии реакции его горения в расчёте на 1 моль (или 1 кмоль).

Энтальпия сгорания:

Для реакции полного горения паров диэтилового эфира



где ,  и  - стандартные энтальпии образования углекислого газа, паров воды и паров диэтилового эфира соответственно.

Согласно справочным данным: = -393,5 кДж/моль,

= -242,5 кДж/моль,  = -276,96 кДж/моль.

Следовательно:



Согласно закону Лавуазье-Лапласа, тепловой эффект любой реакции численно равен, но противоположен по знаку изменению энтальпии этой реакции. Следовательно, при стандартных условиях низшая теплота сгорания:



Массовая теплота сгорания стехиометрической ГПВС:



где  - плотность стехиометрической смеси.

Тротиловый эквивалент:



где VГПВС – объём образовавшегося облака ГПВС, м3;

4184 – теплота взрывчатого разложения 1 кг тротила, кДж/кг.

1.4 Расчёт степени воздействия ударной волны на различные объекты

1) Склад 1 – кирпичное здание (r1 = 100 м):

Приведённый радиус (по формуле 1.19):



Приведённое давление во фронте ударной волны (по формуле 1.20):





Следовательно:



Избыточное давление во фронте ударной волны (по формуле 1.21):

;

где Ро – атмосферное давление, кПа.

Так как кирпичное здание склада является большим плоским сооружением, то результирующее воздействие на него будет оказывать давление отражения.

Избыточное давление отражения  (по формуле 1.25):



где Ро – атмосферное давление, равное по условию 102,5кПа,

Согласно справочной таблице приложения 8, для складского кирпичного здания:

|  |  |
| --- | --- |
|  | Разрушения |
| полные | сильные | средние | слабые |
| ΔРф, кПа | 40-50 | 30-40 | 20-30 | 10-20 |

Следовательно, на расстоянии 100 м от эпицентра взрыва облака ГПВС помещение склада 1 подвергнется средним разрушениям. будет разрушена кровля, фонари, оконные переплёты, незначительно повреждены внутренние малопрочные перегородки, разрушено 100% остекления. Значительного физического ущерба людям, находящимся в помещении склада, причинено не будет.

2) Склад 2 – здание из сборного железобетона (r2 =105 м):

Приведённый радиус:



Приведённое давление во фронте ударной волны:





Следовательно:



Избыточное давление во фронте ударной волны:

;

Так как здание склада 2 является большим плоским сооружением, то результирующее воздействие на него будет оказывать давление отражения.

Избыточное давление отражения :



Согласно справочной таблице приложения 8, для здания из сборного железобетона:

|  |  |
| --- | --- |
|  | Разрушения |
| полные | сильные | Средние | слабые |
| ΔРф, кПа | 30-60 | ‑ | 20-30 | 10-20 |

Следовательно, на расстоянии 105 м от эпицентра взрыва облака ГПВС помещение склада 2 подвергнется слабым разрушениям: будет разрушена кровля, фонари, оконные переплёты, незначительно повреждены внутренние малопрочные перегородки, разрушено 100% остекления. Значительного физического ущерба людям, находящимся в помещении склада, причинено не будет.

3) Административное здание – многоэтажное здание с металлическим каркасом (r4 = 75 м):

Приведённый радиус:



Приведённое давление во фронте ударной волны:





Следовательно:



Избыточное давление во фронте ударной волны:

;

Так как административное здание является большим плоским сооружением, то результирующее воздействие на него будет оказывать давление отражения.

Избыточное давление отражения :



Согласно справочной таблице приложения 8, для здания с металлическим каркасом:

|  |  |
| --- | --- |
|  | Разрушения |
| полные | сильные | средние | слабые |
| ΔРф, кПа | 50-60 | 40-50 | 30-40 | 20-30 |

Следовательно, на расстоянии 75м от эпицентра взрыва облака ГПВС помещение административного здания подвергнется средним разрушениям: повреждены оконные проёмы, разрушено 100% остекления, происходит изгибание металла. Значительного физического ущерба людям, находящимся в помещении административного здания, причинено не будет.

4) Водонапорная башня (r5 =60м):

Приведённый радиус:



Приведённое давление во фронте ударной волны:





Следовательно:



Избыточное давление во фронте ударной волны:

;

Степень разрушения конструкции определяется не только воздействием избыточного давления во фронте ударной волны, но и торможением движения масс воздуха, следующих за фронтом волны. Динамическая нагрузка, создаваемая потоком воздуха, называется давлением скоростного напора (или скоростным напором) во фронте ударной волны Рскф.

Давление скоростного напора (по формуле 1.23):

,

Воздействие скоростного напора на различные объекты в зависимости от условий их укрепления к опорам, фундаментам и т. п. может привести к смещению или опрокидыванию объекта. Совместное воздействие избыточного давления во фронте ударной волны ΔРф и скоростного напора Рскф формирует лобовое давление Рлоб. Лобовое давление рассчитывается только для неодушевлённых объектов, имеющих относительно небольшую площадь контакта с фронтом ударной волны. Так как водонапорная башня является относительно большим неплоским сооружением, то результирующее воздействие на него будет оказывать не давление отражения, а лобовое давление.

Лобовое давление (формула 1.24):



Согласно справочной таблице приложения 8, для металлической водонапорной башни:

|  |  |
| --- | --- |
|  | Разрушения |
| полные | сильные | Средние | слабые |
| ΔРф, кПа | 60 | 40-60 | 20-40 | 10-20 |

Следовательно, на расстоянии 60 м от эпицентра взрыва облака ГПВС водонапорная башня подвергнется средним разрушениям: небольшие вмятины на оболочке; вход из строя контрольно-измерительных приборов использование возможно после среднего (текущего) ремонта и замены повреждённых элементов.

5) Наземный кольцевой трубопровод К-150 (r6 = 50 м):

Приведённый радиус:



Приведённое давление во фронте ударной волны:





Следовательно:



Избыточное давление во фронте ударной волны:

;

Отличие данной величины от значения лобового давления невелико, следовательно можно делать прогноз разрушений на основании рассчитанного ΔРф.

Согласно справочной таблице приложения 8, для наземного трубопровода:

|  |  |
| --- | --- |
|  | Разрушения |
| полные | сильные | Средние | слабые |
| ΔРф, кПа | ‑ | 130 | 50 | 20 |

Следовательно, на расстоянии 50м от эпицентра взрыва облака ГПВС наземный трубопровод подвергнется слабым разрушениям: частичное повреждение стыков труб, контрольно-измерительной аппаратуры; использование возможно после замены повреждённых элементов.

6) Грузовой автопарк (r7 = 75 м):

Приведённый радиус:



Приведённое давление во фронте ударной волны:





Следовательно:



Избыточное давление во фронте ударной волны:

;

Согласно справочной таблице приложения 8, для грузовых автомашин:

|  |  |
| --- | --- |
|  | Разрушения |
| полные | сильные | средние | слабые |
| ΔРф, кПа | 90-130 | 55-65 | 30-55 | 20-30 |

Следовательно, на расстоянии 75 м от эпицентра взрыва облака ГПВС грузовая автотехника подвергнется очень слабым разрушениям: частичное разрушение остекления. Опрокидывания техники не будет. Текущего (среднего) ремонта практически не требуется.

7) Линии электропередачи: (r = 100-90 м)

Для воздушной линии электропередачи низкого напряжения, согласно справочным данным (приложение), слабые разрушения наблюдаются при величине ΔРф ≈ 20-60 кПа. На расстоянии 90 м избыточное давление во фронте ударной волны составляет 60 кПа (согласно расчётам в пункте 4). Следовательно, при взрыве ГПВС в данной обстановке может произойти обрыв ЛЭП

Зоны разрушений:

В результате бризантного и фугасного воздействия ударной волны условно можно выделить четыре зоны разрушений: зону полных RI (ΔРф > 50 кПа), зону сильных RII (ΔРф = 30 – 50 кПа), зону средних RIII (ΔРф = 22 – 30 кПа) и зону слабых RIV (ΔРф = 10 – 22 кПа) разрушений. При значении ΔРф < 10 кПа можно выделить зону лёгких разрушений RV (ΔРф = 1 – 10 кПа).

Коэффициент разрушений Кi:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристика | RI | RII | RIII | RIV | RV |
| Ki | ≤ 3,8 | 3,8 – 5,6 | 5,6 – 9,6 | 9,6 - 28 | 28 - 56 |

Радиусы зон разрушений (по формуле 1.26):

;

;

;

;

.

Радиус облака ГПВС (по формуле 1.27):



где Fпр – площадь пролива жидкости, м2

Из проведённых расчётов видно, что радиусы зон разрушений RI, RII, меньше радиуса облака ГПВС.

1.5 Расчёт вероятности поражения человека ударной волной.

Группа людей (r3 = 50 м):

Приведённый радиус:



Приведённое давление во фронте ударной волны:





Следовательно:



Избыточное давление во фронте ударной волны:

;

Основными поражающими факторами при воздействии ударной волны на человека является избыточное давление во фронте ударной волны ΔРф, импульс I и осколочное действие. Величина ΔРф обуславливает барическое воздействие на человека (т. е. баротравму), а I – метательное воздействие (т. е. опрокидывание или отброс).

Приведённый импульс во фронте ударной волны (формула 1.28):





Следовательно:



Импульс во фронте ударной волны (формула 1.30):



«Пробит» - функция (формула 1.31):



где:



Следовательно:



Согласно справочной таблице приложения 10, рассчитанное значение «пробит»-функции соответствует вероятности поражения человека Qвп ≈ 91,5%.

1.6 Расчёт минимального безопасного расстояния человека от эпицентра взрыва

Минимальное безопасное расстояние для людей, находящихся вне укрытий (по формуле 1.33):



Минимальное безопасное расстояние для людей, находящихся в укрытиях (по формуле 1.34):



2. РАСЧЁТ СТЕПЕНИ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБЪЕКТЫ И ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДИФФУЗИОННОМ ГОРЕНИИ ГОРЮЧЕЙ ЖИДКОСТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЕЁ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА

Участок А

2.1 Расчёт массовой скорости выгорания диэтилового эфира. Линейная скорость выгорания (по формуле 2.1):

Горение горючей жидкости в пределах обвалования можно представить как горение в резервуаре большого размера. Для резервуаров достаточно крупных размеров (d → ∞):



где М – молярная масса горючей жидкости, кг/кмоль;

ρж – плотность горючей жидкости при температуре окружающей среды, кг/м3;

λ – коэффициент теплопроводности жидкости, кал/(м∙с∙град);

g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с2;

Ткип – температура кипения жидкости, К;

ср – теплоёмкость жидкости, кал/(моль∙К);

η – динамическая вязкости жидкости, П (Пуаз);

ΔНисп – теплота испарения жидкости, кал/моль

Qн – молярная теплота сгорания жидкости, кал/моль.

Учитывая, что 1 кал = 4,1865 Дж, для диэтилового эфира



Значение Qн в кДж/моль рассчитано в разделе 1.3.

Остальные данные берутся из справочных таблиц приложения 1-3.

Следовательно, для диэтилового эфира при t = 10оС:



Массовая скорость выгорания диэтилового эфира (по формуле 2.2):



где ρж – плотность жидкости, кг/м3.

2.2 Расчёт плотности теплового потока на различных расстояниях от эпицентра горения

Массовая низшая теплота сгорания диэтилового эфира (по формуле 2.4):

,

где  - молярная низшая теплота сгорания диэтилового эфира, рассчитанная в разделе 1.3.

Интенсивность тепловыделения факела пламени (по формуле 2.3):

,

где υm – массовая скорость выгорания диэтилового эфира , кг/(м2·с);

Fпр – площадь поверхности разлива диэтилового эфира , м2.

Интенсивность излучения факела пламени (по формуле 2.5):

Доля тепла, расходуемого на излучение факела пламени αизл, для диэтилового эфира, можно принять равной 0,25:



Условная высота пламени при горении разлива диэтилового эфира:

 +6(О2 + 3,76N2) → 4СО2 + 5Н2О +6⋅3,76N2

Стехиометрическое отношение воздуха к летучим продуктам горения:

По формуле 2.8:



где  - коэффициент перед кислородом в уравнении реакции полного горения диэтилового эфира.

 - коэффициент перед i-м продуктом горения в уравнении реакции.

Диаметр очага горения

Рассчитан на основе радиуса разлива по формуле 1.27:



Удельная теплоёмкость воздуха:



Плотность воздуха при t = 10оС:



Выражение безразмерного параметра (по формуле 2.7):



где  - удельная теплоёмкость воздуха, Дж/(кг·К);

Тв и ρв – температура и плотность окружающего воздуха, К и кг/м3 соответственно;

 - массовая теплота сгорания диэтилового эфира , кДж/кг;

g – ускорение свободного падения (9,81 м/с2);

q – интенсивность тепловыделения факела пламени, кВт;

d – диаметр очага горения, м;

r – стехиометрическое отношение воздуха к летучим продуктам горения.

Условная высота пламени (по формуле 2.6):



Коэффициент пропускания атмосферы для расстояния r = 50 м (по формуле 2.10):



где τатм – коэффициент пропускания атмосферы для теплового излучения;

r – расстояние от группы людей до эпицентра очага горения, м.

# H

**a**

**b**

 Схема для расчёта коэффициента облучённости поверхности, расположенной вертикально и параллельно излучающей поверхности.

Коэффициент облучённости людей факелом пламени

Из рисунка видно, что величина a соответствует радиусу пролива жидкости (rпр= 21,85 м), b – расстояние r от заданного объекта или человека до эпицентра горения (r3 = 50м)

Следовательно:

;





Плотность теплового потока на расстоянии 50м от эпицентра горения (по формуле 2.13):



где  - интенсивность излучения факела пламени, кВт (формула 2.5);

2.2 Воздействие теплового излучения на объекты и человека

Согласно таблицам приложения 14-17, критические плотности теплового потока  для большинства строительных материалов и конструкций, а также для техники, намного превышают рассчитанную величину  для r = 50м. Следовательно, можно сделать вывод, что в данной обстановке помещение склада 1, склада 2, административного здания, водонапорная башня и автотехника находятся на безопасном удалении от очага горения.

Безопасная плотность теплового потока для людей без специальной защиты составляет 1,39 кВт/м2. Следовательно, в данном случае группа людей находится в зоне безопасного теплового воздействия, так как < 1,39 кВт/м2.

Минимальное безопасное расстояние человека от эпицентра очага горения:

1) Приблизительное минимальное безопасное расстояние (по формуле 2.14):



2) Коэффициент облучённости для расстояния :







3) Коэффициент пропускания атмосферы при = 48м;



4) Плотности теплового потока на расстоянии :



5) Минимальное безопасное расстояние (методом линейной интерполяции по формуле 2.15):



Так как согласно исходным данным, люди находятся на расстоянии, большем чем , то для них вероятность теплового поражения человека Qвп ≈0%..

2.3 Минимальное безопасное расстояние для прибывших подразделений

Для людей в специальной защитной одежде, к которой относится в том числе и боевая одежда спасателей, критическая плотность теплового потока  равна 4,2 кВт/м2. Расстояние от эпицентра горения, которому соответствует данная плотность теплового потока, рассчитывается по формулам 2.14 – 2.15 методом последовательных приближений с учётом того, что в формулу 2.14 подставляется 4,2 кВт/м2:

1) Приблизительное минимальное безопасное расстояние (по формуле 2.14):



2) Коэффициент облучённости для расстояния :







3) Коэффициент пропускания атмосферы при = 30м:



4) Плотности теплового потока на расстоянии :



5) Минимальное безопасное расстояние (методом линейной интерполяции по формуле 2.15):

Согласно расчётам в разделе 2.2, при r = 48м = 1,5кВт/м2.

Следовательно:



### ГЛАВА II. УЧАСТОК «В»

Таблица 3. Исходные данные

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Перегретая жидкость | Температура перегрева, К | Масса жидкости, т | Груз на складе | Расстояние до объектов, м |
| люди | склад | автомашины |
| пентан | 350 | 40 | Рулонная кровля | 320 | 160 | 200 |

1. Расчёт степени теплового воздействия на объекты и человека при горении огненного шара

##### Участок В

2.1 Основные параметры огненного шара

Доля мгновенно испарившейся перегретой жидкости (по формуле 3.2):



где  - стандартная молярная теплоёмкость перегретой жидкости;

Т – температура перегретой жидкости, К;

 - температура кипения жидкости, К;

 - энтальпия (теплота) испарения жидкости при температуре кипения, Дж/моль (приложение 1).

Масса мгновенно испарившейся перегретой жидкости при аварийном вскрытии ёмкости (по формуле 3.1):



где  - масса перегретой жидкости, находящейся в ёмкости, кг;

 - доля мгновенно испарившейся перегретой жидкости при температуре перегрева Т.

Эффективный диаметр огненного шара (по формуле 3.3):



Время существования огненного шара (по формуле 3.4):



где  - масса мгновенно испарившейся перегретой жидкости, кг.

Площадь поверхности огненного шара (по формуле 3.6):



Массовая скорость выгорания пентана в режиме огненного шара (по формуле 3.5):



Интенсивность теплового излучения огненного шара (по формуле 3.7):

Для пентана доля тепла, расходуемого на излучение, принимается равной 0,3.



где  - доля тепла, расходуемого на излучение;

 - массовая теплота сгорания метанола, кДж/кг;

 - площадь поверхности огненного шара, м2.

2.2 Воздействие теплового излучения на объекты и человека при горении огненного шара

* 1. Воздействие на группу людей (r1 = 320 м):

Коэффициент пропускания атмосферы при тепловом излучении огненного шара (по формуле 3.8):





где  - расстояние от группы людей до точки на поверхности земли непосредственно под центром огненного шара, м;

 - эффективный диаметр огненного шара, м;

 -высота центра огненного шара, принимаемая равной , м.

Плотность теплового потока на заданном расстоянии r от центра огненного шара (по формуле 3.9):



где  - интенсивность теплового излучения огненного шара, кВт;

r – расстояние от группы людей до центра огненного шара, м.

Время наступления непереносимых болевых ощущений (Приложение 13):



Вероятность теплового поражения людей:

Так как, согласно проведённым расчётам, люди находятся в зоне теплового воздействия, в которой плотность теплового потока меньше 4 кВт/м2, то вероятность теплового поражения человека Qвп ≈0%.

Расстояние, в пределах которого возможно образование ожогов III-й степени открытых участков кожи (по формуле 3.10):



где  - масса мгновенно испарившейся перегретой жидкости, т (формула 3.1 – 3.2);

 - массовая теплота сгорания жидкости, кДж/кг (формула 2.4).

Расстояние, в пределах которого возможно образование ожогов II-й степени открытых участков кожи (по формуле 3.11):



Расчёт безопасного расстояния для людей

Приблизительное минимальное безопасное расстояние людей:

Так как для человека , то приблизительное минимальное безопасное расстояние можно рассчитать, используя коэффициент пропускания атмосферы , рассчитанный для  и равный 0,835:



Коэффициент пропускания атмосферы для расстояния 803 м:



Реальная плотность теплового потока на расстоянии 803м:



Истинное значение :

Согласно ранее проведённым расчётам в разделе 3.2, при r = 320м =3,89Вт/м2. Следовательно, методом линейной интерполяции:



* 1. Воздействие на открытый склад стеклопластика с деревянным ограждением (r = 160 м):

Коэффициент пропускания атмосферы для расстояния 160м;



Реальная плотность теплового потока на расстоянии 803м:



Для древесины сосновой критическая плотность теплового потока составляет 13,9 кВт/м2; для рулонной кровли 9–кВт/м2 (приложение 16). Согласно данным приложения 15 и 17, произойдёт воспламенение древесины и рулонной кровли при рассчитанной плотности теплового потока.

* 1. Воздействие на автомобили (r = 200 м):

Коэффициент пропускания атмосферы для расстояния 200м;



Реальная плотность теплового потока на расстоянии 200м;



Согласно справочным данным, для автомашин критическая плотность теплового потока  = 12,6 – 12,8 кВт/м2 (приложение 16). На основании сравнения приведённых величин с учётом времени существования огненного шара можно сделать вывод, что на данном удалении от центра огненного шара произойдёт возгорание горючих материалов на автомобилях, они подвергнутся значительной термической деструкции. Также произойдёт взрыв топливных баков.

ВЫВОДЫ

Участок «А»:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Объект | Параметр | Значение | Единица измерения | Примечания |
| Взрыв облака ГПВС |
| ГПВС |  | 942.56 | м3 |  |
|  | 3225.67 | кДж/кг |  |
|  | 1889 | кг |  |
| Склад 1 кирпичное здание | r1 | 100 | м |  |
|  | 27 | кПа |  |
| Склад 2 здание из сборного железобетона | r2 | 105 | м |  |
|  | 25.2 | кПа |  |
| Административное многоэтажное здание с металлическим каркасом | r4 | 75 | м |  |
|  | 39.3 | кПа |  |
| Водонапорная башня | r5 | 60 | м |  |
|  | 27.8 | кПа |  |
| Наземный трубопровод | r6 | 50 | м |  |
|  | 33.8 | кПа |  |
| Грузовой автопарк  | r7 | 75 | м |  |
|  | 18.45 | кПа |  |
| Аварийный разлив |  | 21.85 | м |  |
| RI | 37.62 | м |  |
|  | 277.2 | м |  |
|  | 554 | м |  |
| Люди | r3 | 50 | м |  |
|  | 33800 | Па |  |
| I | 591.55 | Па⋅с |  |
| Qвп | 91.5 | % |  |
|  | 173/114.95 | м |  |
| Диффузионное горение разлива |
| Люди |  | 1.19 | кВт/м2 |  |
|  | 49 | м |  |
| Qвп | 0 | % |  |
| Подразделения |  | 40 | м |  |

1) Расчёты показывают, что радиусы зон полного, сильного и среднего разрушений соизмеримы с радиусом аварийного разлива. В частности, RI<RII<ro;

Однако, известно, что в зоне действия детонационной волны, т. е. в пределах облака ГПВС, наблюдаются полные разрушения, так как избыточное давление во фронте ударной волны в этой зоне достигает 1,7 МПа и более. Следовательно, приближённо можно считать, что RI ≈ ro, а за пределами границы облака ГПВС реализуется зона слабых разрушений RIV. Дальнейшая эксплуатация объектов и техники возможна после мелкого текущего ремонта.

2) При рассчитанном значении ΔРф на данном удалении людей (50 м) от эпицентра аварийного разлива вероятность поражения человека ударной волной составляет 20%. Практика показывает, что при ΔРф ≈ 33.8 кПа основную опасность представляют осколочные поля, а не сама ударная волна. Данную группу людей (5 человек) можно отнести к числу легко пострадавших.

Так как все здания (склад 1, склад 2, административное) находятся в зоне очень слабых значений ΔРф, то вероятность поражения всех людей, находящихся в этих зданиях, можно принять равной нулю.

3) Группа людей в количестве 5 человек, находящаяся на удалении 60 м от центра разлива, находятся в зоне относительно опасного теплового воздействия, так как плотность падающего на них теплового потока составляет 2,02 кВт/м2. Однако, согласно расчётам, вероятность поражения их тепловым излучением равна нулю, т. е. люди успевают достичь границы безопасной зоны, равной в данном случае 70 м.

4) Сравнивая два вида воздействия (взрыв и тепловое излучение факела), очевидно, что на удалении группы людей на 60 м от эпицентра взрыва и горения определяющим поражающим фактором является воздушная ударная волна, хотя вероятность поражения человека в результате взрыва невелика.

5) Минимальное безопасное расстояние для прибывших подразделений составляет: 49 м - от центра разлива или 49-22,5 = 26,5 м – от границы очага горения.

6) Число погибших на участке «А»: 0 чел; число пострадавших: 5 чел.

Участок «В»:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Объект | Параметр | Значение | Единица измерения | Примечания |
| Огненный шар |  | 0,732 | ‑ |  |
|  | 21973 | кг |  |
|  | 140 | м |  |
|  | 19 | с |  |
| Люди | r1 | 200 | м |  |
|  | 12,5 | кВт/м2 |  |
|  | 3,93 | с |  |
| Qвп | 1,5 | % |  |
|  | 545 | м |  |
| Открытый склад стеклопластика | r2 | 200 | м | Обугливание ограждения и груза |
|  | 12,5 | кВт/м2 |
| Автомашины  | r3 | 210 | м | Частичная термическая деструкция; вероятен взрыв топливных баков |
|  | 11,3 | кВт/м2 |

1) Вероятность поражения группы людей (30 человек) тепловым излучением огненного шара составляет 1,5%. Следовательно, число вероятно погибших можно рассчитать по формуле:

;

Число пострадавших равно: N – Qв.п. = 30 – 4= 26 чел.

Расчёты показывают, что все пострадавшие получат ожоги II степени, так как находятся вблизи данной зоны (244 м). Их можно отнести к числу легко пострадавших. Зона получения ожогов III степени ограничена 130 метрами от центра огненного шара.

2) Граница безопасного удаления людей без защитной одежды от места аварии составляет 545м.

3) На заданном удалении от места аварии (200 м) произойдёт незначительное обугливание деревянного ограждения открытого склада и хранящегося в нём стеклопластика, так как плотность теплового потока составит более чем 12,5кВт/м2 с периодом экспозиции не более 19 с. Также произойдёт небольшое обугливание горючих материалов на автомобилях (210 м) с малой долей вероятности взрыва топливных баков.

### Схема обстановки при аварии на участке «А»

Условные обозначения:

 - граница опасного и безопасного теплового воздействия на человека;

 - зона безопасного теплового воздействия на человека;

 - зона опасного теплового воздействия на человека;

 - зона слабых разрушений;

 - зона полных разрушений;

 - минимальное безопасное расстояние человека от эпицентра взрыва, м;

 - минимальное безопасное расстояние для прибывших подразделений, м.

Схема обстановки при аварии на участке «В»

