

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 14.11.2015 15:29:24
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943d14a4851fda56dd89

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

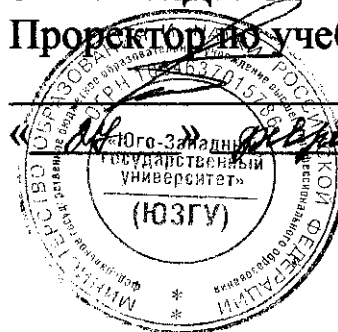
Кафедра охраны труда и окружающей среды

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

2015 г.



РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВОВ ГАЗОПАРОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

Методические указания для выполнения лабораторной работы
по дисциплине «Информационные технологии в прогнозировании и
предупреждении риска в чрезвычайных ситуациях» для студентов очной
и заочной формы обучения всех специальностей и направлений

КУРСК 2015

УДК 699.85

Составитель: В.П. Решетникова, В.В. Юшин

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент Г.П. Тимофеев.

Расчет параметров взрывов конденсированных взрывчатых веществ: методические указания к проведению лабораторной работы по дисциплине «Информационные технологии в прогнозировании и предупреждении риска в чрезвычайных ситуациях»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.П. Решетникова, В.В. Юшин. Курск, 2015. 11с. Библиогр.: с. 11.

В методических указаниях излагаются основные положения теории точечного взрыва, а также приводится методика расчета параметров детонационной волны при взрывах конденсированных взрывчатых веществ.

Методические указания предназначены для студентов очной и заочной формы обучения всех специальностей и направлений.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *24.02.15* Формат 60x84 1/13.
Усл. печ. л. 0,76. Уч.-изд.л. 0,68. Тираж 100 экз. Заказ *188* . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- изучение основных положений теории точечного взрыва и методики расчета параметров детонационной волны при взрывах конденсированных взрывчатых веществ (ВВ);
- создание на ЭВМ в среде MathCAD программ по анализу последствий взрывов конденсированных ВВ.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Взрыв представляет собой кратковременный процесс весьма быстрого превращения вещества с выделением большого количества энергии в небольшом объеме. Указанные превращения возникают в результате химической реакции (конденсированные, жидкие и газообразные ВВ) или ядерной. К взрывным процессам, вызванным физическими причинами, можно отнести разрушения резервуаров со сжатым газом, паровых котлов, а также мощные электрические разряды.

При взрыве заряда конденсированного взрывчатого вещества в атмосфере возникают воздушные ударные волны, распространяющиеся с большой скоростью в виде области сжатия – разрежения со скачком на своем фронте давления, температуры, плотности и скорости частиц среды (массовой скорости). При взрывах компактного заряда ВВ произвольной формы на расстояниях, превышающих несколько его характерных размеров, эффективность действия ударной волны эквивалентна действию заряда сферической формы. Форма фронта волны также является сферической. Таким образом, форма заряда несущественно сказывается на параметрах воздушной ударной волны на расстояниях от конструкций, представляющих практический интерес. Кроме того, масса заряда ВВ на этих расстояниях оказывается несущественной в сравнении с массой сферического объема воздуха (за фронтом ударной волны), вовлекаемого в движение. Эти обстоятельства привели к полезной абстракции, облегчающей постановку и решение задачи о расчете параметров ударных волн – схеме "точечного взрыва".

В теории точечного взрыва считается, что конечное количество энергии мгновенно выделяется в точке, т.е. масса продуктов детонации пренебрежительно мала. На не слишком больших расстояниях от центра взрыва давление в волне значительно выше атмосферного (сильная ударная волна), и атмосферным давлением пренебрегают. Решение без учета атмосферного противодействия является автотельным

(самоподобным), На расстояниях, где давление в волне становится соизмеримым с атмосферным, формируется задача о точечном взрыве с учетом противодействия. Такая задача является неавтомодельной и в общем случае может быть решена только численными методами на ЭВМ. Полное решение автомодельной задачи о точечном взрыве в замкнутом виде дано Л.И. Седовым (1946 г.). В связи с развитием вычислительной техники теория точечного взрыва интенсивно развивается на неавтомобильные и неоднородные задачи, а также на ситуации, связанные с фазовыми переходами и излучением. Задачу о точечном взрыве обычно формулируют для трех видов симметрии: сферической, цилиндрической и плоской. Цилиндрическая симметрия относится к зарядам, распределенным вдоль некоторой прямой, а плоская – к зарядам, расположенным в некоторой плоскости. Эффект действия ударных волн зависит как от вида симметрии, так и от расположения точки (линии, плоскости) взрыва относительно земной поверхности.

При воздушном взрыве ударная сферическая волна достигает земной поверхности и отражается от нее (рис. 1). На некотором расстоянии от эпицентра взрыва (проекция центра взрыва на земную поверхность) фронт отраженной волны сливается с фронтом падающей, вследствие чего образуется так называемая головная волна с вертикальным фронтом, распространяющаяся от эпицентра вдоль земной поверхности. Ближняя зона, где отсутствует слияние фронтов, называется зоной регулярного отражения, а дальняя зона, в которой распространяется головная волна, – зоной нерегулярного отражения (ниже траектории тройной точки слияния трех фронтов). В ближней зоне при умеренной высоте взрыва давление в ударной волне очень велико. Поэтому наибольший интерес представляют данные об ударной волне в дальней зоне.

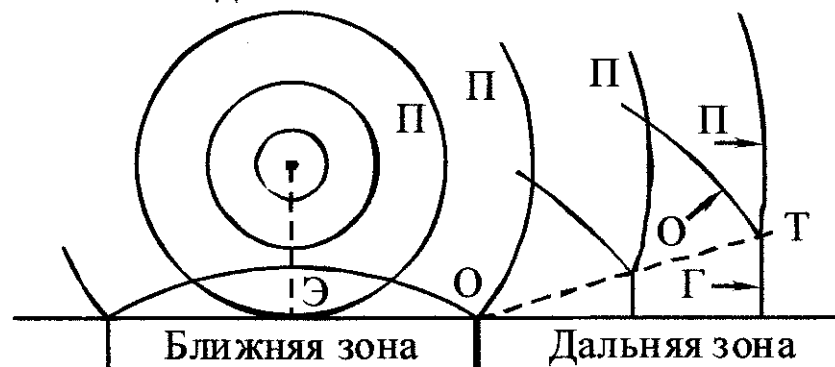


Рис. 1. Схема волнообразования при воздушном взрыве:

Э — эпицентр взрыва; П — фронт падающей волны; О — фронт отраженной волны; Г — фронт головной ударной волны; Т — траектория тройной точки.

Характер воздушной ударной волны при наземном взрыве (за пределами воронки) соответствует дальней зоне воздушного взрыва. Таким образом, как при воздушном, так и при наземном взрывах обычно рассматривают воздушную ударную волну, распространяющуюся от эпицентра с вертикальным фронтом.

С момента прихода фронта воздушной ударной волны в точку на земной поверхности давление резко повышается до максимального значения P_ϕ (рис. 2), а затем убывает до атмосферного P_0 и ниже атмосферного.

Период τ_+ повышенного избыточного (сверх атмосферного) давления $\Delta P = P - P_0$ называется фазой сжатия, а период τ_- пониженного давления $\Delta P < 0$ – фазой разрежения. Одновременно с давлением в ударной волне возникает движение воздушной среды от эпицентра (центра) взрыва. Законы изменения массовой скорости v и плотности ρ среды во времени качественно аналогичны изменению давления, однако вследствие инерционности воздушного потока период $\tau_{+ск}$ положительной фазы скоростного напора $P_{ск} = \frac{1}{2} \rho v^2 > 0$ несколько больше, чем τ_+ . Избыточное давление в волне и скоростной напор являются важнейшими характеристиками ударной волны, определяющими эффект ее воздействия на сооружение.

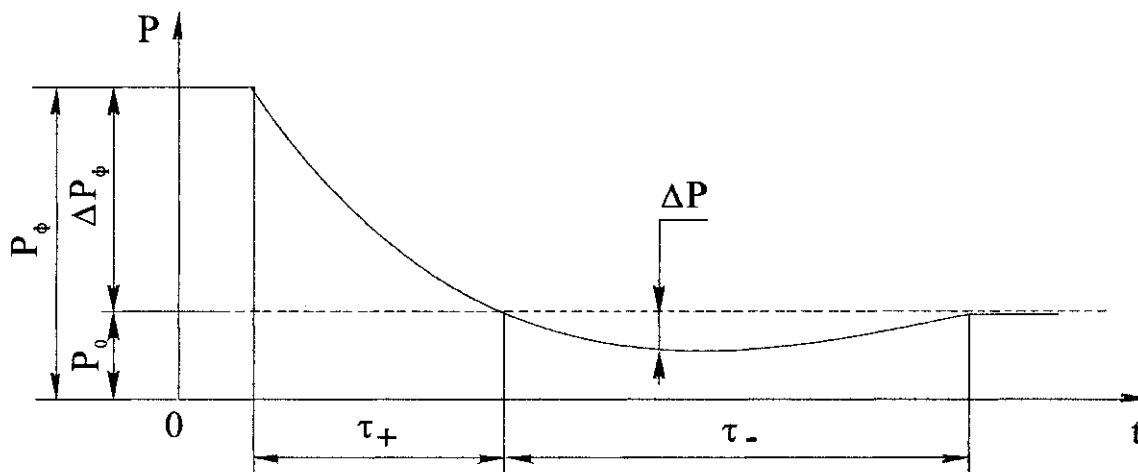


Рис. 2. Изменение давления в ударной волне со временем в фиксированной точке

По мере распространения ударной волны ее интенсивность убывает, скорость продвижения фронта волны уменьшается, и на значительных расстояниях от эпицентра ударная волна вырождается в акустическую. Основными параметрами, определяющими интенсивность ударной

волны, являются избыточное давление на фронте ΔP_ϕ и длительность фазы сжатия τ_+ . Эти параметры зависят от массы C заряда ВВ определенного типа (т.е. энергии взрыва), высоты H , условий взрыва и расстояния R от эпицентра.

М.А. Садовский – один из первых исследователей поля взрыва экспериментально установил, что основные параметры ударной волны подчиняются законам подобия. Эти законы имеют большое практическое значение, так как применимы для широкого диапазона энергий взрыва. Пусть для заряда ВВ, например, из тротила (тринитротолуол, ТНТ) массой C_1 на расстоянии R_1 известны параметры на фронте ударной волны (давление, плотность, скорость частиц), а также временные параметры (τ_+ , $\tau_{+ск}$ и время τ^* прихода фронта волны). Тогда те же параметры на фронте ударной волны взрыва заряда с массой C_2 будут на расстоянии R_2 , причем это расстояние и временные параметры (которые на расстояниях R_1 и R_2 , м, соответственно обозначим τ_1 и τ_2) определяются по формулам (закона подобия кубического корня)

$$R_2 = R_1 \sqrt[3]{C_2/C_1}, \quad \tau_2 = \tau_1 \sqrt[3]{C_2/C_1}. \quad (1)$$

Если ввести величину

$$\bar{R} = R/\sqrt[3]{C}, \quad (2)$$

где C – тротиловый эквивалент, кг, то закон подобия можно сформулировать как равенство параметров на фронте волны на равных "приведенных" расстояниях \bar{R} , м/кг^{1/3}. Для воздушных взрывов на высоте H , м, для соблюдения подобия необходимо иметь также равенство "приведенных" высот

$$\bar{H} = H/\sqrt[3]{C}.$$

Важной характеристикой ударной волны является ее удельный импульс I , кПа·с, определяемый для фазы сжатия ($0 < t < \tau_+$) по формуле

$$I = \int_0^{\tau_+} \Delta P(t) dt = AC^{2/3}/R, \quad A \approx 0.4, \quad (3)$$

где $\Delta P(t)$ – функция, характеризующая изменение избыточного давления за фронтом ударной волны во времени.

Удельный импульс положительной фазы скоростного напора определяют аналогично, но вместо $\Delta P(t)$ под интегралом (3) берут функцию $P_{ск}(t)$, характеризующую изменение скоростного напора в интервале $0 < t < \tau_{+ск}$. Согласно закону подобия на расстояниях R_1 , R_2 , соответствующих формуле (1), импульсы I_1 и I_2 связаны соотношением

$$I_2 = I_1 \sqrt[3]{C_2/C_1}. \quad (4)$$

Импульс фазы разрежения играет сравнительно меньшую роль, а его значение отрицательно, т.е. полный импульс несколько меньше импульса фазы сжатия.

Параметры воздушной ударной волны определяют по формулам М.А. Садовского, в которых вид взрывчатого вещества учитывается тротильным эквивалентом по ударной волне.

Давление ΔP_ϕ , МПа, для свободно распространяющейся сферической воздушной ударной волны определяют по формуле

$$\Delta P_\phi = \frac{0.084}{R} + \frac{0.27}{R^2} + \frac{0.7}{R^3}. \quad (5)$$

Мощность контактного взрыва на неразрушаемой преграде удваивается в связи с формированием полусферической волны. Поэтому для наземных взрывов величина тротильного эквивалента C в (2) умножается на 2η , где коэффициентом $\eta < 1$ учитывается расход энергии на образование воронки в грунте. Для средних грунтов $\eta = 0.6 \dots 0.65$, для плотных суглинков и глины $\eta = 0.8$.

Максимальное избыточное давление на поверхности земли при воздушном взрыве зависит от высоты взрыва H , однако при взрывах на небольшой высоте и на расстояниях $R > H$ (дальняя зона) максимум давления приближенно можно оценить по формуле (5).

Длительность фазы сжатия τ_+ , с, для наземного и приземного взрывов, определяют по формуле

$$\tau_+ = 1.5 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[6]{C} \sqrt{R}. \quad (6)$$

Скоростной напор на фронте ударной волны $P_{снф}$ определяют по формуле (10), а длительность $\tau_{+ск}$ в зависимости от давления характеризуется следующими значениями отношений $\tau_{+ск}/\tau_+$:

$\Delta P_\phi/P_0$	0.1	0.5	1	5	10	100
$\tau_{+ск}/\tau_+$	1.15	1.50	1.65	2.5	2.15	1.83

Для использования приведенных формул при расчете параметров волн при взрывах различных химических ВВ с теплотой взрыва Q_v величину C следует корректировать умножением на коэффициент, равный отношению Q_v данного ВВ и тротила согласно данным, приведенным в табл. 1.

Таблица 1. Теплота взрыва распространенных промышленных ВВ

Взрывчатое вещество	Q_v , кДж/кг	Взрывчатое вещество	Q_v , кДж/кг
Тротил (ТНТ)	4240	Тринитрохлорбензол	4240
Гексоген	5540	Нитрогуанидин	3020
ТЭН	5880	Дымный порох	2790
Динитробензол	3650	Пироксилин (N=13,3%)	4370
Тринитробензол	4520	Аммотол 80/20	4200
Пикрат аммония	3360	Октоген	5420
Тринитроанилин	4160	Гликольдинитрат	6640
Аммонийная селитра	1440	Оксиликвиты (поглотители: торф, уголь, мох, древесная мука)	3800... ...4200
Пентолит 50/50: 50% ТЭН + 50% ТНТ	4800		

Расчет параметров на фронте ударной волны проводится на основе приведенных ниже соотношений. Применяемые далее индексы " ϕ " и "0" относятся к параметрам на фронте ударной волны и в невозмущенной среде соответственно, причем параметры с индексом "0" обычно принимаются по данным международной стандартной атмосферы на уровне моря (МСА):

$$P_0 = 0.101325 \text{ МПа}, \rho_0 = 1.2249 \text{ кг/м}^3, T_0 = 288.16 \text{ К}.$$

Если известной считать величину ΔP_ϕ , которая может быть получена по формуле (5), то скорость распространения фронта ударной волны (D_ϕ , м/с), скорость движения воздушной среды (v_ϕ , м/с) и ее плотность (ρ_ϕ , кг/м³) определяются из следующих выражений:

$$v_\phi = \frac{S_0 \Delta P_\phi^*}{\gamma \sqrt{1 + \frac{\Delta P_\phi^* (\gamma + 1)}{2\gamma}}}, \quad (7)$$

$$D_\phi = S_0 \sqrt{1 + \frac{\Delta P_\phi^* (\gamma + 1)}{2\gamma}}, \quad (8)$$

$$\rho_{\phi} = \rho_0 \frac{1 + \frac{\Delta P_{\phi}^* (\gamma + 1)}{2\gamma}}{1 + \frac{\Delta P_{\phi}^* (\gamma - 1)}{2\gamma}}, \quad (9)$$

где $S_0 = 344$ м/с – скорость звука в атмосфере, γ – отношение теплоемкостей при постоянном давлении и объеме для совершенного газа (для воздуха $\gamma = 1.4$), $\Delta P_{\phi}^* = \Delta P_{\phi} / P_0$.

Скоростной напор на фронте ударной волны рассчитывается из выражения

$$P_{\text{скф}} = \frac{\Delta P_{\phi} \Delta P_{\phi}^*}{(\gamma - 1) \Delta P_{\phi}^* + 2\gamma}. \quad (10)$$

Температура T_{ϕ} на фронте ударной волны определяется по формуле

$$T_{\phi} = \frac{T_0 (1 + \Delta P_{\phi}^*)}{\rho_{\phi} / \rho_0}. \quad (11)$$

При давлениях $\Delta P_{\phi} < 10$ МПа формулы (7)... (11) преобразуются к виду

$$v_{\phi} = \frac{5/7 S_0 \Delta P_{\phi}^*}{\sqrt{1 + 6/7 \Delta P_{\phi}^*}}, \quad (12)$$

$$D_{\phi} = S_0 \sqrt{1 + 6/7 \Delta P_{\phi}^*}, \quad (13)$$

$$\rho_{\phi} = \frac{\rho_0 (6 \Delta P_{\phi}^* + 7)}{\Delta P_{\phi}^* + 7}, \quad (14)$$

$$P_{\text{скф}} = \frac{5/2 \Delta P_{\phi} \Delta P_{\phi}^*}{\Delta P_{\phi}^* + 7}, \quad (15)$$

$$T_{\phi} = \frac{T_0 (1 + \Delta P_{\phi}^*) (7 + \Delta P_{\phi}^*)}{6 \Delta P_{\phi}^* + 7}. \quad (16)$$

Для оценки поражающего действия ударной волны на людей и сооружения используется ряд методик, основанных на вероятностном подходе. В них учитываются значения предельного давления на фронте ударной волны ΔP_{ϕ} , удельного импульса I и длительности волнового давления τ_+ . Хотя в данной работе они не рассматриваются, однако для приближенной оценки риска поражения людей можно воспользоваться данными, приведенными в табл. 2.

Таблица 2. Давления ударной волны, вызывающие поражения человека различной степени

ΔP_{ϕ} , кПа	Результат воздействия
20	Разрывы барабанных перепонок. Небольшие кровоизлияния в легкие
50	Кроме указанного выше, общее сотрясение организма, болезненный удар по голове, кровоизлияние в легкие, межмышечное кровоизлияние, гиперемия мозга, иногда перелом ребер
70	Давление, трудно переносимое организмом, вызывающее состояние контузии
100...150	Переломы ребер, гиперемия сосудов мягкой мозговой оболочки
300	Летальный исход

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для заданного преподавателем вида взрывчатого вещества массой 1000 кг рассчитать параметры детонационной волны наземного взрыва и оценить степень поражения населения. Для этого:

1. Составить на ЭВМ в среде MathCAD программу по расчету параметров взрыва. Для нахождения периода $\tau_{+ск}$ положительной фазы скоростного напора на основе приведенных в указаниях табличных данных определить аппроксимирующую функцию, используя встроенные в MathCAD средства интерполяции сплайнами.

2. Построить графики зависимостей параметров ударной волны от расстояния до эпицентра взрыва ($R = 10...1000$ м).

3. Оценить риск поражения населения, находящегося в районе взрыва. Для этого, используя данные табл.2, рассчитать на местности границы характерных зон поражения, и, далее, площади зон. При определении количества попавших в область взрыва людей плотность населения принять равной 1 человек на 100 м².

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Листинг написанной в среде MathCAD программы расчета параметров взрыва конденсированных ВВ.

4. Графики зависимостей параметров ударной волны от расстояния до эпицентра взрыва.

5. Таблица с результатами расчета людских потерь по зонам поражения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение взрыва.

2. Объясните, почему при расчетах параметров взрывов применяется модель "точечного взрыва".

3. Поясните схему волнообразования при воздушном взрыве.

4. Перечислите характеристики ударной волны.

5. Какому закону подчиняются основные параметры ударной волны и в чем его суть?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие в 4-х книгах. Книга 1. / Под. ред.: К.Е. Кочеткова, В.А. Котляровского и А.В. Забегаева / В.А. Котляровский, К.Е. Кочетков, А.В. Забегаев, А.А. Носач и др. – М., Издательство АСВ / 1995. – 320 стр. с ил.

2. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие в 4-х книгах. Книга 2. / Под. ред.: К.Е. Кочеткова, В.А. Котляровского и А.В. Забегаева / В.А. Котляровский, А.В. Виноградов, С.В. Еремин, В.М. Кожевников, А.А. Костин и др. – М., Издательство АСВ / 1996. – 383 стр. с ил.

3. Бейкер У., Кокс П., Уэстайн П и др. Взрывные явления. Оценка и последствия. Кн. 1,2.- М., Мир, 1986.

4. Маршал В. Основные опасности химических производств. М., Мир, 1989.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра охраны труда и окружающей среды



по учебной работе
О.Г. Локтионова
_____ 2015 г.

**ОЦЕНКА ПОРАЖАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОЙ
РАДИАЦИИ ПРИ СГОРАНИИ УГЛЕВОДОРОДОВ**
методические указания к проведению лабораторной работы
по дисциплине «Информационные технологии в прогнозировании и
предупреждении риска в ЧС»
для студентов направления подготовки
280700 Техносферная безопасность

Курск 2015

УДК 371.64/.69:004

Составители: И.О. Кирильчук

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Г.И. Тимофеев.*

Оценка поражающего действия тепловой радиации при сгорании углеводородов: методические указания к проведению лабораторной работы / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: И.О. Кирильчук. Курск, 2015. 15 с.

В методических указаниях излагается методика расчета параметров огненных шаров, возникающих при сгорании углеводородов и дефлаграционных взрывах газопаровоздушных смесей в открытом пространстве.

Методические указания предназначены для для студентов направления подготовки 280700 Техносферная безопасность.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *23.11.15* Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. 0,87. Уч.-изд.л. 0,83. Тираж 30 экз. Заказ *896*. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- изучение механизмов возникновения пожаров при авариях на химически опасных объектах;
- освоение методики расчета параметров теплового потока огненного шара, образующегося при сгорании газопаровоздушных смесей;
- создание на ЭВМ в среде MathCAD программы по анализу поражающего действия тепловой радиации при сгорании газопаровоздушных смесей.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Пожар – это стихийно развивающееся горение, не предусмотренное технологическими процессами. В случае, когда производственный процесс связан с переработкой, хранением и транспортировкой горючих веществ (например, энергоносителей), возникающий в результате аварии пожар характеризуется крупными масштабами с высокой интенсивностью горения и/или скоростью развития. Такие пожары включают и огненные шары, механизмы возникновения которых обсуждаются ниже.

Принята следующая классификация пожаров:

Класс А. Пожары твердых материалов (обычно органических по своей природе), в процессе которых горение сопровождается образованием раскаленных углей.

Класс В. Пожары жидкостей и сжиженных материалов.

Класс С. Пожары газов.

Класс D. Пожары металлов.

Далее в работе рассматриваются пожары классов В и С.

1. Природа химических пожаров

За исключением определенных реакций в твердых фазах, предполагается, что химическая природа пожаров заключается в окисле-

нии газовой или паровой фазы.

В качестве примера рассмотрим горение свечи. Обычная свеча изготавливается из смеси парафина (приблизительная формула $C_{25}H_{52}$) с салом. Парафин – вещество горючее, но не воспламеняющееся, т. е. он горит, но с трудом, так как в холодном состоянии давление его паров незначительно. Наличие фитиля из нитки – существенная особенность, без которой свеча гореть не сможет. Когда свеча начинает устойчиво гореть, тепло от пламени растапливает воск (температура плавления $50\text{ }^{\circ}\text{C}$), который благодаря капиллярному действию подпитывает фитиль. В фитиле он испаряется и/или распадается на более короткие цепочечные углеводороды; именно эти пары и продукты разложения горят в пламени. Кроме того, при горении разлагаются длинноцепочечные углеводороды, и выделяется некоторое количество свободного углерода, что и приводит к появлению дыма.

Этот процесс служит примером многих особенностей химических пожаров, из которых главная заключается в том, что пламя может давать тепло, равное скрытой теплоте плавления, испарения и разложения. В случае жидкостей необходимо количество тепла, равное именно скрытой теплоте испарения; в случае газов или паров подвода тепла не требуется совсем. Таким образом, твердые вещества с низким давлением паров будут гореть наименее интенсивно, а наибольшая интенсивность горения будет наблюдаться для воспламеняющихся газов и паров.

Промежуточным случаем является горение воспламеняющихся жидкостей, давление паров которых при обычных температурах меньше давления, соответствующего нижнему пределу воспламеняемости (НПВ), а также горение легко воспламеняющихся жидкостей с температурой вспышки (ТВ) ниже окружающей температуры.

2. Основные опасности химических пожаров

Явления, сопровождающие зажигание разлития или выход воспламеняющейся жидкости при потере герметичности, зависят от количества пара над разлитием, а не от полного количества разлитой жидкости. Эти явления зависят также от степени смешения воспламеняющихся паров с воздухом.

Все жидкости, способные вызывать пожары, делятся на 6 классов.

Класс 1 – жидкости, имеющие при окружающей температуре незначительное давление паров. Прежде чем такая жидкость загорится, к ней необходимо подвести значительное количество тепла, достаточное для повышения ее температуры на несколько сотен градусов по Цельсию. Хотя подобные жидкости неспособны самостоятельно поддерживать горение, тем не менее, их можно рассматривать как составную часть более крупного пожара. Жидкостям этого класса лучше всего подходит название "трудно горящие", но никак не "воспламеняющиеся"; они не входят в круг основных химических опасностей. Примером такой жидкости может служить смазочное масло.

Класс 2 – жидкости с высокой температурой вспышки. Для того чтобы получить давление паров, соответствующее НПВ, к ним надо подвести определенное количество тепла. Хотя такие жидкости можно называть "воспламеняющимися", они не представляют собой большой опасности. Пример: n-ксилол (температура вспышки 39 °С).

Класс 3 – жидкости, у которых температура вспышки или равна номинальной температуре окружающей среды, или ниже ее (32 °С). В принципе над такими жидкостями, по крайней мере непосредственно над их поверхностью, находится смесь пара и воздуха в концентрации выше НПВ. На некотором расстоянии от поверхности концентрация будет ниже НПВ. Однако в зависимости от химического состава пара возможны широкие вариации его концентрации

даже для веществ, классифицируемых как легковоспламеняющиеся и при обычных температурах представляющих собой жидкости. Например, температура вспышки октана 13 °С, а диэтилового эфира – 49 °С.

Классификация воспламеняющихся веществ этого типа наименее определена, так как температура окружающей среды может изменяться по крайней мере на 30 °С. Поэтому целесообразно провести дополнительную классификацию, отнеся к классу 3 жидкости, имеющие при температуре окружающей среды давление паров между нижним и верхним пределами самовоспламенения, и выделяя отдельно жидкости класса 4.

Класс 4 – жидкости, давление паров которых при температуре окружающей среды заключено между верхним пределом самовоспламенения (ВПВ) и атмосферным давлением. Таким образом, при температуре воздуха 20°С октан, имеющий объемную концентрацию пара 1,3% (НПВ = 1%), следует считать веществом 3-го класса, а диэтиловый эфир с концентрацией пара 60% (ВПВ = 28%) - веществом класса 4.

Класс 5 – воспламеняющиеся жидкости, у которых при хранении давление паров (абсолютное) около 0.1 МПа. Сюда относятся охлажденные или криогенные воспламеняющиеся газы, такие, как СПГ. Хотя при разлитии примыкающий к поверхности слой слишком богат, чтобы гореть, при рассеянии заметная доля разлития превратится в способную сгорать смесь пара и воздуха.

Класс 6 – это сжиженные воспламеняющиеся газы. При разгерметизации оборудования значительная часть сжиженного газа выделяется в виде пара. Этот пар вместе с увлекаемыми каплями жидкости в определенных случаях можно представить как пар, образовавшийся при полном испарении жидкости, вместе с аэрозолем. Примером жидкости класса 6 может служить сжиженный пропан.

Поведение разлитых и зажженных жидкостей сильно зависит от рассмотренных выше свойств. На него влияют также конфигурация

окружения, скорость ветра и время, прошедшее с момента истечения до зажигания.

Возможны шесть случаев ответной реакции жидкости на присутствие источника зажигания.

1) Жидкости первого класса не зажигаются от находящегося в непосредственной близости источника и могут не зажечься даже при ударе пламени.

2) Жидкости второго класса не зажигаются от находящегося рядом источника, но будут зажигаться от удара пламени и гореть в самоподдерживающемся пожаре разлития.

3) Жидкости третьего класса зажигаются от находящегося рядом источника и могут быстро образовать самоподдерживающийся пожар разлития. Расстояние между источником, способным зажечь облако, и ближайшей к нему точкой разлития зависит не только от свойств облака, но и от скорости ветра. Это расстояние намного больше по ветру, чем поперек или против ветра. При некоторых обстоятельствах, когда ветер имеет скорость, намного превышающую скорость пламени, облако может выгорать не с ближайшего края разлития. Источник зажигания вызовет появление пламени, которое будет быстро перемещаться и поджигать весь объем паровоздушной смеси, концентрация которой выше НПВ. Подобную ситуацию можно назвать "вспышечным пожаром" или "пожаром облака". В таких случаях облако способно сгорать целиком.

4) Жидкости четвертого класса зажигаются от находящегося рядом источника с образованием вспышечного пожара и способны образовывать самоподдерживающийся пожар разлития. Паровое облако будет содержать переобогащенный элемент объема, и благодаря диффузии процесс горения этого элемента будет происходить только на его границе.

5) В случае разлития жидкости пятого класса находятся в равновесии со своими парами при абсолютном давлении 0.1 МПа. Подвод тепла от окружающей среды вызывает кипение, приводящее к

увеличению объема парового облака. Зажигание может произойти от источника, относительно удаленного от края разлития, и возникший в результате этого вспышечный пожар будет зажигать оболочку парового облака. Появление огненного шара возможно при очень больших разлициях, особенно если происходит большая задержка между растеканием и зажиганием. Такие разлития будут приводить к пожару разлития.

б) Жидкости шестого класса способны зажигаться от относительно удаленного источника с образованием вспышечного пожара, а возможно, также и пожара разлития в тех случаях, когда мгновенно испарившаяся часть мала (скажем, около 0.1, как это может быть в случае бутана). Значительная часть облака окажется переобогащенной; эта часть, благодаря диффузии, будет гореть на границах своей оболочки. Если масса разлития составляет порядка тонны, вспышечный пожар может перерасти в огненный шар. В определенных случаях ситуация может усугубиться до взрыва парового облака.

Отметим, что воспламеняющиеся газы или пары (в тех случаях, когда они тяжелее воздуха) при выбросах ведут себя подобно жидкостям класса 5, но без образования пожара разлития.

Иллюстрирует сказанное зависимость на рис.1, на котором представлено поведение жидкостей описанных классов в отношении источников зажигания.

В зависимости от условий возгорание жидкости или газа может принимать две формы: пожар разлития или вид огненного шара.

Пожар разлития определяется как "разлитие воспламеняющейся жидкости, горящее устойчивым диффузионным пламенем".

Пожары разлития подразделяют на:

1) пожары с четко определенной границей и формой, последняя может быть круглой или прямоугольной (например, пожар в резервуаре хранения, когда в результате либо внутреннего, либо внешнего взрыва резервуар остается без крыши);

2) пожары, для которых форма и глубина разлития определяют-

ся особенностями места разлития (выброс горючей жидкости на поверхность земли; выбросы жидкостей на поверхность водных объектов, где возможности для распространения фактически неограниченны).

Условия возникновения огненных шаров и расчет их параметров приводится ниже.

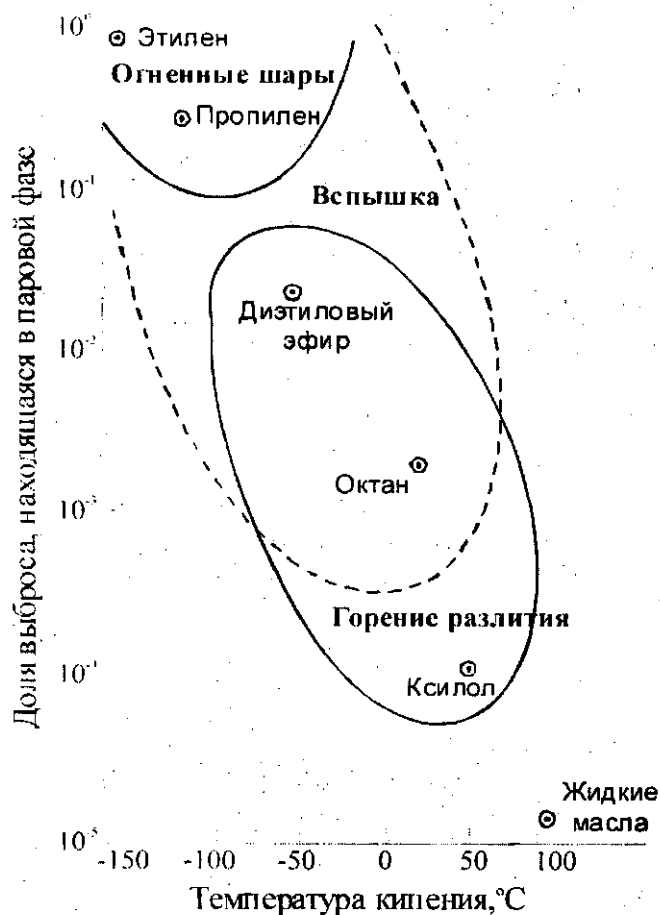


Рис. 1. Зависимость характеристик пожара от температуры кипения вещества

3. Расчет параметров теплового потока огненного шара, образующегося при сгорании газопаровоздушных смесей

При аварийном вскрытии газопроводов и емкостей, разлиниях углеводородов и их испарении облако газопаровоздушной смеси (ГПВС), переобогащенное топливом и не способное поэтому объем-

но детонировать, начинает гореть вокруг своей внешней оболочки и вытягивается, образуя огненный шар. Большая вероятность такого процесса обусловлена также тем, что для большинства углеводородов концентрационные пределы воспламенения их ГПВС шире, чем детонации.

Такие огненные шары крайне опасны, т.к. интенсивное свечение и излучение тепла может причинить смертельные ожоги наблюдателям и зажечь, например, дерево или одежду. Поднимаясь, огненный шар образует грибовидное облако, ножка которого - это сильное восходящее конвективное течение. Такое течение может всасывать отдельные предметы, зажигать их и разбрасывать горящие предметы на большие площади.

Возникновение огненных шаров возможно при разрушениях резервуаров и сосудов с горючими жидкими перегретыми продуктами (сжиженные углеводородные газы, аммиак, хлор, фреоны, содержащиеся в замкнутых объемах при повышенном давлении).

При разрушении системы с перегретой жидкостью происходит ее разлив и быстрое испарение. Взрывной характер процесса объясняется кратковременностью аварийного вскрытия сосудов, резервуаров и другого оборудования, содержащих продукт под давлением. Например, время полного разрушения сосуда объемом 100 м^3 при давлении 1 МПа составляет примерно 7 мс .

Обычно огненный шар весьма быстро (доли секунды) достигает максимума своего радиуса R_0 , который сохраняется в течение всего времени существования шара.

Радиус огненного шара R_0 , м, определяется из выражения

$$R_0 = 29^3 M,$$

а время его существования t_s , с, по формуле

$$t_s = 4.5^3 M,$$

где M – половина вместимости емкости по массе в тоннах.

При наличии группы из трех резервуаров за величину M принимается 90% вместимости.

Поражающее действие теплового излучения определяется теп-

ловой энергией, приходящейся на единицу поверхности на конкретном расстоянии r от центра огненного шара. Поток излучения q , $\text{кВт}/\text{м}^2$, падающий на мишень, определяется по формуле

$$q = E \cdot F \cdot T_p,$$

где E – мощность поверхностной эмиссии огненного шара, $\text{кВт}/\text{м}^2$; F – коэффициент, учитывающий фактор угла падения; T_p – проводимость воздуха. Для баллонов, вертикальных и горизонтальных резервуаров $E = 270 \text{ кВт}/\text{м}^2$, для сосудов шарообразной формы $E = 200 \text{ кВт}/\text{м}^2$.

Коэффициент F и проводимость T_p определяются по формулам

$$F = \frac{R_0^2 r}{(R_0^2 + r^2)^{3/2}}, \quad T_p = 1 - 0.058 \cdot \ln r.$$

где $r > 2R_0$ – расстояние по горизонтали от хранилища ГПВС до мишени.

Величина тепловой энергии (доза или импульс теплового излучения), падающей на единицу поверхности Q , $\text{кДж}/\text{м}^2$, определяется по формуле

$$Q = q \cdot t.$$

Воспламенение различных материалов зависит от теплового импульса и его длительности. Минимальная величина импульса, вызывающего воспламенение древесных материалов, составляет примерно $0.4 \text{ МДж}/\text{м}^2$. Как видно из табл. 1, величина воспламеняющего импульса растет вместе с его длительностью, т.е. с мощностью взрыва.

Импульсы теплового излучения, $MДж/м^2$,
длительностью τ , вызывающие воспламенение материалов

Материал	$\tau, с$			
	1.56	3.16	8.71	24.0
Древесина сухая (сосна)	0.58	0.67	0.88	1.00
Доски после распиловки (сосна, ель)	1.67	1.76	1.88	2.10
Доски, окрашенные в темный цвет	0.21	0.25	0.33	0.42
Кровля мягкая (толь, рубероид)	0.54	0.59	0.67	0.84
Стружка, солома, сено, бумага темная	0.12	0.17	0.21	0.25
Ткань вискозная черная	0.04	0.05	0.08	0.09
Ткань хлопчатобумажная коричневая	0.29	0.33	0.42	0.50
Сукно серое, брезент, кожа коричневая	0.62	0.70	0.84	1.26

Существуют разные подходы к оценке степени поражения человека от действия тепловой радиации при быстром сгорании углеводов и дефлаграционных взрывах газопаровоздушных смесей.

Так, например, болевой температурный порог для кожи человека соответствует температуре $T_n \approx 44^\circ C$. При $T > T_n$ степень поражения зависит от удельной энергии Q и длительности облучения τ . Считается, что без болевых ощущений кожа выдерживает тепловой поток интенсивностью $q \approx 21 \text{ кВт}/м^2$ в течение 2 с. При стационарном потоке этим данным соответствует $Q \approx 42 \text{ кДж}/м^2$. Исходя из этих данных, предельно безопасный радиус R_E (по В. Маршаллу — радиус эвакуации) для человека составляет примерно $(3.1 \dots 3.6) \cdot R_0$.

Оценить степень поражения человека при действии тепловой радиации можно по графику рис. 2, на котором дана зависимость процента поражения (вероятности поражения) λ от параметра тепловой радиации $Q = q^{4/3} \cdot t$, $(Вт/м^2)^{4/3} \cdot с$. При этом степеням поражения соответствуют ожоги кожи на глубину меньше 0.12 мм — 1 степень, меньше 2 мм — 2 степень и больше 2 мм — 3 степень.

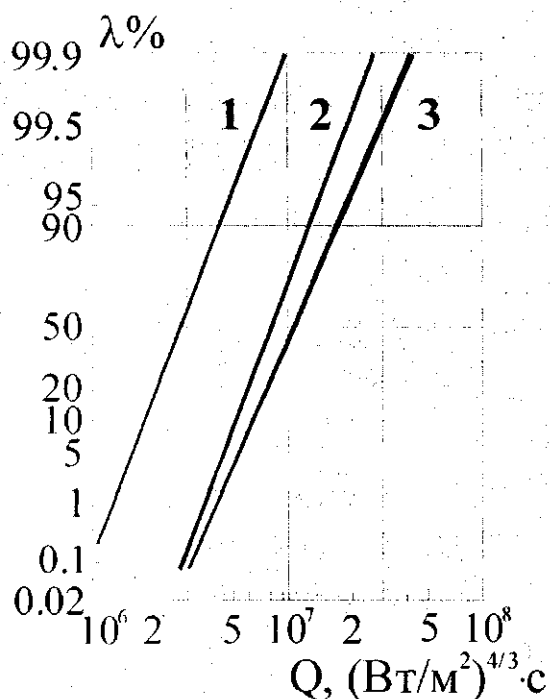


Рис. 2. Зависимость процента потерь людей без защитной одежды от воздействия тепловой радиации при горении углеводородов:

1 – первая степень поражения, 2 – вторая степень поражения, 3 – третья степень поражения (летальный исход)

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Рассчитать параметры огненного шара, образующегося при сгорании пропано-воздушной смеси в результате разлива 100...1000 тонн (емкость емкости задается преподавателем) жидкого пропана, определить порог воспламенения объектов (материал задается преподавателем) и оценить степень поражения населения. Для этого:

1. Составить на ЭВМ в среде MathCAD программу по расчету характеристик огненного шара. Построить графики зависимостей параметров теплового излучения от расстояния до хранилища ГПВС.

2. Определить минимальное расстояние, на котором не может возникнуть возгорание материальных объектов. Для нахождения импульса теплового излучения, вызывающего воспламенение заданного материала, на основе приведенных в указаниях табличных данных определить аппроксимирующую функцию, используя встроенные в MathCAD средства интерполяции сплайнами.

3. Оценить риск поражения населения, находящегося в районе аварии. Для этого, используя зависимости, представленные на рис.2, рассчитать на местности границы зон, соответствующих различным степеням поражения. Для определения функций, описывающих зависимости процента потерь, использовать встроенную в MathCAD функцию линейной интерполяции *linterp*.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Листинг написанной в среде MathCAD программы расчета характеристик огненного шара.
4. Графики зависимостей поражающего действия огненного шара от расстояния.
5. Таблица с результатами расчета людских потерь по зонам поражения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение пожара.
2. Объясните природу химических пожаров.
3. Перечислите основные опасности химических пожаров.
4. Каковы ответные реакции горючей жидкости на присутствие источника зажигания?
5. Какие формы может принимать возгорание жидкости или газа?
6. Поясните условия возникновения огненного шара.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие в 4-х книгах. Книга 1. / Под. ред.: К.Е. Кочеткова, В.А. Котляровского и А.В. Забегаева / В.А. Котляровский, К.Е. Кочетков, А.В. Забегаев, А.А. Носач и др. – М., Издательство АСВ / 1995. – 320 стр. с ил.

2. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие в 4-х книгах. Книга 2. / Под. ред.: К.Е. Кочеткова, В.А. Котляровского и А.В. Забегаева / В.А. Котляровский, А.В. Виноградов, С.В. Еремин, В.М. Кожевников, А.А. Костин и др. – М., Издательство АСВ / 1996. – 383 стр. с ил.

3. Бейкер У., Кокс П., Уэстайн П и др. Взрывные явления. Оценка и последствия. Кн. 1,2.- М., Мир, 1986.

4. Маршал В. Основные опасности химических производств. М., Мир, 1989.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Юго-Западный государственный университет»

Кафедра охраны труда и окружающей среды



**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ
ПРЕДЕЛОВ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ
И МАТЕРИАЛОВ**

Методические указания по выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Теория горения и взрыва»
для студентов специальностей 280101 и 140211

Курск 2010

УДК 699.85

Составители: П.Н. Северенчук, Г.П. Тимофеев

Рецензент

Доктор медицинских наук, профессор Л.В. Шульга

Исследование и расчет концентрационных пределов пожаровзрывоопасных веществ и материалов [Текст]: методические указания по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Теория горения и взрыва» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: П.Н. Северенчук, Г.П. Тимофеев. Курск, 2010. 15 с.: 2 ил., Библиогр.: 14-15.

Содержат сведения о закономерностях, механизмах и факторах влияющих на горение газов, жидкостей, твердых веществ и аэрозолей. Приведены расчетные алгоритмы по вычислению концентрационных пределов пожаровзрывоопасности веществ и материалов и расчетные задания для выполнения этих расчетов.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением по специальности Безопасность жизнедеятельности и стандарту специальности «Безопасность жизнедеятельности в техносфере».

Предназначены для студентов специальности 280101 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» очной и заочной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 5.08.10. Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л. 0,9. Уч.-изд. 0,8. Тираж 30 экз. Заказ 503. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Ознакомиться с основными теоретическими показателями и факторами, определяющими пожаровзрывоопасность веществ и материалов.
2. Освоить расчетный метод вычисления основных показателей пожаровзрывоопасных веществ и материалов.
3. Провести самостоятельный расчет показателей по заданному варианту расчета.
4. Провести практическую работу по оценке категории взрывопожарной опасности помещений.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Пожарная и взрывная опасность веществ и материалов характеризуется основным показателем, определяющим характеристики горения и взрыва.

Такой основной характеристикой является скорость распространения пламени $V_{п}$. В зависимости от значения скорости распространения пламени различают следующие виды горения:

1. Нормальное горение $V_{п} \leq 10$ м/с
2. Ускоренное горение $V_{п} \leq 50$ м/с
3. Дефлаграционное горение $V_{п} \leq 300$ м/с
4. Детонационное горение $V_{п} \geq 350$ м/с

Пожаровзрывоопасность веществ и материалов определяется показателями, характеризующими предельные условия возникновения горения. При этом необходимо помнить, что горение веществ и материалов происходит в парогазовой среде.

Поэтому характер показателей и их количество зависит от агрегатного состояния горючих веществ.

1.2. Основные показатели, характеризующие пожаровзрывоопасность горючих газов и паров.

1.2.1. Основными показателями, характеризующими пожаровзрывоопасность горючих газов и паров являются:

а) Концентрационные пределы распространения пламени: нижний концентрационный предел (НКРП) и верхний концентрационный предел распространения (ВКРП).

1.2.2. Нормальная скорость распространения пламени V_n , м/с

1.2.3. Температура самовоспламенения T_c , °С

1.2.4. Минимальная энергия зажигания МЭЗ, Дж

1.2.5. Максимальное давление взрыва P_{max} , КПа и производная от давления взрыва, скорость нарастания давления взрыва (dP/dt , МПа/с)

1.2.6. Минимальное взрывоопасное содержание кислорода (МВСК, %).

Физический смысл концентрационного предела распространения может быть пояснен следующей схемой



Если мы будем повышать концентрацию горючего, то наступит условие, характеризующее механизм появления пламени, определяемого математическим выражением:

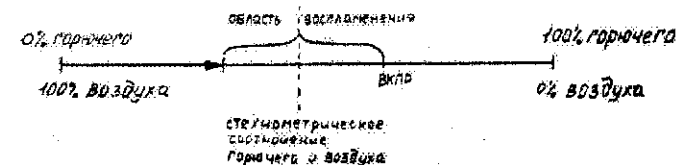
$$\frac{dq_1/dt}{\text{скорость тепловыделения}} \geq \frac{dq_2/dt}{\text{скорость теплоотвода}} \quad (1)$$

$$dg_1/dt = QW \quad (2)$$

$$dg_2/dt = \lambda x (T - T_0) \quad (3)$$

где Q – тепловой эффект реакции;
 W – скорость реакции;
 λ – коэффициент теплоотвода;
 x – параметр, характеризующий геометрические, временные и пространственные характеристики зоны горения;
 T – температура горения;
 T_0 – начальная температура среды.

то с повышением температуры скорость реакции быстро возрастает и скорость тепловыделения начинает значительно превышать скорость теплоотвода, возникает условие воспламенения горючей смеси газа с воздухом, возникает пламя и это соответствует определенному значению нижнего концентрационного предела распространения пламени, которое можно проиллюстрировать на схеме:



Пламя распространяется до предела, при котором приток горючего настолько повышает теплоотдачу, а коэффициент теплоотвода увеличивается, что делает невозможным дальнейшее распространение пламени. Это и будет верхний предел распространения пламени (ВКРП).

Длина интервала между НКРП и ВКРП называется областью воспламенения и ее численное значение для различных типов горючих веществ зависит от теплофизических и энергетических типов горючих. Вне этой области горения в режиме распространения пламени невозможно.

МЭЗ – минимальная энергия искры электрического разряда достаточная для зажигания горючей смеси.

P_{max} – максимальное давление, развиваемое при воспламенении стехиометрической смеси данной горючей смеси газов.

dP/dt – скорость нарастания давления взрыва, зависящая от состава горючей смеси. Различают максимальную и среднюю скорость нарастания давления.

МВСК – минимально возможное содержание кислорода в горючей смеси (разбавленное другим инертным разбавителем или избыточным компонентом горючей смеси).

Минимально возможное содержание кислорода в горючей смеси определяют путем построения кривых флегматизации, ограничивающих область воспламенения. На рис. 1 показан пример построения кривой флегматизации

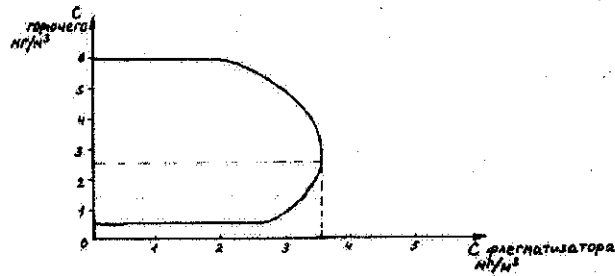


Рис. 1. Пример построения кривой флегматизации для горючих систем

1.3. Оценка показателей пожароопасности жидкостей

1.3.1. При оценке пожароопасности жидкостей показатели дополняются следующими:

- а) T вспышки, $^{\circ}\text{C}$;
- б) T воспламенения, $^{\circ}\text{C}$;
- в) T предела воспламенения, $^{\circ}\text{C}$;
- г) нижний температурный предел воспламенения (НТПВ);
- д) верхний температурный предел воспламенения (ВТПВ).

1.3.2. Температура вспышки $T_{всп}$ – минимальная температура жидкости, при которой давление насыщенных паров создает концентрацию, соответствующую нижнему концентрационному пределу воспламенения (НКПВ).

По $T_{всп}$ жидкости подразделяются на легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) и горючие жидкости (ГЖ)

$$\text{ЛВЖ } T_{всп} \leq 61^{\circ}\text{C}, \text{ ГЖ } > 61^{\circ}\text{C}$$

Особенность: нагрев жидкости до $T_{всп}$ недостаточен для устойчивого горения. Для обеспечения устойчивого горения необходимо нагреть жидкость до температуры воспламенения $T_{всп}$. Температура воспламенения равна начальному пределу НКПВ, вследствие этого пожаровзрывоопасность жидкостей характеризуют

как концентрационными пределами распространения пламени, так и температурными пределами распространения пламени.

Температурные пределы – это температурные пределы жидкостей, при которых давление насыщенных паров создает концентрацию паров, соответствующую концентрационному пределу распространения пламени, т.е. КПР > НКПР.

Зависимость между КПР и ТП выражается следующей зависимостью:

$$\text{НКПРП} = \frac{P_{нп}}{P_{атм}} \cdot 100(\%) \quad (4)$$

$$\text{ВКПРП} = \frac{P_{вп}}{P_{атм}} \cdot 100(\%) \quad (5)$$

где $P_{нп}$ и $P_{вп}$ – давление насыщенных паров при нижнем температурном пределе и верхнем температурном пределе соответственно.

$P_{атм}$ – атмосферное давление

Концентрационные пределы распространения могут выражаться в процентах объемных или в $\text{г}/\text{м}^3$.

Перевод значения КПР из объемных в массовые производится по следующим зависимостям:

$$\text{КПР}(\text{г}/\text{м}^3) = \frac{273M \cdot \text{КПР}(\%)}{2,24T} \quad (6)$$

$$\text{КПР}(\% \text{ объемности}) = \frac{2,24T \cdot \text{КПР}(\text{г}/\text{м}^3)}{273T}, \quad (7)$$

где M – мольная доля горючей жидкости, g – моль
 T – температура кипения, $^{\circ}\text{K}$.

1.4. Пожаровзрывоопасность твердых веществ.

1.4.1. Пожаровзрывоопасность твердых веществ отличаются от горения газов и жидкостей и характеризуется такими показателями как начальная температура самонагрева ($T_{сн}$) и температура

самовозгорания ($T_{св}$), при которой твердое вещество начинает самостоятельно гореть.

Данный механизм для наглядности можно проиллюстрировать следующей графической зависимостью, представленной на рис. 2

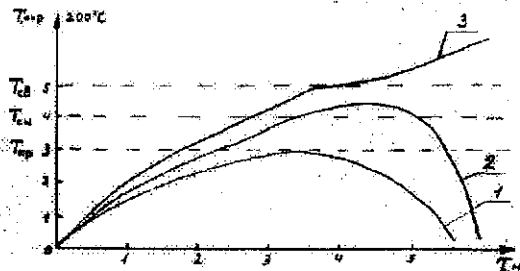


Рис. 2. Зависимость механизмов горения от температуры:

1 — $T_{кр}$, 2 — $T_{св}$, 3 — $T_{сн}$.

Возникновение той или иной ситуации зависит от химического состава горючего твердого вещества и условий аккумуляции в нем тепла в процессе самонагрева (масса материала, теплопроводность и др.).

Область температур между $T_{сн}$ и $T_{св}$ является потенциально-опасной областью и рассчитываются системой следующих уравнений:

$$\lg T_{окр} = a - blgt \quad (8)$$

$$\lg T_{окр} = n + mlgS \quad (9)$$

где $T_{окр}$ — температура окружающей среды, при которой происходит самовозгорание, °C,

t — время, при котором происходит достижение температуры самовозгорания, час,

S — удельная поверхность материала, м²/г

a , b , n — опытные константы, определяющие свойства материала.

1.5. Пожаровзрывоопасность аэрозолей.

1.5.1. Пожаровзрывоопасность аэрозолей существенным образом отличается от горения газов, жидкостей и твердых горючих веществ. Типичными представителями аэрозолей является древесная пыль, мучная пыль, угольная пыль, бумажная пыль и др.

В отличие от газопаровоздушной среды взрывопожароопасность аэрозолей характеризуется только нижним концентрационным пределом распространения пламени (НКПР), температурой самовоспламенения $T_{св}$, скоростью нарастания давления (dp/dt) и минимально-возможным содержанием кислорода (МВСК), при этом отсутствуют нормальная скорость распространения пламени ($V_{нп}$), температура вспышки и верхний концентрационный предел распространения пламени (ВКПР). Отсутствие данных показателей аэрозолей объясняется специфическими особенностями горения аэрозолей.

Отличительной особенностью горения пылевоздушных смесей является следующая особенность, которую можно представить графической зависимостью скорости нарастания давления взрыва, представленной на рис. 3.

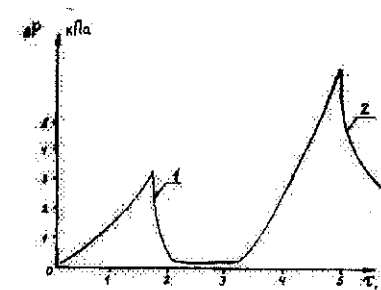


Рис. 3. Зависимость нарастания давления взрыва от времени для аэрозолей: 1 — первая стадия взрыва, 2 — вторая стадия взрыва.

Первоначальный объем аэрозоля при сгорании может вызвать взмучивание (перевод во взвешенное состояние отложившейся пыли и привести ко второй стадии горения и взрыва), что сопровождается как правило большими разрушениями.

Одной из важнейших пожароопасных характеристик веществ и материалов их эффективной целевой функцией является показатель горючести – это способность веществ и материалов распространять по себе горение. Горючесть зависит от термодинамических и теплофизических свойств веществ и материалов, процессов превращения при горении, массы материалов, их расположения в пространстве, агрегатного состояния (газы, пары, жидкости, твердые вещества, аэрозоли).

Исходя из этого основными показателями горючести для веществ и материалов являются:

- а) для газов и паров нижний концентрационный предел воспламенения (НКПРВ),
- б) жидкостей – температура воспламенения ($T_{вс}$),
- в) твердых веществ – температура самовозгорания ($T_{св}$),
- г) аэрозолей – нижний концентрационный предел воспламенения (НКПРВ).

Определение показателей пожаровзрывоопасности может проводиться экспериментальным и расчетным методом. Мы будем определять расчетным методом.

2. РАСЧЕТ НКПР ДЛЯ ГАЗОВ И ПАРОВ

2.1. Расчет нижнего концентрационного предела распространения для газов и паров основывается на методе, при котором предельная температура газов и паров одинакова для любых веществ и приравняется к 1300 °C

Поскольку,
$$T_{г} = \frac{Q_{сг}}{\sum C_{pi} M_i} = \text{const} \quad (10)$$

то $Q_{сг} = 1300 \cdot \sum C_{pi} \cdot M_i$

где $T_{г}$ – температура горения

$Q_{сг}$ – низшая мольная теплота сгорания

$\sum C_{pi} M_i$ – сумма произведений теплоемкости продуктов сгорания на их содержание (в мольных долях)

Тогда

$$\text{НКПР} = \frac{100}{4,81 \cdot \frac{Q_{сг}}{1300} - nCO_2 C_p CO_2 - \frac{m}{2} C_p H_2O + (n + \frac{m}{4}) \cdot C_p O_2} + 1, \quad (11)$$

3. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

3.1. Расчет температуры воспламенения для горючих жидкостей производится по следующей формуле:

$$T_{вс} = T_{кип} - 18\sqrt{K} \quad (12)$$

где $T_{кип}$ – температура кипения горючей жидкости, °C

$$K = 4nc + nH + 4nS + nN_2 - 2nO_2$$

n – число атомов в молекуле исследуемой жидкости

4. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ АЭРОЗОЛЕЙ

4.1. Расчет нижнего концентрационного предела воспламенения для аэрозолей производится по формуле:

$$\text{НКПР} = \frac{C_{ст}}{4}, \quad (13)$$

где $C_{ст}$ – стехиометрическая концентрация аэрозоля, $г/м^3$

5. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ ПРОИЗВОДИТСЯ ПО СЛЕДУЮЩИМ ЭМПИРИЧЕСКИМ ЗАВИСИМОСТЯМ:

$$T_{св} = a - b \lg t \quad (14)$$

$$T_{окр} = n + m \lg s \quad (15)$$

Задание: В соответствии с изложенным выше алгоритмом и приведенными зависимостями рассчитать основные показатели

пожаровзрывобезопасности горючих газов, жидкостей, твердых веществ и аэрозолей. Варианты заданий и исходные данные для расчета приведены в табл.1 и табл.2, в табл. 3 помещают результаты расчета показателей пожаровзрывобезопасности в соответствии с заданным вариантом расчета.

Таблица 1

Варианты заданий для расчета показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов

Варианты заданий	Типы горючих веществ			
	газ	жидкость	твердое вещество	аэрозоль
1	бутан	бензин	этилен	мучная пыль
2	аммиак	ацетон	древесина	пыль (сосна)
3	хлор	дизельное топливо	резина	угольная пыль
4	ацетилен	керосин	дВП	хлопковая пыль
5	пропан	трансформаторное масло	текстолит	мучная пыль
6	гептан	мазут	линолеум	пыль (дуб)
7	водород	синильная кислота	ДСП	пыль (шерсть)
8	угарный газ	сырая нефть	парафин	угольная пыль
9	метан	окись пропилена	полиэтилен	бумажная пыль
10	фтор	петролейный эфир	органическое стекло	пыль (береза)

Таблица 2

Варианты заданий	Численные значения показателей								
	$T_k, ^\circ\text{C}$	a	b	n	t_n	m	S	$Q_{ст}, \text{Дж}$	$C_{ст}, \text{г/м}^3$
1	112	800	0,3	850	3,5	30	950	42000	110
2	56	950	0,5	700	3,0	40	1200	68000	115
3	195	1100	0,2	1300	1,5	56	1300	41000	120
4	156	980	0,5	750	5,6	52	1250	67000	115
5	280	1700	0,1	1800	5,8	130	2700	39000	110
6	312	1200	0,3	1200	1,5	110	1200	61000	110
7	-12	1100	0,3	800	7,2	62	1400	65000	112
8	340	600	0,1	700	0,5	67	1100	43000	120
9	15	750	0,2	900	1,2	43	1050	42000	118
10	38	1100	0,1	1300	2,5	95	1200	37000	116

После выполнения вычислительных процессов результаты расчетов помещают в табл. 3

Таблица 3

Пример результата расчета показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов

№ варианта задания	Численные значения результатов расчета			
	горючий газ	горючая жидкость	твердое вещество	аэрозоль
1	НКПР для бутана = 30 г/м^3	$T_{вс}$ для бензина = 112 $^\circ\text{C}$	$T_{св}$ для текстолита = 1200 $^\circ\text{C}$ $T_{окр} = 1800 \text{ }^\circ\text{C}$	НКПР для мучной пыли = 110 г/м^3

6. ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ ДОЛЖЕН СОДЕРЖАТЬ

- 6.1. Наименование работы.
- 6.2. Цель работы.
- 6.3. Теоретическая часть.
- 6.4 Расчетная часть с подробным изложением алгоритма расчета и положением результатов расчета.
- 6.5. Результаты практической работы по определению категории взрывопожароопасности помещений.
- 6.6. Ответы на контрольные вопросы.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- 7.1. Основная характеристика горения и взрыва горючих веществ и материалов
- 7.2. Виды горения в зависимости от скорости распространения пламени
- 7.3. Поясните физический смысл концентрационного предела распространения пламени
- 7.4. Приведите математическое выражение $T_{всп}$ газов и паров
- 7.5. Дать определение и математическое выражение температурным пределам горения жидкостей
- 7.6. Назовите основные расчетные методы, характеризующие пожаровзрывобезопасность веществ и материалов
- 7.7. Основные критерии оценки категории объектов $B_1 - B_4$
- 7.8. Основные критерии оценки категории объектов А, Б

8. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 8.1. Барятов А.Н., Пчелинцев В.А. Пожарная безопасность, М.: 1997.-160с.
- 8.2. Справочник «Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средств их тушения», М.: 2005.-607с.
- 8.3. Котляр Я.Н., Совершенный А.Д. Методы и задачи тепломассообмена, М.: 2001.-316с.

- 8.4. Мальцев В.Н., Касипоров Л.Я. Основные характеристики горения, М.: Из -во - Химия, 1977.-416с.
- 8.5. Махвиладзе М.Я. Математическая теория горения, М.: Из – во ИХФ, 2002.-556с.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Юго – Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра охраны труда и окружающей среды

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор
по учебно-методической работе
И. В. Кудряшов
2011 г.



**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕОРИИ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА
ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА
ТОПЛИВОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы по
дисциплине «Теория горения и взрыва» для студентов специальности
280101 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

Курск 2011

УДК 699.85

Составители: П.Н. Северенчук, Г.П. Тимофеев

Рецензент

Доктор медицинских наук, профессор *Л.В. Шульга*

Физические основы теории и методика расчета основных параметров горения и взрыва топливовоздушных смесей [Текст]: методические указания по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Теория горения и взрыва» для студентов специальности 280101 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» / Юго-Западный государственный университет; сост. П.Н. Северенчук, Г.П. Тимофеев. Курск, 2011. 19 с.: табл.10. Библиогр.: с.19.

Методические указания содержат теоретические основы теплообмена излучением и методику расчета основных параметров горения и взрыва топливовоздушных смесей, образующихся в атмосфере при промышленных авариях.

Предназначены для студентов, обучающихся по специальности 280101 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», изучающих дисциплину «Теория горения и взрыва».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 14.04.2011 г. Формат 60x 84 1/16
Усл.печ.л. 1,1. Уч.-изд.л.1,0. Тираж 25 экз. Заказ 235. Бесплатно
Юго-Западный государственный университет
305040 г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

ЦЕЛЬ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

1. Изучение теоретических основ и механизмов возникновения пожаров и взрывов топливовоздушных смесей, образующиеся в атмосфере при промышленных авариях.

2. Овладение методикой количественной оценки основных параметров энергетических характеристик пожаров и взрывов топливовоздушных смесей.

1. Определение основных параметров горения и взрыва тепловоздушных смесей (ТВС)

1.1 Теоретические основы теплообмена излучением

Существуют три вида тепломассопереноса:

- а) передача тепла излучением;
- б) передача тепла конвекцией;
- в) передача тепла кондукцией.

В общем виде при передаче энергии всеми тремя видами переноса поток излучения:

$$Q = Q_{изл} + Q_{конв} + Q_{конд} \quad (1)$$

В практике безопасности жизнедеятельности наиболее часто при расчете и прогнозировании чрезвычайных ситуаций техногенного характера основной вклад в перенос энергии вносит радиационный поток.

Тепловое излучение - это электромагнитное излучение энергия которого получена за счет возбуждения тепловым движением атомов, молекул и других частиц вещества.

Энергия теплового излучения – энергия переносимая электромагнитным излучением, полученным за счет возбуждением частиц вещества

Энергия теплового излучения имеет размерность любой из форм энергии и обозначается:

$$W = M L^2 T^{-2} \quad (2)$$

Единицей для всех форм энергии в системе СИ является *1 Джоуль*.

Мерой интенсивности теплового воздействия является количество энергии, переносимой или поглощаемой за единицу времени. Эта величина называется *поток излучения*.

Поток излучения (тепловой поток) – количество энергии, переносимой излучением за единицу времени через произвольную поверхность.

$$Q = dW / d\tau, \quad (3)$$

измеряется в Ваттах. $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$

Потоки теплового излучения в зависимости от физического процесса взаимодействия излучения и вещества подразделяются на пять групп:

- а) собственный – излучаемый телом во всех направлениях;
- б) падающий со всех направлений на поверхность;
- в) отраженный – отраженный телом во всех направлениях назад;
- г) пропущенный – прошедший сквозь тело во всех направлениях;
- д) поглощенный – поток излучения, перешедший из формы излучения в форму теплового движения атомов и молекул тела.

Распределение излучения в пространстве:

Процессы, в которых необходимо учитывать зависимость $Q = \square(\tau)$ называют нестационарными.

Если плотность распределения имеет одинаковое значение для всех элементов пространства, то поле распределения называется *однородным* или *изотропным* в этом пространстве.

Если плотность распределения переменна, то поле *неоднородно* или *анизотропно*.

Поверхностная плотность потока излучения:

$$E = dQ / aF = 1 \text{ Вт/м}^2$$

Для тепловых потоков конвекцией и теплопроводностью так же применяется понятие поверхностной плотностью потока.

Поверхностная плотность энергии:

$$H = \text{Дж} / \text{м}^2,$$

где, H – энергия излучения, приходящаяся на единицу поверхности тела.

Угловая плотность потока излучения

$$d = dQ / d\omega = d^2W / d\omega \times d\tau, \text{ Вт/стр}$$

Это отношение величины потока в заданном направлении в пределах элементарного угла к величине этого угла.

Интенсивность I – отношение поверхностной плотности потока излучения в заданном направлении к величине элементарного телесного угла, в пределах которого излучение распространяется.

$$I = dE / d\omega = d^2Q / d\omega \times dF = d^3W / d\omega \times dF \times d\tau$$

Энергетическая яркость:

$B = d^2Q / (d\omega dF_N)$ – поток излучения в заданном направлении в пределах телесного угла $d\omega$, отнесенный к величине этого угла и к элементарной площадке, перпендикулярной к этой поверхности.

Векторное представление понятий переноса излучения.

Направленность распространения излучения со скоростью C , определяет векторный характер потока энергии излучения и выражается

вектором поверхностной плотности потока излучения в заданном направлении S_u (вектор Умова - Пойтинга) – поверхностная плотность энергии, проходящий через элемент поверхности в одном направлении за единицу времени, перпендикулярно плоскости колебаний электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} векторов. Для среды, направление определяется тензором комплексного показателя преломления \vec{m} :

$$S_u = C / \vec{m} \nu \omega, \quad (4)$$

где U – объемная плотность энергии излучения $U = aW/dV$

Энтропия излучения, представляет собой термодинамическую функцию характеризующую состояние излучения как тепловой

системы и изменения этой системы. Каждому состоянию излучения, определяемому его температурой T , давлением P и объемом V , соответствуем определенное значение энтропии, соответствующим этим же значениям параметров.

Для всех систем энтропия определяется как $\sigma Q/T = dS$, поэтому изменение состояния излучения может характеризоваться как разница энтропий.

Закон Стефана – Больцмана устанавливает для равновесных условий связь интегрального полусферического потока излучения элемента поверхности абсолютно черного тела (АТЧ) с его абсолютной температурой. Плотность потока равновесного излучения элемента поверхности АТЧ – пропорционально температуре этого тела в четвертой степени T^4 .

$$E = \sigma_0 T^4 \quad (5)$$

где σ_0 - постоянная Стефана – Больцмана, $\sigma_0 = 5,67 \times 10^{-8}$ Вт/(м² x К⁴)

Особенности излучения реальных тел.

Все законы излучения описываются изучением идеализированного объекта черного тела. Излучение реальных тел отличается от излучения АТЧ.

Для упрощения расчетов теплообмена излучением принимается модель серого тела, для которой сохраняются спектральное и угловое распределение излучения таким же, как у черного тела, уменьшая его в одинаковое число раз для всех длин волн и углов, при этом $\varepsilon_0 = 0,85$

1.2 Практическая часть

Прогнозирование последствий аварий, связанных с пожарами. Основным поражающим фактором пожара является:

- а) тепловое воздействие продуктов горения;
- б) отравление токсическими веществами, образующихся от пиролиза и разложения материалов;
- в) обрушение зданий и сооружений;
- г) суммарное сочетанное влияние всех энергетических факторов пожара.

Мы будем рассматривать только тепловое воздействие в соответствии с поставленной целью.

Термическое воздействие определяется величиной плотности потока излученного поглощения $g_{\text{погл}}$, кВт/м² и времени теплового излучения (τ , с).

Плотность потока поглощенного излучения $g_{\text{погл}}$ связана с плотностью потока падающего излучения соотношением:

$$g_{\text{погл}} = \varepsilon g_{\text{пад}} \quad (6)$$

где ε – степень черноты (поглощаемая способность) тепловоспринимающей поверхности, для «серых тел» $\varepsilon = 0,85$.

Человек ощущает сильную, едва переносимую боль, когда температура верхнего слоя кожи превышает 45⁰С. Время достижения порога боли определяют по формуле $\tau = (35/g)^{1,33}$, с

Различают три степени термического ожога еожи человека, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Характерные особенности степеней термического ожога кожи человека

Степень поражения	Повреждение	Температура, °С	Доза воздействия, г, кДж/м ²	Особенности поражения
I	Эпидермиса	< 55	< 42	Покраснение кожи ($g^{1,15}, \tau = 5,5\text{с}$)
II	Дорми	> 55	42-84	Волдыри ($g^{1,33}, \tau = 8,7$)
III	Подкожного слоя	-	> 84	Летальный исход

Время воспламенения горючих материалов при вождействии на них теплового потока плотностью g , кВт/м² определяют по формуле:

$$\tau = A / (g - g_{\text{кр}})^n, \text{ с} \quad (7)$$

где $g_{кр}$ - критическая плотность теплового потока, $кВт/м^2$; А и n - константы для конкретных веществ.

Таблица 2.

Характеристики критических тепловых нагрузок и времени воспламенения от плотности теплового потока для различных веществ и материалов

Материалы (вещества)	$g_{кр}$, $кВт/м^2$	Время воспламенения, τ , с				
		Плотность теплового потока g , $кВт/м^2$				
		20	50	100	150	200
Древесина (сосна)	12,8	181,5	12,9	3,3	1,6	0,96
ХБ ткани	7,5	74,7	10,4	2,4	1,5	0,92
Пластмассы(пенопласт)	7,4	73,7	10,3	2,9	1,5	0,91
Резина	7,0	70,3	10,2	3,4	1,6	1,02
Пластик	7,0	70,3	10,2	3,4	1,6	0,97
Битум	7,0	70,3	10,2	3,4	1,6	1,02
Бензин	7,0	70,3	10,2	3,4	1,7	0,98

В таблице 3 приведены теплотехнические характеристики некоторых распространенных веществ и материалов, а в таблице 4 критические значения плотностей потока падающего излучения.

Таблица 3.

Теплотехнические характеристики материалов и веществ

Вещества, материалы	Массовая скорость выгорания ν , $кг/с$	Теплота горения Q_r $кДж/кг$	Плотность потока пламени пожара g^{sob} , $кВт/м^2$
Бензин	0,05	44000	1500
Керосин	0,05	43000	1520
Мазут	0,013	40000	1300
Нефть	0,02	43700	870
Древесина	0,015	19000	260
Пиломатериалы	0,017	14000	150
Каучук	0,013	42000	460

Таблица 4.

Критические значения плотностей потока падающего излучения

$g^{кр}$, кВт/м ²	Время воздействия, τ , с	Характерные признаки
30	2	ожоги 2 степени
45	3	ожоги 3 степени
60	4	ожоги 4 степени
20	3	Возгорание древесины
35	3	Возгорание ЛВЖ
45	3	Возгорание ГЖ
1,5	-	Безопасно

При использовании вероятного подхода к определению поражающего фактора теплового излучения вероятности поражения $P_{пор}$ определяют по данным таблицы 5, используя для случаев смертельных поражений следующее выражение для пробит функции P_r :

$$P_r = -9,5 + 2,56 \times \ln(q^{1,33} \times \tau) \quad (8)$$

Таблица 5

Зависимость степени поражения (разрушения) от пробит – функции

$P_{пор, \%}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,22	3,77	3,82	3,87	3,92	3,46	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,82
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Время термического воздействия τ , с для случаев пожара разлива и горения здания (сооружения, штабеля) вычисляются по формуле:

$$\tau = \tau_0 + x/v \quad (9)$$

где, τ_0 – характерное время обнаружения пожара ($\tau_0=5$ с);

x – расстояние от места нахождения человека до зоны, где плотность потока теплового излучения не превышает 4 кВт/м^2 , м

v – скорость перемещения человека ($v = 3 \text{ м/с}$)

Для случая огненного шара время термического действия равно времени существования огненного шара.

1.3 Определение основных параметров горения топливовоздушных смесей

1.3.1. Основные параметры горения парогазовоздушного облака (ПГВО).

Крупномасштабное диффузионное горение ПГВО, реализуемое при разгерметизации резервуара с горючей жидкостью или газом под давлением носит название «Огненный шар». Плотность теплового потока, падающего с поверхности «Огненный шар» на элементарную площадку на поверхности мишени (кВт/м^2):

$$q^{над} = q^{соб} \exp \left[-7,0 \times 10^4 \left(\sqrt{R^2 + H^2} - D_{эф}/2 \right) \right] \varphi \quad (10)$$

где $q^{соб}$ – плотность потока собственного излучения «Огненного шара», принимается равной 450 кВт/м^2 ;

R – расстояние от точки на поверхности земли под центром «Огненного шара», до облучаемого объекта, м.

$$D_{эф} = 5,33 M^{0,327}, \quad (11)$$

где M – масса горючего вещества, кг;

H - высота центра «Огненного шара», м, принимается равной $0,5 D_{\text{эф}}$;

φ - угловой коэффициент излучения с «Огненного шара» на элементарную площадку на облученной поверхности:

$$\varphi = \frac{\frac{H}{D_{\text{эф}} + 0,5}}{4 \left[\left(\frac{H}{D_{\text{эф}}} + 0,5 \right)^2 + \left(R/D_{\text{эф}} \right)^2 \right]^{1,5}} \quad (12)$$

Время существования «Огненного шара» τ , с, рассчитывают по формуле:

$$\tau = 0,92 M^{0,302} \quad (13)$$

1.3.2. Определение основных энергетических параметров пожара при разлиии.

При нарушении герметичности сосуда, содержащего сжиженный горючий газ или жидкость, часть жидкости может заполнить поддон или обваловку, растечься по поверхности грунта или заполнить какую либо естественную впадину.

Площадь разлива при этом можно определить по формуле:

$$S_{\text{раз}} = M_{\text{ж}} / h \times \rho_{\text{ж}} \quad (14)$$

где $M_{\text{ж}}$ - масса разлившейся жидкости, кг;

h - глубина разлившейся жидкости, м (принимают $h = 0,05$)

$\rho_{\text{ж}}$ - плотность разлившейся жидкости, кг/м^3

Степень термического воздействия пожара разлития падающего на элементарную площадку можно найти по формуле

$$q^{\text{над}} = \exp[-7,0 \times 10^4 (R - r)] \varphi \quad (15)$$

где R - расстояние от центра разлива до факела пожара, м;

r - радиус зеркала разлива, м

q^{sob} - средняя по поверхности плотность потока собственного излучения пламени (кВт/м^2), значения которой для некоторых углеводородных топлив приведена в таблице 6.

Таблица 6.

Значения q^{sob} , кВт/м^2 , для некоторых топлив

Топливо	q^{sob} , кВт/м^2				
	Д=10 м	Д=20 м	Д=30 м	Д=40 м	Д=50 м
Метан	220	180	150	130	120
Пропан	80	63	50	43	40
Бензин	60	47	35	28	25
Диз.топливо	40	32	25	21	18
Нефть	25	19	15	12	10

1.3.3. Горение зданий и промышленных объектов.

Расчет протяженности зон теплового воздействия $R(\text{м})$ при горении зданий и промышленных объектов производится по формуле:

$$R = 0,282 R^* \sqrt{\frac{q^{sob}}{q^{кр}}} \quad (16)$$

где q^{sob} - плотность потока собственного излучения пламени пожара, кВт/м^2 (табл. 6.)

$q^{кр}$ - критическая плотность потока пламени пожара, падающего на облучаемую поверхность кВт/м^2

R^* - приведенный размер очага горения, м, равной:

$R^* = \sqrt{l \times h}$ - для горящих зданий;

$R^* = 1,25 \sqrt{l \times h}$ - для штабеля пиленного леса;

$R^* = 0,85 D_{рез}$ - для горения нефтепродуктов в резервуаре;

l, h - длина и высота объекта горения, м

$D_{рез}$ - диаметр резервуара, м

1.4 Определение основных параметров взрыва ТВС

1.4.1. Определение эффективного энергозапаса ТВС

Эффективный энергозапас Дж горючей смеси определяется по формуле:

$$E = M_r \times q_r \quad \text{при } C_r \leq C_{см} \quad (17)$$

где M_r – масса горючего вещества в облаке ТВС, кг

q_r - удельная теплота сгорания газа, Дж/кг

C_r – концентрация горючего вещества в облаке ТВС, кг/м³

$C_{см}$ – стехиометрическая концентрация вещества в смеси с воздухом, кг/м³

$$E = M_r \times q_r \times C_{см} / C_r \quad \text{при } C_r > C_{см} \quad (18)$$

При расчете параметров взрыва облака, лежащего на поверхности земли, величина эффективного энергозапаса увеличивается.

Теплота сгорания горючего газа q_r :

$$q_r = 44\beta \text{ мДж/кг} \quad (19)$$

где β - критический параметр для наиболее распространенных в промышленном производстве опасных веществ, определяется по таблице 7.

1.4.2. Определение ожидаемого взрывного превращения.

ТВС, способные к образованию горючих смесей с воздухом разделены на 4 класса (табл. 7). В случае, если вещество отсутствует в табл. 7 его следует классифицировать по аналогии имеющимся в табл. 7 веществами, а при отсутствии информации о свойствах данного вещества относить его к *Классу 1*, т.е рассматривать как наиболее опасный случай.

1.4.3. Классификация окружающей территории

В связи тем, что характер окружающего пространства в значительной степени определяет скорость взрывного превращения облака ТВС, и следовательно параметры ударной волны, геометрические характеристики окружающего пространства разделены на виды в соответствии с со степенью его загроможденности.

Вид 1. Наличие длинных труб, полостей, таверн, заполненных горючей смесью, при сгорании которой можно ожидать формирование турбулентных струй продуктов сгорания.

Вид 2. Сильно загроможденное пространство, наличие полузамкнутых объемов, высокая плотность размещения технологического оборудования, лес, большое количество повторяющихся препятствий.

Вид 3. Среднее загроможденное пространство: отдельно стоящие технологические установки, резервуарный парк.

Вид 4. Слабо загроможденное и свободное пространство.

Таблица 7.

Классификация горючих веществ по степени чувствительности

Класс 1		Класс 2		Класс 3		Класс 4	
Особо чувствительные вещества		Чувствительные вещества		Средне-чувствительные вещества		Слабо-чувствительные вещества	
	β		β		β		β
Ацетилен	1,1	Акронитрил	0,67	Ацетальдегид	0,56	Аммиак	0,42
Винил ацетилен	1,03	Акролеин	0,62	Ацетон	0,65	Бензол	0,88
Водород	2,73	Бутан	1,04	Бензин	1,0	Декан	1
Гидразин	0,44	Бутилен	1,0	Винилацетат	0,51	Диз. Топл	1
Изопопилнитрат	0,41	Бутадиен	1,0	Винилхлорид	0,42	Керосин	1
Метилацетилен	1,05	Пропан	1,05	Гексан	1	Метан	1,14
Митрометан	0,25	Пропилен	1,04	Генератора	0,78	Окись углерода	0,23
Окись пропилена	0,71	Сероуглерод	0,32	Метиланин	0,71	Нафталин	0,91
Окись этилена	0,62	Этилен	1,07	Метилацетат	0,53	Метилхлор	0,12
Этил нитрат	0,31	Этан	1,08				

1.4.4. Классификация ожидаемого режима взрывного превращения.

Известны три режима протекания быстропротекающих процессов: детонация, дефлаграция, горение.

Для оценки параметров действия горения и взрыва, возможные режимы превращения ТВ разбиты на 8 диапазонов по скоростям их распространения.

Ожидаемый диапазон скорости взрывного превращения определяется с помощью экспертной таблицы 8, в зависимости от класса горючего вещества и вида окружающего пространства.

Таблица 8.

Экспертная таблица для определения режима превращения ТВС

Класс горючего вещества				
	1	2	3	4
Ожидаемый диапазон скорости горения и взрывоопасного превращения				
1	1	2	3	4
2	1;2	3;4	4;5	5;6
3	2;3	3;4	4;5	6;7
4	3;4	4;5	6;7	7;8

Примечание: Диапазон 1 – детонация или горение со скоростью фронта пламени 500-1000 м/с; 2 – дефлограция, скорость фронта пламени 300-500 м/с; 3 – дефлограция скорость фронта пламени 200-300 м/с; 4 – дефлограция скорость фронта пламени 100-200 м/с; 5 – горение, скорость фронта пламени 50-80 м/с; 7 – горение, скорость фронта пламени 10-20 м/с; 8 – горение, скорость фронта пламени 3-5 м/с.

1.4.5. Оценка агрегатного состояния ТВС.

Для дальнейших расчетов необходимо оценить агрегатное состояние топлива смеси. Предполагается, что смесь гетерогенная если 50% топлива содержится в виде капель, в противном случае ТВС считается газовой.

Критерием такой оценки служит:

- а) величина давления насыщенного пара топлива при $t = 20^{\circ}\text{C}$;
- б) время формирования облака ТВ (0,2-3 с).

1.4.6. Расчет максимального избыточного давления и импульса фазы сжатия воздушных ударных волн.

После того, как определен вероятный режим взрывного превращения, рассчитываются основные параметры воздушных ударных волн (избыточное давление ΔP , импульс волны давления J) в зависимости от расстояния до центра облака.

Предварительно рассчитывается соответствующее безразмерное расстояние R_x по формуле:

$$R_x = R / (E/R_0)^{1/3} \quad (20)$$

где R_0 - атмосферное давление, Па.

Далее рассчитывается безразмерное давление P_x и безразмерный импульс фазы сжатия J_x .

Для газовой ТВС :

$$\ln(P_x) = -1,124 - 1,66 \ln(R_x) + 0,26 [\ln(R_x)]^2 \quad (21)$$

$$\ln(J_x) = -3,4217 - 0,898 \ln(R_x) + 0,009 [\ln(R_x)]^2 \quad (22)$$

Для гетерогенной ТВС:

$$P_x = 0,125 / R_x + 0,137 / R_x^2 + 0,023 / R_x^3 \quad (23)$$

$$J_x = 0,022 / R_x \quad (24)$$

1.4.7. Дефлаграция газовых и гетерогенных ТВС

В случае дефлаграционного взрывного превращения облака ТВС к параметрам, влияющим на величину избыточного давления и импульса положительной фазы, добавляются скорость видимого фронта пламени (V_f) и степен расширения продуктов сгорания (σ).

Для газовых смесей $\sigma = 7$, для гетерогенных $\sigma = 4$. Для расчетов параметров ударной волны при дефлаграции гетерогенных облаков, величина эффективного энергозапаса смеси домнажается на коэффициент $(\sigma - 1)/6$.

Безразмерное давление P_{xi} и импульс фазе сжатия J_{xi} определяется по соотношениям:

$$P_{xi} = ((v_r/C_r)^2 (\sigma - 1) / 6 (0,83/R_x - 0,14 R_x^2)) \quad (25)$$

$$J_{xi} = ((v_r/C_r)^2 (\sigma - 1) / 6 (1 - 0,4) (\sigma - 1) v_r / \sigma C_0 (0,06/R_x + 0,01/R_x^2 - 0,0025/R_x^3))$$

Далее вычисляют величины P_{xi} , J_{xi} , которые соответствуют режиму детонации и рассчитывается по соотношениям (23), (24).

Окончательное значение P_{xi} , J_{xi} , выбирает из условий:

$$P_x = \min(P_{xi}, P_{x2}); \quad J_x = \min(J_{xi}, J_{x2}) \quad (27)$$

После определения безразмерных величин давления и импульса фазы сжатия вычисляются соответствующие им размерные величины:

$$\Delta P = P_x P_0 \quad (28)$$

$$J = J_x (P_0)^{2/3} E^{1/3} / C_0 \quad (29)$$

2. Оценка поражающего действия

При взрывах ТВС существенную роль играют такие поражающие факторы как, длительность действия ударной волны и связанный с ней параметр – импульс взрыва. Вероятность поражения объектов в зоне действия облака и вне зоны носит вероятностный характер и определяется соответствующий величиной пробит-функции P_{zi} .

2.1 Оценка вероятности повреждений промышленных зданий от взрыва облака ТВС

Вероятность повреждения стен зданий может определена из следующего выражения:

$$P_{zi} = 5 - 0,26 \ln v_1 \quad (30)$$

$$v_1 = (17500 \Delta P)^{8,4} + (290/J)^{9,3} \quad (31)$$

2.2 Вероятность разрушения промышленных зданий оценивается из соотношения:

$$P_{z2} = 5 - 0,22 \ln v_2 \quad (32)$$

$$\text{где, } v_2 = (40000 \Delta P)^{7,4} + (460/J)^{11,3} \quad (33)$$

2.3 Оценка радиусов зон поражения

Для определения зон поражения используют следующее выражение:

$$R = KW^{1/3} / (1 + (3180W^2))^{1/6}, \quad (34)$$

$$\text{где, } W = (0,4 M_r q_r) (0,9 \times 4,5 \times 10^6) \quad (35)$$

Значения коэффициента (К) для уровней разрушения зданий и сооружений приведены в таблице 9.

Таблица 9.

Уровни разрушения зданий

Категория повреждения	Характеристика повреждения зданий	ΔP , КПа	Значение К
А	Полное разрушение здания	≥ 100	3,8
В	Тяжелое повреждение здания (подл. сносу)	70	5,6
С	Среднее повреждение (возм. ремонт)	28	9,6
Д	Разрушение оконных проемов	14	2,8
Е	Частичное разрушение стекол	2,0	56

Для определения радиуса смертельного поражения человека в соотношении (34) следует подставлять величину $K=3,8$.

В таблице 10 приведены значения вероятности зон поражения при взрыве ТВС в зависимости от значения пробит – функции.

Таблица 10

Связь вероятности поражения пробит – функцией

P, %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,22	3,77	3,82	3,86	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,75	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,77	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	6,18	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	7,05	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,49	6,55	6,64	6,88	6,88	7,15	7,33
100	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,75	7,75	7,88	8,09

3. Библиографический список

1) ПБ 09-170-07 Общие правила взрывоопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. Утверждены Постановлением Госгортехнадзора России от 10.01.2007 г. №59.

2) Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждения. М., Химия, 2009. – 660 с.

3) Отраслевое руководство по анализу и управлению риском, связанным с техногенным воздействием на человека и окружающую среду. М.: РАО «Газпром», 1996. – 903 с.

4) Мальцев М.Н., Кампоров В.Г. Основные характеристики горения, М., Химия, 1990.-513 с.